



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**“DISEÑAR UN AUTOBUS INCLUSIVO PARA PERSONAS  
MIEMBROS DE LA AFAPECH MEDIANTE LA  
CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA  
PERSONA CON MOVILIDAD REDUCIDA”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROPUESTA TECNOLÓGICA**

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTORES: PABLO RAFAEL LUZURIAGA GARCÍA;**

**CRISTIAN JONATHAN ROSERO CÓRDOVA**

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

**Riobamba-Ecuador**

**2019**

**©2019, Pablo Rafael Luzuriaga García; Cristian Jonathan Rosero Córdova**

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, Pablo Rafael Luzuriaga García & Cristian Jonathan Rosero Córdova declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados del mismo 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 titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de noviembre de 2019.



---

**Pablo Rafael Luzuriaga García**

Cédula de Identidad: 060403824-0



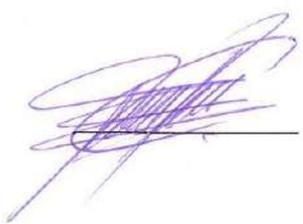
---

**Cristian Jonathan Rosero Córdova**

Cédula de Identidad: 172357680-5

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

El Tribunal del trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Propuesta Tecnológica, **DISEÑAR UN AUTOBUS INCLUSIVO PARA PERSONAS MIEMBROS DE LA AFAPECH MEDIANTE LA CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO A ESCALA PARA PERSONA CON MOVILIDAD REDUCIDA**, realizado por los señores Pablo Rafael Luzuriaga García y Cristian Jonathan Rosero Córdova, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Proyecto de Titulación, 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. José Pérez Fiallos <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		<b>2019/11/27</b> _____
Ing. Edwin Pozo Safla <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		<b>2019/11/27</b> _____
Ing. Bolívar Alejandro Cuaical Angulo <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>		<b>2019/11/27</b> _____

## **DEDICATORIA**

A mis padres Pablo y Flora quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a todos mis amigos, por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles y por el amor brindado cada día, siempre las llevo en mi corazón.

**LUZURIAGA GARCÍA PABLO**

Este proyecto de investigación le dedico con todo el amor y cariño a mi Padre Gabriel Rosero y a mi Madre Carmen Córdova, ya que ellos me permitieron culminar mi carrera profesional con su apoyo incondicional, amor y confianza.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar durante todo este proceso.

**ROSERO CÓRDOVA CRISTIAN**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Pablo Luzuriaga y Flora García, por ser los principales promotores de mi sueño, por confiar y creer en mi expectativa, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, al Ing. Edwin Pozo y al Ing. Bolívar Cuaical tutor y asesor de nuestro proyecto de investigación quienes ha guiado con su paciencia, y su rectitud como docentes

**LUZURIAGA GARCÍA PABLO**

En primera instancia agradezco a Dios por permitirme vivir y alcanzar mis metas anheladas.

A mis padres Gabriel Rosero y Carmen Córdova ya que con su amor, paciencia y sacrificio me brindaron lo mejor, gracias por apoyarme incondicionalmente en todo momento y sobre todo cuando más los necesito.

A mis hermanos Ximena, Jessica y Henry ya que fueron una fuente de inspiración para finalizar la carrera y a mi enamorada por brindarme el apoyo constante y consejos para alcanzar mis objetivos.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por haberme brindado y construido profesionalmente, de manera especial al Ing. Edwin Pozo, director del proyecto de investigación y al Ing. Bolívar Cuaical, miembro del proyecto de investigación quienes nos guiaron con su paciencia y dedicación para desarrollar el presente tema de investigación.

**ROSERO CÓRDOVA CRISTIAN**

## TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1 MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Justificación y Actualidad.....</b>	<b>1</b>
<i>1.1.1 Justificación Metodológica.....</i>	<i>2</i>
<b>1.2 RESULTADOS A ALCANZAR.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Planteamiento del problema .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4 Objetivos.....</b>	<b>3</b>
<i>1.4.1 Objetivo general.....</i>	<i>3</i>
<i>1.4.2 Objetivos específicos .....</i>	<i>3</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 AFAPECH.....</b>	<b>4</b>
<i>2.1.1 Misión.....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.2 Visión .....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.3 Ubicación .....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.4 Áreas de rehabilitación.....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.4.1 Área de pedagogía.....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.4.2 Área de fisioterapia .....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.5 Usuarios de AFAPECH.....</i>	<i>6</i>
<b>2.2 Persona con movilidad reducida .....</b>	<b>7</b>
<i>2.2.1 Parálisis cerebral .....</i>	<i>7</i>
<i>2.2.2 Síndrome de West .....</i>	<i>8</i>
<i>2.2.3 Síndrome de Down.....</i>	<i>8</i>
<b>2.3 Silla de ruedas .....</b>	<b>9</b>

<b>2.3.1</b>	<b><i>Sistemas de retención para personas</i></b> .....	<b>9</b>
<b>2.4</b>	<b>Anclajes para sillas de ruedas</b> .....	<b>10</b>
2.4.1.1	<i>Sistemas de retención flexibles</i> .....	10
2.4.1.2	<i>Sistemas de retención rígidos</i> .....	11
<b>2.5</b>	<b>Partes que constituyen un vehículo</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5.1</b>	<b><i>Chasis</i></b> .....	<b>12</b>
<b>2.5.2</b>	<b><i>Carrocería</i></b> .....	<b>13</b>
2.5.2.1	<i>Sistemas de carrocerías</i> .....	13
2.5.2.2	<i>Componentes de la carrocería</i> .....	14
2.5.2.3	<i>Estructura de la carrocería</i> .....	15
2.5.2.4	<i>Materiales de la carrocería</i> .....	16
<b>2.6</b>	<b>Bus</b> .....	<b>16</b>
<b>2.6.1</b>	<b><i>Tipos de buses</i></b> .....	<b>16</b>
<b>2.7</b>	<b>Accesibilidad al transporte de personas que utilizan silla de ruedas</b> .....	<b>18</b>
<b>2.7.1</b>	<b><i>Elevador</i></b> .....	<b>18</b>
<b>2.7.2</b>	<b><i>Plataforma</i></b> .....	<b>19</b>
<b>2.7.3</b>	<b><i>Rampa</i></b> .....	<b>19</b>
<b>2.7.4</b>	<b><i>Normativa aplicada a elevadores para personas con movilidad reducida</i></b> .....	<b>19</b>
<b>2.8</b>	<b>Software de diseño, análisis y simulación</b> .....	<b>20</b>
<b>2.8.1</b>	<b><i>SOLIDWORKS</i></b> .....	<b>20</b>
2.8.1.1	<i>Impresión 3d</i> .....	21
<b>2.8.2</b>	<b><i>ANSYS</i></b> .....	<b>23</b>
2.8.2.1	<i>Mallado</i> .....	25
2.8.2.2	<i>Elementos tipo viga (Beam)</i> .....	25
2.8.2.3	<i>Elementos tipo cascara(Shell)</i> .....	26
<b>2.9</b>	<b>Normativa aplicada a buses</b> .....	<b>29</b>
<b>2.9.1</b>	<b><i>Consideraciones de diseño de la carrocería (NTE INEN 1323, 2009, p.4)</i></b> .....	<b>29</b>
2.9.1.1	<i>Especificaciones del chasis</i> .....	29
2.9.1.2	<i>La estabilidad</i> .....	29

2.9.1.3	<i>El confort</i> .....	29
2.9.1.4	<i>El mantenimiento</i> .....	29
2.9.1.5	<i>La seguridad</i> .....	30
2.9.1.6	<i>Método de anclaje y montaje</i> .....	30
2.9.1.7	<i>Estructura</i> .....	30
2.9.2	<b><i>Requisitos que debe cumplir la estructura de las carrocerías de buses</i></b> .....	30
2.9.3	<b><i>Unión chasis-carrocería.</i></b> .....	33
2.9.4	<b><i>Documentos técnicos.</i></b> .....	33
2.9.5	<b><i>Vidrios de seguridad</i></b> .....	33
2.9.6	<b><i>Elementos de seguridad.</i></b> .....	33
 <b>CAPÍTULO III</b>		
3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	34
3.1	<b>Selección del chasis adecuado</b> .....	35
3.2	<b>Dimensiones de la plataforma de la carrocería</b> .....	38
3.3	<b>Distribución de espacios para asientos y sillas de ruedas</b> .....	39
3.3.1	<i>Dimensiones de la silla de ruedas a utilizar</i> .....	39
3.3.2	<i>Distribución de espacios para asientos</i> .....	40
3.3.3	<i>Distribución de espacios para sillas de ruedas</i> .....	42
3.3.4	<i>Dimensiones del corredor central</i> .....	44
3.4	<b>Diseño estructural de la carrocería</b> .....	44
3.5	<b>Elección del tipo de material</b> .....	47
3.6	<b>Cargas aplicadas</b> .....	49
3.6.1	<i>Resistencia de la estructura</i> .....	50
3.6.2	<i>Cargas muertas</i> .....	50
3.6.3	<i>Cargas vivas</i> .....	52
3.6.4	<i>Carga de giro</i> .....	53
3.6.5	<i>Carga de frenado y aceleración brusca</i> .....	53
3.6.6	<i>Resistencia del aire frontal</i> .....	54
3.7	<b>Diseño estructural</b> .....	55
3.7.1	<i>Proceso de mallado</i> .....	58

3.7.1.1	<i>Modelamiento de la geometría</i> .....	58
3.7.1.2	<i>Generación de la malla</i> .....	59
3.7.1.3	<i>Calidad de la malla</i> .....	60
3.7.2	<i>Análisis de la carrocería en el software ANSYS</i> .....	65
<b>CAPÍTULO IV</b>		
4	<b>ANÁLISIS E IMPRESIÓN DEL DISEÑO</b> .....	67
4.1	<b>ANÁLISIS DEL DISEÑO</b> .....	67
4.1.1	<i>Análisis estático</i> .....	68
4.1.2	<i>Análisis dinámico</i> .....	75
4.2	<b>Sistema de anclaje de sillas de ruedas</b> .....	81
4.3	<b>Plataforma elevadora</b> .....	83
4.4	<b>Impresión 3D de la carrocería</b> .....	84
<b>CONCLUSIONES</b> .....		86
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		87
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b> Usuarios AFAPECH 2018.....	6
<b>Tabla 2-2:</b> Tipos de tubos y perfiles.....	15
<b>Tabla 3-2:</b> Comparación ABS vs PLA.....	22
<b>Tabla 4-2:</b> Requisitos que debe cumplir la estructura de las carrocerías de buses.....	31
<b>Tabla 1-3:</b> Comparación entre chasis HINO AK8JRSA, MERCEDES BENZ OF1721 y VOLKSWAGEN 17.210 OD. ....	36
<b>Tabla 2-3</b> Dimensiones externas de la carrocería.....	38
<b>Tabla 3-3</b> Dimensiones de asientos. ....	41
<b>Tabla 4-3</b> Dimensiones del corredor central. ....	44
<b>Tabla 5-3:</b> Tipos de tubos. ....	45
<b>Tabla 6-3:</b> Comparación de características del aluminio y acero.....	48
<b>Tabla 7-3</b> Parámetros del aire.....	50
<b>Tabla 8-3</b> Cálculo del peso de la estructura. ....	50
<b>Tabla 9-3</b> Cálculo de la masa total de elementos utilitarios.....	51
<b>Tabla 10-3</b> Cálculo masa total por cargas muertas.....	52
<b>Tabla 11-3</b> Cálculo de cargas vivas.....	52
<b>Tabla 12-3:</b> Resultados utilizando Element Quality. ....	61
<b>Tabla 13-3:</b> Parámetros para definir calidad de célula.....	63
<b>Tabla 14-3:</b> Resultados utilizando Snewness.....	65
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados al aplicar las cargas vivas.....	69
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados al aplicar las cargas vivas.....	72
<b>Tabla 3-4:</b> Resultados al aplicar las cargas muertas.....	74
<b>Tabla 4-4:</b> Resultados al aplicar la carga de giro. ....	76
<b>Tabla 5-4:</b> Resultados al aplicar la carga de frenado y aceleración brusca.....	78
<b>Tabla 6-4:</b> Resultados al aplicar la carga de resistencia al aire frontal. ....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2</b> Dirección AFAPECH.....	5
<b>Figura 2-2</b> Instalaciones AFAPECH.....	5
<b>Figura 3-2</b> Persona con parálisis cerebral.....	7
<b>Figura 4-2</b> Instalaciones AFAPECH.....	7
<b>Figura 5-2</b> Persona con Síndrome de West.....	8
<b>Figura 6-2</b> Persona con Síndrome de Down.....	8
<b>Figura 7-2</b> Tipos de sillas de ruedas.....	9
<b>Figura 8-2</b> Sistemas de retención para personas.....	10
<b>Figura 9-2</b> Sistema de retención tipo cinturón de 4 puntos.....	11
<b>Figura 10-2</b> Barra rígida con rosca.....	11
<b>Figura 11-2</b> Barra rígida dentada.....	12
<b>Figura 12-2</b> Carrocerías con chasis independiente.....	13
<b>Figura 13-2</b> Carrocerías con chasis plataforma.....	13
<b>Figura 14-2</b> Carrocerías autoportante o compacto.....	14
<b>Figura 15-2</b> Clasificación de buses.....	17
<b>Figura 16-2</b> Tipos de elevadores.....	18
<b>Figura 17-2</b> Plataforma para silla de ruedas.....	19
<b>Figura 18-2</b> Rampa para silla de ruedas.....	19
<b>Figura 19-2</b> Entorno de Solidworks.....	21
<b>Figura 20-2</b> Impresión 3d.....	22
<b>Figura 21-2</b> Ecosistema de programas ANSYS.....	23
<b>Figura 22-2</b> Análisis de vigas por el método de Timoshenko.....	26
<b>Figura 23-2</b> Elemento finito tipo Beam.....	26
<b>Figura 24-2</b> Matriz de rigidez.....	26
<b>Figura 25-2</b> Elemento finito tipo Shell.....	27
<b>Figura 26-2</b> Calidad del elemento utilizando la opción color.....	27
<b>Figura 27-2</b> Calidad del elemento.....	28
<b>Figura 28-2</b> Calidad del elemento en el posprocesamiento.....	28
<b>Figura 1-3</b> Parámetros del chasis a tomar en cuenta.....	35
<b>Figura 2-3</b> Chasis HINO AK8JRSA.....	36
<b>Figura 3-3</b> Chasis MERCEDEZ BENZ OF1721.....	36
<b>Figura 4-3</b> Chasis MERCEDEZ BENZ OF1721.....	37
<b>Figura 5-3</b> Especificaciones técnicas Chasis HINO AK8JRSA.....	37
<b>Figura 6-3</b> Dimensiones Chasis HINO AK8JRSA.....	38

<b>Figura 7-3</b> Dimensiones plataforma para la carrocería .....	38
<b>Figura 8-3</b> Partes de la silla de ruedas.....	39
<b>Figura 9-3</b> Especificaciones técnicas silla de ruedas D200.....	40
<b>Figura 10-3</b> Dimensiones de asientos. ....	41
<b>Figura 11-3</b> Espacios para asientos. ....	41
<b>Figura 12-3</b> Dimensiones de asientos. ....	42
<b>Figura 13-3</b> Distribución de asientos. ....	42
<b>Figura 14-3</b> Distribución inicial de asientos y sillas de ruedas.....	43
<b>Figura 15-3</b> Dimensiones de espacios para sillas de ruedas. ....	43
<b>Figura 16-3</b> Distribución de espacios para sillas de ruedas. ....	43
<b>Figura 17-3</b> Dimensiones del corredor central.....	44
<b>Figura 18-3</b> Arcos principales.....	46
<b>Figura 19-3</b> Arcos frontales. ....	46
<b>Figura 20-3</b> Arcos de vuelco.....	46
<b>Figura 21-3</b> Protecciones laterales.....	47
<b>Figura 22-3</b> Diseño estructural de la carrocería.....	47
<b>Figura 23-3</b> Peso de tubos cuadrados ASTM A500.....	49
<b>Figura 24-3</b> Peso de tubos rectangulares ASTM A500.....	49
<b>Figura 25-3</b> Cálculo de la masa de la estructura. ....	51
<b>Figura 26-3</b> Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. ....	53
<b>Figura 27-3</b> Estructura de la carrocería SolidWorks.....	55
<b>Figura 28-3</b> Ventana de trabajo software Ansys Workbench. ....	55
<b>Figura 29-3</b> Selección del tipo de análisis.....	56
<b>Figura 30-3</b> Ventana para importar el diseño.....	56
<b>Figura 31-3</b> Importación de la geometría.....	57
<b>Figura 32-3</b> Elección del diseño a importar. ....	57
<b>Figura 33-3</b> Avance del proceso. ....	57
<b>Figura 34-3</b> Carrocería importada.....	58
<b>Figura 35-3</b> Modelamiento de la geometría.....	58
<b>Figura 36-3</b> Tipo de simulación.....	59
<b>Figura 37-3</b> Generación del mallado.....	60
<b>Figura 38-3</b> Cantidad de elementos y nodos generados por la malla.....	60
<b>Figura 3-39</b> Calidad del elemento (Element Quality).....	61
<b>Figura 40-3</b> Calidad de malla usando Element Quality. ....	62
<b>Figura 41-3</b> Calidad de malla usando Element Quality. ....	62
<b>Figura 42-3</b> Oblicuidad (Snewness).....	63
<b>Figura 43-3</b> Calidad de malla usando Snewness.....	64

<b>Figura 44-3</b> Calidad de malla usando Snewness.....	64
<b>Figura 45-3</b> Determinación de valores correspondiente a las cargas y puntos fijos. ....	65
<b>Figura 46-3</b> Barra generadora de resultados. ....	66
<b>Figura 47-3</b> Resultado Von-Mises al aplicar la carga de giro.....	66
<b>Figura 1-4</b> Límite de fluencia tubería estructural navacero. ....	67
<b>Figura 2-4</b> Carga resistencia de la estructura. ....	68
<b>Figura 3-4</b> Deformación de la estructura. ....	68
<b>Figura 4-4</b> Esfuerzo equivalente von-Mises. ....	69
<b>Figura 5-4</b> Factor de seguridad de la estructura. ....	69
<b>Figura 6-4</b> Carga aplicada correspondiente al combustible. ....	70
<b>Figura 7-4</b> Carga aplicada correspondiente a los ocupantes sentados. ....	70
<b>Figura 8-4</b> Carga aplicada correspondiente a los ocupantes de pie.....	71
<b>Figura 9-4</b> Carga aplicada correspondiente a las personas con discapacidad. ....	71
<b>Figura 10-4</b> Deformación de la estructura. ....	71
<b>Figura 11-4</b> Esfuerzo equivalente von-Mises. ....	72
<b>Figura 12-4</b> Factor de seguridad de la estructura. ....	72
<b>Figura 13-4</b> Carga muerta aplicada sobre el piso.....	73
<b>Figura 14-4</b> Deformación de la estructura. ....	73
<b>Figura 15-4</b> Esfuerzo equivalente von-Mises. ....	74
<b>Figura 16-4</b> Factor de seguridad de la estructura. ....	74
<b>Figura 17-4</b> Carga aplicada correspondiente a la carga de giro. ....	75
<b>Figura 18-4</b> Deformación de la estructura. ....	75
<b>Figura 19-4</b> Esfuerzo equivalente von-Mises. ....	76
<b>Figura 20-4</b> Factor de seguridad de la estructura. ....	76
<b>Figura 21-4</b> Carga aplicada correspondiente a la carga de frenado y aceleración brusca. ....	77
<b>Figura 22-4</b> Deformación de la estructura. ....	77
<b>Figura 23-4</b> Esfuerzo equivalente von-Mises. ....	78
<b>Figura 24-4</b> Factor de seguridad de la estructura. ....	78
<b>Figura 25-4</b> Carga aplicada correspondiente a la carga frontal.....	79
<b>Figura 26-4</b> Deformación de la estructura. ....	79
<b>Figura 27-4</b> Esfuerzo equivalente von-Mises. ....	80
<b>Figura 28-4</b> Factor de seguridad de la estructura. ....	80
<b>Figura 29-4</b> Sistema de retención barra rígida. ....	81
<b>Figura 30-4</b> Funcionamiento del sistema de retención barra rígida. ....	82
<b>Figura 31-4</b> Elevador de paralelogramo.....	83
<b>Figura 33-4</b> División para impresión. ....	84
<b>Figura 34-4</b> Protipo impreso. ....	84

<b>Figura 35-4</b> Vista externa del prototipo.....	85
<b>Figura 36-4</b> Vista interna del prototipo.....	85

## **LISTA DE ANEXOS**

**Anexo A:** PLANOS DE CARROCERÍA

**Anexo B:** PLANOS DE SISTEMA DE ANCLAJE.

**Anexo C:** NORMA NTE INEN 1323

**Anexo D:** FICHA TÉCNICA HINO AK8JRSA

**Anexo E:** FICHA TÉCNICA MERCEDES BENZ OF 1730

**Anexo F:** FICHA TÉCNICA VOLKSWAGEN 17.210 OD

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>ABS</b>	Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno
<b>AISI</b>	American Iron and Steel Institute
<b>AFAPECH</b>	Asociación de Familiares de Personas Excepcionales de Chimborazo
<b>ANT</b>	Agencia Nacional de Transito
<b>ASTM</b>	American Society of Mechanical engineers
<b>CAD</b>	Diseño Asistido por Computador
<b>CAE</b>	Ingeniería asistida por ordenador
<b>E</b>	Modulo de elasticidad
<b>FDM</b>	Modelado por Deposición Fundida
<b>I</b>	Inercia
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>K</b>	Matriz de rigidez
<b>MIES</b>	Ministerio de Inclusión Económica y Social
<b>NTE</b>	Norma Técnica Ecuatoriana
<b>PCI</b>	Parálisis Cerebral Infantil
<b>PLA</b>	Ácido Poliláctico
<b>PBV</b>	Peso bruto vehicular
<b>Raf</b>	Resistencia al aire frontal
<b>RTE</b>	Reglamento Técnico Ecuatoriano.

## RESUMEN

Se diseñó un autobús inclusivo para personas miembros de la AFAPECH mediante la construcción de un prototipo a escala para persona con movilidad reducida, personas con parálisis cerebral con un porcentaje de discapacidad que supera el 70%, que hacen uso de una silla de ruedas para movilizarse. Se utilizó un chasis HINO AK8JRSA porque sus características se adaptaron a la capacidad de personas que se requiere transportar, además del bajo costo que tiene en el mercado frente a otros modelos, el diseño de la estructura del bus en el software CAD respeta los requisitos y especificaciones establecidos en las normas y reglamentos INEN vigente en el país, priorizando la seguridad de las personas a transportar, este diseño permitirá movilizar a 16 personas en sillas de ruedas, para las cuales se diseñó un sistema de retención rígido adaptable, que garantiza la estabilidad de la silla de ruedas y al soportar diferentes tensiones brinda alta seguridad y confort a la persona con movilidad reducida, además cuenta 14 asientos normales. El análisis estático y dinámico de la estructura en el software CAE, arroja valores de deformación según lo establecido en la norma, además el factor de seguridad es alto al aplicar todas las cargas consideradas, por lo cual se puede implementar este prototipo propuesto sin problemas ya que garantiza la seguridad y confort de los usuarios, reducirá el esfuerzo que realizan las personas terapistas y además les permitirá a los miembros de AFAPECH realizar actividades de recreación fuera de la institución, sin embargo se recomienda considerar el diseño propuesto para la realización de mejoras que faciliten aún más el transporte de personas con movilidad reducida.

**Palabras clave:** < TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA >, <AUTOBUS INCLUSIVO>, <MOVILIDAD REDUCIDA>, <ESTRUCTURA>, <ANSYS>, <CHASIS>, <DEFORMACIÓN>, < FACTOR DE SEGURIDAD >.



## ABSTRACT

An inclusive bus was designed for the AFAPECH members by building a scale prototype for people with reduced mobility, people with cerebral palsy with a percentage of disability that exceeds 70%, who uses a wheelchair to mobilize. A HINO AK8JRSA chassis was used because its characteristics were adapted to the capacity of people that needed to be transported, in addition to the low cost it has in the market compared to other models, the design of the bus structure in the CAD software respects the requirements and specifications established in the INEN technical standards regulations enforced in the country, prioritizing the safety of people to be transported, this design will allow mobilizing 16 people in wheelchairs, for which a rigid adaptable restraint system was designed, which ensures the wheelchair stability and to withstand different stresses provides high security and comfort to the person with reduced mobility, it also counts with 14 normal seats. The static and dynamic analysis of the structure in the CAE software, showed deformation values as established in the technical standards regulations, in addition the safety factor is high when applying all the considered loads, so this proposed prototype can be implemented without problems since it guarantees the safety and comfort of the users, it will reduce the effort made by the therapists and also allow AFAPECH members to undertake recreation activities outside the institution, however it is recommended to consider the proposed design for the implementation of improvements that further facilitate the transport of people with reduced mobility.

**Keywords:** <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <INCLUSIVE BUS>, <REDUCED MOBILITY>, <ESTRUCTURE>, <ANSYS>, <CHASIS>, <DEFORMATION>, <SECURITY FACTOR>,



# CAPÍTULO I

## 1 MARCO REFERENCIAL

### 1.1 Justificación y Actualidad

En la actualidad nuestra constitución del Ecuador enmarca la accesibilidad al medio físico y al transporte público y comercial en su artículo 60 donde se establece. - “accesibilidad en el transporte.- las personas con discapacidad tienen derecho a acceder y utilizar el transporte público. los organismos competentes en tránsito, transporte terrestre y seguridad vial en las diferentes circunscripciones territoriales, previo el otorgamiento de los respectivos permisos de operación y circulación, vigilarán, fiscalizarán y controlarán el cumplimiento obligatorio de las normas de transporte para personas con discapacidad dictadas por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) y establecerán medidas que garanticen el acceso de las personas con discapacidad a las unidades de transporte y aseguren su integridad en la utilización de las mismas, sancionando su inobservancia.

Se adoptarán las medidas técnicas necesarias que aseguren la adaptación de todas las unidades de los medios de transporte público y comercial que sean libres de barreras y obstáculos y medidas”. (Registro oficial 796, 2012)

Los autobuses no cuentan con la accesibilidad para personas con capacidades especiales y una adecuada distribución del espacio interior del autobús, considerando que las personas que utilizan este medio de transporte son para dirigirse a sus actividades diarias como visitas médicas y realización de actividades de rehabilitación.

Para brindar un servicio de calidad a las personas con discapacidad se debe tener en cuenta los siguientes parámetros:

Los entornos de las paradas, la información a los viajeros, el diseño de los vehículos, los sistemas de gestión del tráfico y también la actitud de los profesionales de los servicios. (Lorenzo, 2007)

Todos ellos son eslabones con la misma importancia en el confort de los autobuses, aunque cada vez existen más mecanismos y sistemas de adaptación en autobuses y estaciones, aún no se ha conseguido que las personas con discapacidad puedan utilizar de forma habitual este medio de transporte ya que existen muchas otras barreras mentales o psicológicas entre el personal de transporte como en el resto de los viajeros. (Francisco, 2016)

Las personas con discapacidad no se sienten seguras al realizar un viaje, por lo que no existe al nivel nacional y de la provincia un autobús con las prestaciones adecuadas para su movilidad.

Las industrias encargadas de producción de carrocerías para autobuses nacionales, a pesar de existir exigencias y normativas al respecto no se han interesado en buscar alternativas y soluciones para la adecuada distribución del espacio para las personas con discapacidad. En el país el 12,8% de personas tienen discapacidad del cual alrededor del 2,5% tienen discapacidad motriz, es un número apreciable por el cual se deben de tomar medidas para mejorar el estilo de vida de estas personas, siendo importante tener un autobús que brinde una buena distribución al interior del mismo. (Hojas, 2016)

### **1.1.1 *Justificación Metodológica.***

El método analítico se tomará en cuenta para la correcta estructuración y aplicación del proyecto, debido a que las empresas de carrocerías no cuentan con el diseño de las estructuras de los autobuses para personas con discapacidad.

Se utilizará los métodos deductivo e inductivo, que, aplicando un análisis documental y estructural, permite concluir si el diseño y organización del interior del autobús es factible para que pueda ser implementada el prototipo, de manera que pueda brindar un gran confort a las personas con discapacidad.

El estudio a realizar concierne a un proyecto de tipo tecnológico, enfocado a un nuevo diseño de autobús con nueva tecnología, con la finalidad de dar una solución a un problema vinculado en las discapacidades de las personas con discapacidad, que en este caso se basa en el análisis del autobús, en donde su prioridad principal es dar el confort, todo correspondiente a un prototipo haciendo uso de software cad/cae.

## **1.2 RESULTADOS A ALCANZAR**

- Obtención del chasis que tenga la seguridad y el confort correspondientes para las modificaciones a realizarse en el autobús.
- Demostración de las modificaciones realizadas en el autobús.
- Exponer el prototipo propuesto para las personas con discapacidad con las diferentes prestaciones que tendrá para las mismas.
- Se diseñará el autobús mediante un software cad/cae para realizar el análisis de cargas obteniendo resultados que permita elegir el tamaño, geometría y el material adecuado para la construcción del prototipo.
- Se determinará las respectivas cargas a los cuales está sometido el diseño, así como también las deformaciones y los respectivos esfuerzos

- Se implementará todos los componentes del diseño en el prototipo del autobús para la AFAPECH.

### **1.3 Planteamiento del problema**

Debido a la dificultad que tienen las personas con discapacidad para moverse por sus movimientos involuntarios a sus respectivos lugares donde realizan sus actividades diarias como, por ejemplo: rehabilitaciones, citas médicas, recreación, terapias, por lo cual se ha visto la necesidad de diseñar la distribución y seguridad del interior del autobús, para brindar las prestaciones adecuadas para el confort y seguridad de las personas con discapacidad.

### **1.4 Objetivos**

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

- Diseñar un autobús inclusivo para personas miembros de la AFAPECH mediante la construcción de un prototipo a escala para persona con movilidad reducida.

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

- Realizar el estudio de los diferentes tipos de discapacidades que se encuentran en la AFAPECH.
- Establecer el chasis adecuado para la capacidad de personas que requiere la AFAPECH que requiere para su movilidad.
- Verificar el estado tensional de los elementos estructurales de la carrocería.
- Seleccionar el tipo de anclaje adecuado para la sujeción del sistema de movilidad ocupado para personas con movilidad reducida.
- Diseñar el prototipo de autobús según el análisis.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 AFAPECH

La Asociación de Familiares de Personas Excepcionales de Chimborazo “AFAPECH”, con domicilio en la ciudad de Riobamba, Provincia de Chimborazo, República del Ecuador, con Acuerdo Ministerial del MIES No 2457, Fundada el 13 de octubre de 1988.

Es una organización sin fines de lucro, en donde se brinda atención a jóvenes y adultos con parálisis cerebral en diferentes áreas como son: Fisioterapia, Hidroterapia, Refuerzo Pedagógico, Deporte, Recreación, Cultura y Turismo.

Ya que no existe otra institución de estas características que pueda atender a jóvenes y adultos con parálisis cerebral.

##### 2.1.1 *Misión*

Es una Asociación de padres de familia dedicada a la atención de niños, jóvenes y adultos con parálisis cerebral severa en las áreas de: Fisioterapia, Refuerzo Pedagógico, Recreación, Cultura y albergue, que brinda un servicio de calidad y calidez para el desarrollo social sustentada en las Personas con Discapacidad con valores éticos y morales.

##### 2.1.2 *Visión*

Ser una asociación líder en el proceso de **Inclusión** en: Cultura, Recreación, Turismo, Refuerzo Pedagógico, Deporte, Recreación y Terapia física. Coherente con el entorno que desarrolla a las personas con discapacidad (parálisis cerebral) y que permita alcanzar el paradigma del buen vivir (sumak kawsay).

##### 2.1.3 *Ubicación*

Está ubicada en la Av. Canónigo Ramos No 7 y Saint Amound, ciudadela Los Álamos.



**Figura 1-2** Dirección AFAPECH.

Fuente: <https://www.google.com/maps>.



**Figura 2-2** Instalaciones AFAPECH.

Fuente: Los autores.

## **2.1.4** *Áreas de rehabilitación*

### **2.1.4.1** *Área de pedagogía*

**REFUERZO PEDAGÓGICO.** - Refuerzo es la acción y la consecuencia de reforzar (fortificar, vigorizar, compensar o subsanar).

### **2.1.4.2** *Área de fisioterapia*

En el tratamiento Fisioterapéutico del PCI (Parálisis Cerebral Severa), existen diferentes métodos y técnicas de tratamiento que permiten mejorar el bienestar tanto físico como emocional del paciente por lo que se emplea para brindar resistencia o solidez en los aprendizajes de los usuarios.

**Hidroterapia:** Se basa principalmente en el uso del agua como medio de transmisión de estímulos térmicos, por lo que es considerada como un sistema terapéutico que permite al paciente desarrollar diferentes tratamientos.

**Aromaterapia:** La Aromaterapia es una terapia alternativa que mediante la percepción de los olores de determinados aceites esenciales brinda efectos beneficiosos en el organismo humano.

### 2.1.5 Usuarios de AFAPECH

**Tabla 1-2:** Usuarios AFAPECH 2018

Usuarios	Sexo	Edad	Tipo de discapacidad	Porcentaje	Ayuda técnica
Usuario 1	Femenino	9	Parálisis Cerebral	88%	Silla de ruedas
Usuario 2	Masculino	11	Parálisis Cerebral	82%	Silla de ruedas andador
Usuario 3	Masculino	14	Parálisis Cerebral	88%	Silla de ruedas
Usuario 4	Masculino	18	Parálisis Cerebral	98%	Silla de ruedas
Usuario 5	Masculino	18	Parálisis Cerebral	99 %	Silla de ruedas
Usuario 6	Femenino	19	Parálisis Cerebral	96 %	Silla de ruedas
Usuario 7	Masculino	22	Parálisis Cerebral	96 %	Silla de ruedas
Usuario 8	Masculino	23	Parálisis Cerebral	95 %	Silla de ruedas
Usuario 9	Femenino	28	Parálisis Cerebral	72%	Silla de ruedas
Usuario 10	Masculino	31	Parálisis cerebral	97 %	silla de ruedas
Usuario 11	Femenino	32	Parálisis Cerebral	99 %	Silla de ruedas
Usuario 12	Femenino	37	Parálisis Cerebral	89 %	Silla de ruedas
Usuario 13	Femenino	39	Parálisis Cerebral	95 %	Silla de ruedas andador
Usuario 14	Femenino	41	Parálisis cerebral	96 %	Silla de ruedas
Usuario 15	Femenino	50	Parálisis Cerebral	90%	Silla de ruedas
<b>AMBULATORIO</b>					
Usuario 1	Masculino	3	Síndrome de wuest	55%	Ninguna
Usuario 2	Masculino	3	Síndrome de down	37%	Ninguna
Usuario 3	Masculino	4	Parálisis Cerebral	65%	Ninguna

**Fuente:** AFAPECH, 2018.

**Realizado por:** Los autores.

## 2.2 Persona con movilidad reducida

Toda persona que posee algún tipo de deficiencia física causada por factores como la edad, enfermedad, accidentes o discapacidad por la cual requiere de la ayuda de otras personas u aparatos de apoyo que le permitan moverse con normalidad (Quingla, 2017, p.1).

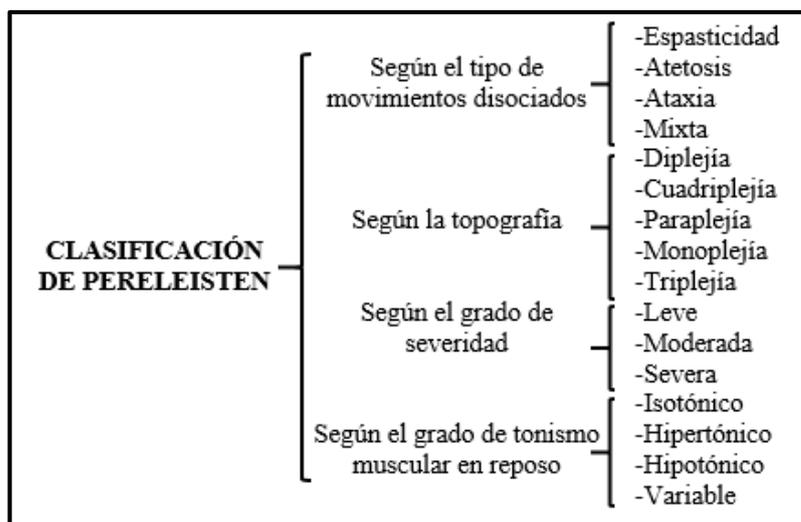
### 2.2.1 Parálisis cerebral

La parálisis cerebral es un conjunto de trastornos motores persistentes que se dan debido a lesiones cerebrales en etapas prenatal, neonatal o postnatal afectando a cada 2-2,5 de 1000 recién nacidos vivos (Gonzalez, 2008, p.95).



**Figura 3-2** Persona con parálisis cerebral.  
Fuente: <https://holadoctor.com>.

Existen diferentes clasificaciones de este trastorno sin embargo se hará referencia a la clasificación de Pereleisten debido a que toma en cuenta diversos criterios:



**Figura 4-2** Instalaciones AFAPECH.  
Fuente: J. Gonzales, 2008, Alteraciones del habla en la infancia, pp. 96-97.

En su mayoría las personas con parálisis cerebral y un porcentaje de discapacidad motriz elevado necesitan ayuda para su movilización por lo cual la silla de ruedas se convierte en una herramienta primordial para el traslado de la persona con PC.

### 2.2.2 *Síndrome de West*

Conocido también como el síndrome de espasmos, Es el tipo más frecuente de encefalopatía epiléptica, una alteración a nivel cerebral rara que produce espasmos epilépticos, retraso en el desarrollo psicomotor e hipsarritmia (Gonzalez, 2008, p.74).



**Figura 5-2** Persona con Síndrome de West.  
Fuente: <https://atendiendonecesidades.blogspot.com>.

### 2.2.3 *Síndrome de Down*

Es un trastorno genético también llamado trisomía 21 que se presenta debido a un fallo cromosómico en el que se tiene 47 cromosomas en lugar de 46 en el cariotipo, lo cual causa retraso mental, retraso social y anomalías físicas (Gonzalez, 2008, p.54).



**Figura 6-2** Persona con Síndrome de Down.  
Fuente: <http://www.sindromedown.net/sindrome-down/>.

## 2.3 Silla de ruedas

Es una herramienta de apoyo que permite el desplazamiento de personas con movilidad reducida. Al ser un implemento usado por personas con diferentes problemas motrices, se puede encontrar gran variedad de modelos en el mercado, sin embargo la forma más común de clasificarlas se realiza de acuerdo a la forma de manejarla.

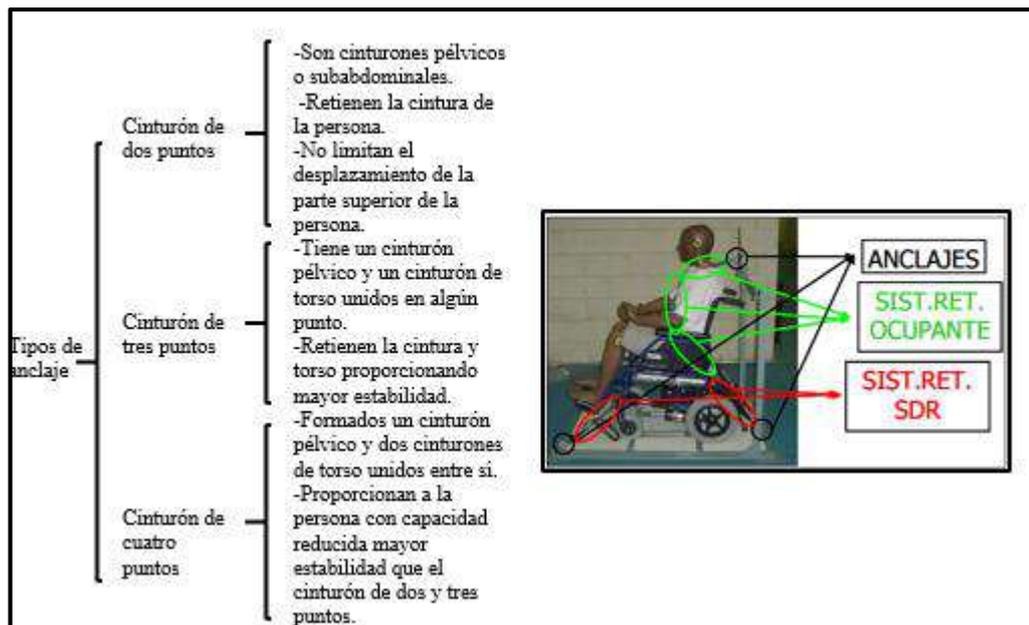


**Figura 7-2** Tipos de sillas de ruedas.  
Fuente: Bilbao, 2017, Guía de familias, pp. 141-142.

### 2.3.1 Sistemas de retención para personas

Estos sistemas proporcionan seguridad a la persona con movilidad reducida, debido a que permiten fijar a la persona a la silla de ruedas. En el caso de las personas con parálisis cerebral estos sistemas juegan un papel fundamental debido a que gracias a ellos las personas pueden utilizar la silla dado a que por su discapacidad no pueden permanecer sentados sin ayuda. (García, 2003, pp.8-9).

Este sistema es de tipo cinturón y según el número de puntos de fijación se clasifican en:



**Figura 8-2** Sistemas de retención para personas.

Fuente: <http://sid.usal.es/22126/8-4-1>

## 2.4 Anclajes para sillas de ruedas

Un anclaje es un sistema de seguridad que permite fijar un dispositivo como una silla de ruedas a otro dispositivo o superficie, garantizando estabilidad debido a que están diseñados para soportar diferentes tensiones según se requiera.

Estos dispositivos también son conocidos como sistemas de retención y de acuerdo a la utilización en las sillas de ruedas se clasifican en (Garcia, 2003, pp.7-8):

### 2.4.1.1 *Sistemas de retención flexibles*

Estos sistemas pueden ser tipo cable o tipo cinturón, un extremo está sujeto al bastidor del vehículo y el otro a la silla de ruedas. Por lo general el cinturón o cable se acopla a la silla de ruedas por medio de ganchos metálicos, para la fijación de la silla es necesario que el cable o cinturón se tense de manera que impida el movimiento de la misma por lo que se hace uso de retractores o tensores manuales.



**Figura 9-2** Sistema de retención tipo cinturón de 4 puntos.  
Fuente: <http://sid.usal.es/22126/8-4-1>

#### 2.4.1.2 *Sistemas de retención rígidos.*

Como su nombre lo indica, están formados por barras rígidas que mediante algún mecanismo permiten la fijación de la silla de ruedas, las barras rígidas verticales en la actualidad son las que más demanda tienen.



**Figura 10-2** Barra rígida con rosca.  
Fuente: <http://sid.usal.es/22126/8-4-1>



**Figura 11-2** Barra rígida dentada.  
Fuente: <http://sid.usal.es/22126/8-4-1>

Los sistemas mencionados anteriormente se pueden combinar, formando sistemas de retención mixtos.

## **2.5 Partes que constituyen un vehículo**

Un vehículo está compuesto de dos partes primordiales, el chasis y la carrocería, los cuales engloban una serie de elementos que juntos permiten el transporte de personas de un lugar a otro.

### **2.5.1 Chasis**

También conocido como auto bastidor, en si es el conjunto de elementos que forman parte de la suspensión trasera y delantera del vehículo permitiendo el movimiento del mismo por lo cual se toma en cuenta características como peso, rigidez torsional resistencia, resiliencia y sencillez de manera que sea un soporte rígido para la carrocería.

Los sistemas que forman un chasis son:

- ✓ Motor
- ✓ Sistema de Dirección
- ✓ Sistema Eléctrico
- ✓ Sistema de Frenos
- ✓ Sistema de Suspensión
- ✓ Sistema de Transmisión

## 2.5.2 Carrocería

Es la estructura metálica visible del vehículo donde descansan pasajeros incluido el conductor y la carga

### 2.5.2.1 Sistemas de carrocerías

**Carrocerías con chasis independiente:** Es el sistema más antiguo por ende el más sencillo, en el cual la carrocería es independiente y tiene su propio piso por lo cual se puede montar y desmontar por completo del chasis debido a que estos están atornillados utilizando uniones elásticas. El principal problema de este sistema es que se tienen sistemas con centro de gravedad bajos.



**Figura 12-2** Carrocerías con chasis independiente.

Fuente: <http://rubencm-eafe.blogspot.com/2015/12/estructuras-y-carrocerias-de-vehiculos.html>

**Carrocería con chasis plataforma:** El chasis es una plataforma ligera que soporta los órganos mecánicos y el piso, la cual además puede rodar sin carrocería debido a que esta es independiente, estas dos partes se unen mediante tornillos o soldadura. Este tipo de carrocerías se utilizan generalmente en vehículos destinados a rodar en caminos en mal estado.



**Figura 13-2** Carrocerías con chasis plataforma.

Fuente: <http://rubencm-eafe.blogspot.com/2015/12/estructuras-y-carrocerias-de-vehiculos.html>

**Carrocería auto portante o compacto:** Es el sistema más usado en la actualidad. La carrocería está compuesta por un conjunto de piezas de chapas unidas por puntos de soldadura, lo cual facilita la reparación, aunque también se pueden tener piezas unidas por tornillos. Se caracterizan por brindar ligereza, estabilidad y flexibilidad.



**Figura 14-2** Carrocerías autoportante o compacto.

Fuente: <http://rubencm-eafe.blogspot.com/2015/12/estructuras-y-carrocerias-de-vehiculos.html>

#### 2.5.2.2 Componentes de la carrocería

Para un mejor entendimiento se divide los componentes de la carrocería en cuatro grandes grupos:

- ✓ Paneles exteriores
- ✓ Componentes del armazón central y posterior
- ✓ Componentes del armazón interior
- ✓ Componentes del armazón de pisos tapas y puertas

**Paneles exteriores.** - Son todas las piezas que forman parte del revestimiento del vehículo por lo que se pueden visualizar, entre ellas se encuentran: guardabarros, revestimiento inferior del parabrisas, vierteaguas, marco frontal del parabrisas, panel trasero, montantes, pilares y cimbra, estribo y panel delantero.

**Componentes del armazón central y posterior.** - Son todas las piezas que forman la parte interna de la carrocería como: pasarruedas, largueros, travesaños, traviesas, bandeja.

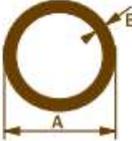
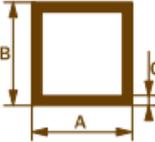
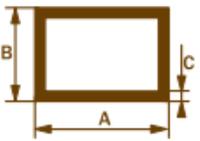
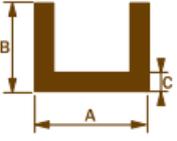
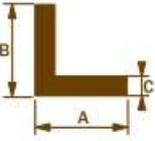
**Componentes del armazón anterior.** - Sirve de apoyo al motor, es la masa con más peso en la carrocería por lo cual posee algunos refuerzos, forman parte de este: varas, salpicadero, piezas especiales (tipos de traviesas para la sustentación de capó delantero, pasarruedas delanteros, soportes para la colocación del radiador etc.).

**Componentes del armazón.** - Están conformado por pisos, puertas, capó, parachoques, parabrisas y la mascarilla.

### 2.5.2.3 Estructura de la carrocería

La estructura de la carrocería debe contar con arcos principales, frontales y de vuelco, así como también con protecciones laterales y frontales que proporcionen protección ante accidentes como choques o vuelcos, estos elementos actúan como una coraza cuya función principal es brindar seguridad al pasajero y proteger componentes internos del vehículo. Para la estructura de la carrocería, en la norma NTE INEN 1323 en su numeral 5.1.6, se establece que se deben utilizar perfiles estructurales anti corrosión, los cuales además se regirán con las normas NTE INEN vigentes. En la siguiente tabla se muestran algunos de los tubos y perfiles más usados en la fabricación de carrocerías.

**Tabla 2-2:** Tipos de tubos y perfiles.

Material	Tipo	Grafico	Aplicaciones
Tubo	Redondo		Largeros de piso Largeros de ventana Tubos de refuerzo laterales y frontales
	Cuadrado		
	Rectangular		
Perfiles	U		Soportes inferiores, laterales y frontales.
	T		
	L		

Fuente: [https://www.alumisan.com/archivos\\_descargas/SistemasALUMISAN\\_Carroceria-Transporte.pdf](https://www.alumisan.com/archivos_descargas/SistemasALUMISAN_Carroceria-Transporte.pdf)

Realizo por: Los autores.

#### 2.5.2.4 *Materiales de la carrocería*

Existen diferentes tipos materiales utilizados en la fabricación de carrocerías, sin embargo la elección depende de parámetros como resistencia, fiabilidad, estabilidad, corrosión, disponibilidad del material, duración del proceso de fabricación, costo, peso, etc.

Los materiales más utilizados son:

***El Acero.*** - Debido a su característica de alta dureza y resistencia es el material más usado en la fabricación de carrocerías, sin embargo, se oxida con facilidad por lo cual se utilizan recubrimientos metálicos como el zinc y aluminio que lo protejan de factores externos.

***El aluminio.*** - Es el segundo material más usado después del acero en la fabricación de carrocerías debido a su baja densidad y gran resistencia a la corrosión. Los autobuses fabricados con este material son más livianos que los fabricados con el acero por lo que además requirieren menos combustible.

***Polímeros.*** - El uso de plásticos se ha adoptado en la fabricación de carrocerías debido a su bajo peso, altos niveles de deformación con lo que se tiene más posibilidades de diseño y además por el bajo costo que su uso requiere. Sin embargo, este material necesita combinarse con el acero para poder proporcionar la rigidez y seguridad que se requiere en las carrocerías. Los polímeros empleados en automoción son los termoplásticos, termoestables y elastómeros.

***Fibra de vidrio.*** - El uso de este material se da principalmente en la elaboración de adornos y paracoches, debido a que no proporciona seguridad en colisiones, sin embargo tiene alta resistencia a la corrosión y es ligero.

## 2.6 **Bus**

Vehículo que sirve para el transporte de personas y equipajes, el cual posee mínimo 9 asientos y puede tener uno o dos pisos según los requerimientos de uso.

### 2.6.1 *Tipos de buses*

Existe una clasificación de buses establecidos en la norma NTE INEN-ISO 3833 la cual se muestra a continuación:

<b>Clasificación de buses</b>	<b>Bus urbano</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite el transporte de pasajeros sentados, así como de pie.</li> <li>-Realiza diversas paradas durante su recorrido para dejar pasajeros y recoger nuevos.</li> <li>-Circulación dentro del perímetro urbano de una ciudad.</li> </ul>	
	<b>Bus escolar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite el transporte de estudiantes a unidades educativas.</li> <li>-Generalmente son de tamaño pequeño o mediano.</li> <li>-En su mayoría son de color amarillo o naranja.</li> <li>-Equipados con asientos pequeños.</li> </ul>	
	<b>Bus interprovincial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite la movilización de pasajeros entre provincias.</li> <li>-Tiene una capacidad mínima de 35 asientos, no se admiten pasajeros de pie.</li> <li>-Única puerta para ingreso y salida de pasajeros.</li> </ul>	
	<b>Bus articulado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Compuesto por dos partes que se unen entre sí por una sección articulada.</li> <li>-La sección articula debe permitir a los pasajeros circular entre las partes rígidas.</li> </ul>	
	<b>Trolebus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bus de transporte público propulsado con electricidad obtenida de un tendido de cables al cual se conecta por medio de una línea de trole.</li> </ul>	
	<b>Minibus</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Bus más pequeño que un urbano con capacidad de 17 asientos o menos.</li> </ul>	

**Figura 15-2** Clasificación de buses.  
Fuente: NTE INEN-ISO 3833, 2008, pp. 6-7.

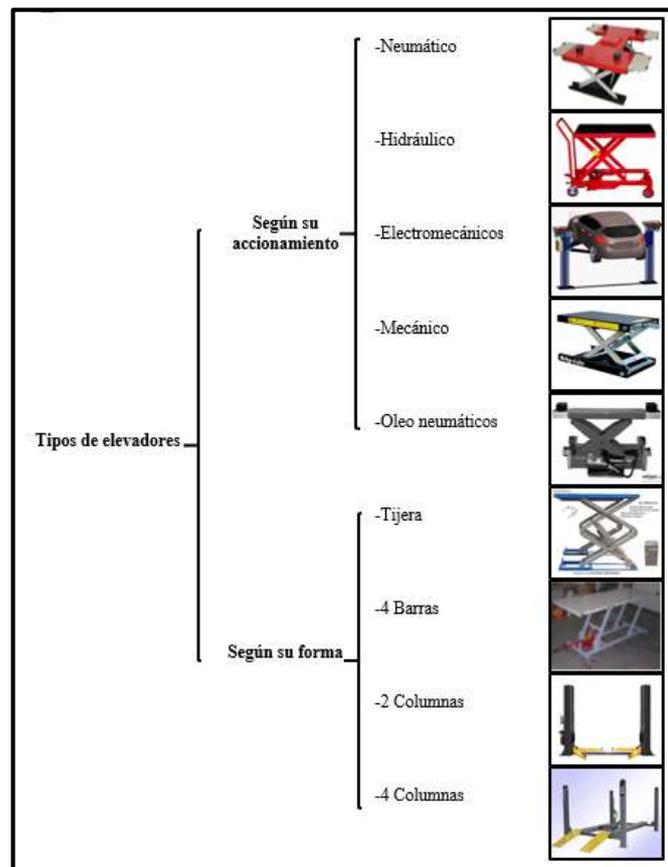
## 2.7 Accesibilidad al transporte de personas que utilizan silla de ruedas.

En cuanto a los buses urbanos la norma INEN 2205 en su literal 5.1.2.5 ítem b7 establece: “Se debe disponer de al menos un espacio exclusivo, que debe estar ubicado próximo a las puertas de acceso y/o salida y provisto de un asidero para la sujeción de la silla, con cinturón de seguridad mínimo de dos puntos”, por lo cual el transporte urbano debe contar con una de estas alternativas para asegurar la accesibilidad de personas con movilidad reducida.

- ✓ Elevador (Plataforma Elevadora) en el bus
- ✓ Rampa en el bus
- ✓ Rampa en la parada

### 2.7.1 Elevador

Son dispositivos que permiten el transporte vertical seguro ya sea ascendente o descendente de materiales objetos o personas. Existen diferentes tipos de elevadores los cuales se muestran en la siguiente figura.



**Figura 16-2** Tipos de elevadores.

Fuente: Hernández & Verdugo, 2016, pp. 5-9.

### 2.7.2 *Plataforma*

Dispositivo o tablero horizontal que permite a las personas en sillas de ruedas transportarse desde el suelo al interior del bus.



**Figura 17-2** Plataforma para silla de ruedas.

Fuente: <https://www.movilidadsinlimites.com>

### 2.7.3 *Rampa*

Tablero inclinado que hace de camino de manera que una persona o elemento se pueda trasladar sin mayor esfuerzo en forma ascendente o descendente.



**Figura 18-2** Rampa para silla de ruedas.

Fuente: <https://cominet.org/>

### 2.7.4 *Normativa aplicada a elevadores para personas con movilidad reducida.*

La norma NTE INEN 2205 establece en el numeral 5.1.2.7 correspondiente a Elementos de Seguridad y Control, literal b) los requisitos mecánicos y protecciones que debe cumplir un elevador para poder operar.

En cuanto a los requisitos mecánicos se hace referencia a:

- ✓ Capacidad de elevación
- ✓ Accionamiento en los mandos
- ✓ Sistema de bloqueo del vehículo
- ✓ Autonomía del elevador

En cuanto a las protecciones del elevador se hace referencia a:

- ✓ Protección de la plataforma
- ✓ Barrera de proteccion
- ✓ Accionamiento de la barrera de proteccion
- ✓ Barandas
- ✓ Superficie de la plataforma
- ✓ Dimensiones de la plataforma
- ✓ Flexion util de la plataforma
- ✓ Velocidad de dezplazamiento de la plataforma
- ✓ Acceso a la plataforma
- ✓ Protecciones
- ✓ Resistencia a las vibraciones
- ✓ Avisador acustico

## **2.8 Software de diseño, análisis y simulación**

### **2.8.1 SOLIDWORKS.**

Es un software licenciado de diseño asistido por computadora (CAD) el cual proporciona las herramientas necesarias para el modelamiento mecánico en 2D y 3D.

Características (SOLIDWORKS, 2019, <http://help.solidworks.com>):

*Basado en operaciones.* - Este software utiliza operaciones geométricas inteligentes y fáciles de usar debido a la interfaz que proporciona, una operación es en sí cada elemento que hace parte de un modelo.

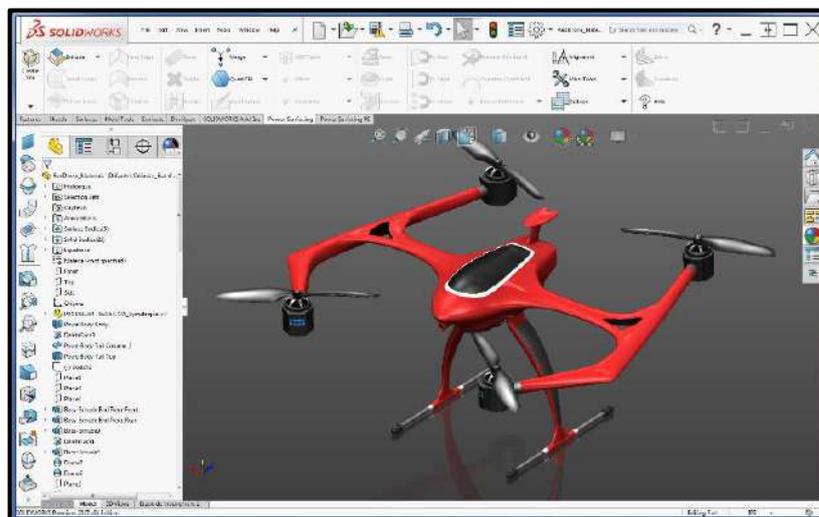
*Paramétrico.* -Permite guardar en el modelo las cotas y relaciones, lo que facilita realizar cambios posteriores.

*Modelado sólido.* -Es el modelado geométrico más sofisticado en los sistemas CAD, lo que permite describir detalladamente las aristas y las caras del modelo, así como adelantarse al uso de ciertas funciones debido a la inteligencia que el software brinda.

*Totalmente asociativo.* - Dado a que el modelo realizado esta directamente asociado con los dibujos y ensamblajes, al realizar un cambio en el modelo automáticamente se realizara en los dibujos y ensamblajes o viceversa.

*Relaciones.* - Provee varios tipos de relaciones de croquis, las cuales proporcionan diferentes opciones de uso según la combinación de la geometría seleccionada.

*Intención de diseño.* -Hace referencia al comportamiento que tendrá el modelo si se lo modifica. Las relaciones automáticas (croquis), ecuaciones, relaciones agregadas y acotación son factores que aportan al modo en que se captura la intención del diseño.



**Figura 19-2** Entorno de Solidworks.

Fuente: <https://www.solidworks.com/>

### 2.8.1.1 Impresión 3d

Una impresión 3d es un proceso de fabricación mediante el cual se construyen piezas capa por capa de abajo hacia arriba, este proceso de modelado por deposición fundida (FDM), se lo realiza mediante el uso de impresoras 3d cuya función primordial es reproducir un modelo o diseño volumétrico a partir de un diseño en cualquier programa CAD (Diseño Asistido por Computador) (Macas & Pilco, 2016, pp.3-7).



**Figura 20-2** Impresión 3d.

Fuente: <https://tecnologia-informatica.com>.

El 95% de impresoras personales que utilizan modelado por deposición fundida utilizan estos dos materiales para la impresión (Funes, Vásquez & Torres, 2017, p.8):

El ácido poliláctico (PLA), es un polímero termoplástico biodegradable obtenido a partir de almidón de maíz, yuca, caña de azúcar o mandioca, que tiene gran demanda en el campo de la impresión 3D, debido a sus características. El ABS (acrilonitrilo, butadieno y estireno), es un polímero termoplástico no biodegradable obtenido a partir del petróleo que tiene gran demanda en el campo de la impresión 3D, debido a su uso industrial.

Las principales diferencias entre los dos materiales mencionados anteriormente se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 3-2:** Comparación ABS vs PLA.

Característica	ABS	PLA
Procedencia	Petróleo	Vegetal (Almidón de maíz, yuca, caña de azúcar, mandioca, etc)
Dureza y flexibilidad	Dureza alta, presenta alta flexibilidad o curvatura.	Dureza media, presenta menor flexibilidad que el plástico ABS cuando se dobla.
Resistencia al impacto	Si	No
Configuración térmica	210-250°C	175-220°C
Olor	Debido a su procedencia tiene un olor poco agradable, por lo requiere ventilación, sin embargo no es considerado nocivo.	Debido a su procedencia tiene un olor agradable, por lo que facilita el entorno de trabajo.
Posprocesamiento	Permite corte, pulir, limar, lijar, pintar y realizar ciertos retoques a la pieza para mejorar su acabado, inclusive permite utilizar acetona para realzar o dar brillo a su superficie.	Permite corte, pulir, limar, lijar, pintar y realizar ciertos retoques a la pieza para mejorar su acabado, sin embargo no se puede utilizar acetona para realzar o dar brillo a su superficie.

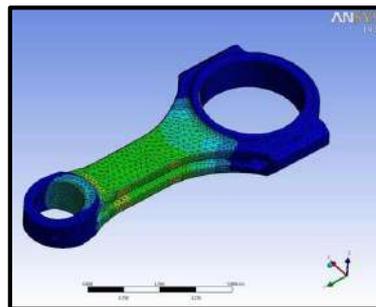
Estética	Este material presenta problemas para imprimir detalles finos, debido a que se presenta deformaciones en la parte interna de la pieza, así como también se obtienen esquinados afilados en lugar de redondeados.	Este material permite imprimir detalles más finos, con esquinados nítidos, por lo que la deformación es mínima.
Aplicación	Generalmente se le da uso industrial, objetos o piezas que vayan a ser expuestos a golpes, caídas o ambientes calientes.	Generalmente es de uso doméstico, utilizado especialmente para modelos donde la estética juega un papel predominante como es el caso de modelos y prototipos.
Biodegradable	No	Si
Costos	Económico	Un poco más económico que el ABS.

Fuente: Funes, Vázquez & Torres, 2017, p.95.

Realizo por: Los autores

## 2.8.2 ANSYS

Es un conjunto de software licenciados los cuales proporcionan las herramientas avanzadas de Ingeniería asistida por computadora (CAE) necesarias para la creación de aplicaciones científicas y de ingeniería en el área de fluidodinámica, análisis estructural y electromagnetismo y multifísica.



**Figura 21-2** Ecosistema de programas ANSYS.

Fuente: <http://www.3dcadportal.com/ansys.html>

Características (ANSYS, 2019, <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent/ansys-fluent-features>):

*Flujo de trabajo eficiente y flexible.* - Debido al entorno de trabajo ANSYS Workbench se facilita el uso óptimo y eficiente de una variedad de opciones de diseño.

*Construido para multifísica.* -Se enlaza con ANSYS Workbench para proporcionar interactividad bidireccional completa con ANSYS Mechanical, ANSYS Maxwell y otras tecnologías de simulación.

*Resolver modelos complejos con confianza.* - Permite resolver modelos para flujos multifase, reacción química y combustión, así como también permite realizar predicciones de ruido inducidas por el flujo, transferencia de calor con y sin radiación.

*Va más rápido con la computación de alto rendimiento (HPC).* - Dado a que utiliza simulación CFD proporciona altas velocidades de simulación.

*Modelado de turbulencia.* - Proporciona modelos innovadores en cuanto a este modelado se refiere como el modelo de transición laminar-turbulenta Menter – Langtry  $\gamma - \theta$ , que solo este software proporciona.

*Transferencia de calor y radiación.* - Permite modelar todos los tipos de intercambio de calor por radiación y entre fluidos y sólidos.

*Flujo multifase.* - Permite modelar la interacción entre fases de fluidos

*Flujo de reacción.* - Permite modelar reacciones químicas y combustión en cuanto al flujo de fluidos se refiere

*Acústica.* -Resuelve simulaciones acústicas por medio del cálculo del ruido producido por fluctuaciones de presión.

*Interacción fluido-estructura.* - Permite modelar la Interacción fluido-estructura bidireccional sin la necesidad de software de acoplamiento y preprocesamiento de terceros.

*Optimiza tu diseño – Automáticamente.* -El solucionador proporciona recomendaciones para mejorar las geometrías que son además de difíciles costosas de obtener de otra manera.

*Fluido para CATIA V5.*-Reduce el tiempo de ciclo para el análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD) y permite un enfoque de diseño basado en simulación en el que el diseño, análisis y optimización se realizan dentro del flujo de trabajo único del entorno CATIA V5 PLM.

Todo diseño de ingeniería incluye un análisis de elementos finitos el cual permite predecir el comportamiento del diseño a partir de todos los componentes que lo conformen, para lo cual existen programas de análisis como ANSYS FLUENT, el cual define al modelo diseñado como red de elementos discretos interconectados.

Este análisis implica:

- ✓ La creación de un modelo geométrico.
- ✓ Subdividir el modelo en pequeñas partes conectadas en puntos en común denominados nodos.

### 2.8.2.1 *Mallado*

El mallado del diseño juega un rol fundamental en el análisis del mismo, este proceso se puede realizar automáticamente mediante software para lo cual se toma en cuenta el tamaño global del elemento, tolerancia y especificaciones propias del control de malla como tamaños de elementos, caras, aristas y vértices.

Tomando en consideración detalles geométricos como el volumen, área de superficie, etc, el software estima para el modelo un tamaño de elemento global.

Una malla está compuesta por un solo uno o más tipos de elementos en el caso de las mallas mixtas que pueden ser:

- ✓ Elementos sólidos tetraédricos en 3D, utilizados en modelos de gran tamaño
- ✓ Elementos de vaciado triangulares en 2D, se usan principalmente para modelar piezas delgadas
- ✓ Elementos de viga en 1D, utilizadas en el modelamiento de elementos estructurales.

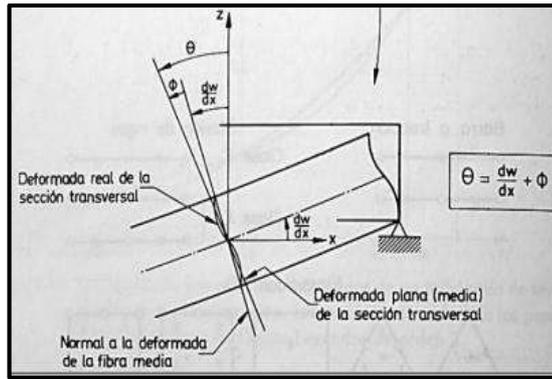
Existen dos formas para mallar un modelo:

- ✓ Mallado Automático. -Se utilizan algoritmos para considerar la geometría y topología del modelo.
- ✓ Mallado Manual. -Es un mallado más personalizado en el cual se puede elegir los lugares donde se requiera mallar fino o grueso.

Previo al mallado se debe realizar el arreglo de la geometría para lo cual se define el tipo de elemento que se va a utilizar, existen dos tipos de elementos los cuales deben ser tipo Beam y tipo Shell.

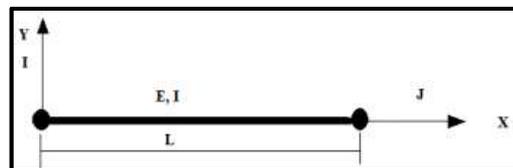
### 2.8.2.2 *Elementos tipo viga (Beam)*

Generalmente este elemento tridimensional se usa en análisis de estructuras tubulares ya que permiten realizar simulaciones simplificadas, además es utilizado cuando se tiene problemas por flexión, torsión o estabilidad lateral, en el software Ansys se encuentra como Beam 188 el cual se basa en el modelo de viga de Timoshenko que toma en cuenta la modelación transversal del corte (contribución de cortantes y efecto de inercia rotacional) (Borja y Morocho, 2017, p.14).



**Figura 22-2** Análisis de vigas por el método de Timoshenko.  
Fuente: Borja y Morocho, 2017, p.15.

Al ser un elemento tridimensional está definido por tres nodos, dos principales (i,j) y un tercero K encargado de la orientación del sistema de coordenadas, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 23-2** Elemento finito tipo Beam.  
Fuente: Borja y Morocho, 2017, p.15.

En la figura anterior podemos observar la representación de un elemento tipo beam, en el cual se tienen dos nodos y tantos grados de libertad según los apoyos que actúen sobre la viga, además se considera un momento de inercia (I), un módulo de elasticidad (E), la longitud (L) y la matriz de rigidez (K), la cual está definida por:

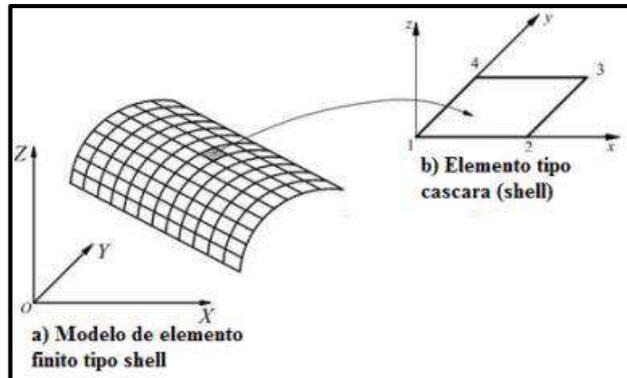
$$k = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ -12 & -6L & 12 & -6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix}$$

**Figura 24-2** Matriz de rigidez.  
Fuente: Borja y Morocho, 2017, p.15.

### 2.8.2.3 Elementos tipo cascara (Shell)

Generalmente se utilizan en el análisis de estructuras hechas a partir de láminas o elementos de pared delgada, debido a que tienen buen comportamiento en problemas no líneas frente a la convergencia, se basan en la teoría de Reissner Mindlin y están definidos por 4 nodos y 24 grados de libertad (6 por cada nodo, 3 de rotación y 3 de traslación).

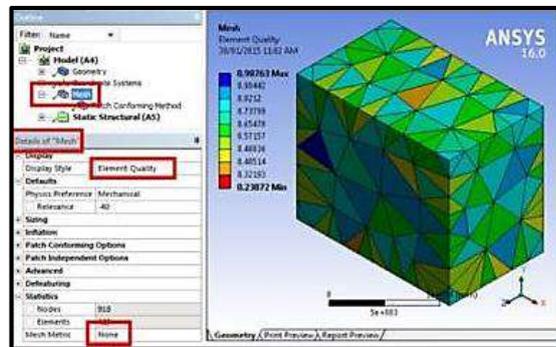
Tienen un espesor definido en sus constantes reales, además de que los ejes de coordenadas (X y Y) se definen en mismo plano del elemento.



**Figura 25-2** Elemento finito tipo Shell.  
Fuente: Borja y Morocho, 2017, p.16.

Una consideración importante al momento de realizar el mallado es la calidad del mismo, para lo cual el software proporciona tres formas para mostrar la calidad del elemento (<https://www.simutechgroup.com/>):

### 1. Color en la rama Malla



**Figura 26-2** Calidad del elemento utilizando la opción color.  
Fuente: <https://www.simutechgroup.com/tips-and-tricks/fea-articles/>

El único requisito para visualizar la calidad de malla utilizando la opción de color es que en la métrica de malla se debe seleccionar la opción “ninguna”.

### 2. Utilizando gráficos de barras de la calidad del elemento



Cada métrica utilizada para determinar la calidad de malla tiene especificaciones propias de trabajo por lo cual cada grafico va a tener un análisis diferente correspondiente a las especificaciones de su métrica.

## **2.9 Normativa aplicada a buses.**

La normativa **NTE INEN 1323** establece los requisitos que deben cumplir los buses en el país en cuanto al diseño, fabricación y montaje de carrocerías.

### **2.9.1 Consideraciones de diseño de la carrocería** (NTE INEN 1323, 2009, p.4):

#### *2.9.1.1 Especificaciones del chasis*

- ✓ Tipo de Servicio de la carrocería.
- ✓ Peso bruto vehicular (PBV).
- ✓ Capacidad de carga de los ejes.
- ✓ Peso del chasis en vacío o tara, total y por ejes.
- ✓ Relación peso/potencia.

#### *2.9.1.2 La estabilidad*

- ✓ Distribución de masa
- ✓ Altura del centro de gravedad
- ✓ Dimensiones de la carrocería
- ✓ Rigidez de suspensión.
- ✓ Capacidad de inclinación (rolido).

#### *2.9.1.3 El confort*

- ✓ Aislamiento acústico y térmico.
- ✓ Ventilación.
- ✓ Hermeticidad.
- ✓ Ergonomía.

#### *2.9.1.4 El mantenimiento*

- ✓ Accesibilidad a los elementos del vehículo.

#### 2.9.1.5 *La seguridad*

- ✓ Seguridad activa y pasiva.

#### 2.9.1.6 *Método de anclaje y montaje*

- ✓ Disposiciones y recomendaciones del fabricante del chasis (manual de carrozado).

#### 2.9.1.7 *Estructura*

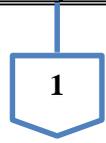
- ✓ Materiales metálicos y no metálicos.
- ✓ Uniones y juntas.
- ✓ Tratamientos de materiales.
- ✓ Geometría.
- ✓ Resistencia estructural.

### 2.9.2 *Requisitos que debe cumplir la estructura de las carrocerías de buses*

En la siguiente tabla se muestran los requisitos que debe cumplir la estructura de las carrocerías de buses según lo establecido en la **NTE INEN 1323** en el numeral 5.

**Tabla 4-2:** Requisitos que debe cumplir la estructura de las carrocerías de buses

<b>Cargas de diseño.</b>	<b>Carga de Giro (G).</b>	<p>-Fuerza producida por el giro de un vehículo.</p> <p>-Se calcula en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad.</p> <p>-Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco.</p> <p>-La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla.</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tipo servicio</th> <th>Masa de un ocupante(Kg)</th> <th>Masa mínima de equipaje de mano por pasajero(kg)</th> <th>Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas porta equipajes</th> <th>Espacio necesario por pasajero de pie(m²)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><i>Urbano</i></td> <td>70</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>0,16</td> </tr> <tr> <td><i>Urbano (escolar e institucional)</i></td> <td>70</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>Sin pasajeros de pie</td> </tr> <tr> <td><i>Interurbano (Intraprovincial)</i></td> <td>70</td> <td>5</td> <td>100xVol</td> <td>0,16</td> </tr> <tr> <td><i>Larga distancia (Interprovincial y turismo)</i></td> <td>70</td> <td>5</td> <td>100xVol</td> <td>Sin pasajeros de pie</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo servicio	Masa de un ocupante(Kg)	Masa mínima de equipaje de mano por pasajero(kg)	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas porta equipajes	Espacio necesario por pasajero de pie(m²)	<i>Urbano</i>	70	-	-	0,16	<i>Urbano (escolar e institucional)</i>	70	-	-	Sin pasajeros de pie	<i>Interurbano (Intraprovincial)</i>	70	5	100xVol	0,16	<i>Larga distancia (Interprovincial y turismo)</i>	70	5	100xVol	Sin pasajeros de pie
	Tipo servicio	Masa de un ocupante(Kg)	Masa mínima de equipaje de mano por pasajero(kg)	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas porta equipajes	Espacio necesario por pasajero de pie(m²)																							
	<i>Urbano</i>	70	-	-	0,16																							
	<i>Urbano (escolar e institucional)</i>	70	-	-	Sin pasajeros de pie																							
<i>Interurbano (Intraprovincial)</i>	70	5	100xVol	0,16																								
<i>Larga distancia (Interprovincial y turismo)</i>	70	5	100xVol	Sin pasajeros de pie																								
<b>Carga de frenado (F).</b>	<p>-Fuerza producida por el frenado del vehículo.</p> <p>-Se asume una desaceleración mayor o igual a 4 m/s<sup>2</sup>.</p>																											
<b>Carga de aceleración brusca (Ab).</b>	<p>-Fuerza producida por la aceleración brusca del vehículo.</p> <p>-Se calcula en sentido contrario de la carga de frenado.</p>																											
<b>Carga por resistencia del aire frontal (Raf).</b>	<p>-Fuerza del aire actuante sobre un área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Raf = (1/2)* (Cx)*p*Af*V<sup>2</sup></b></p> <p><b>Raf:</b> Carga por Resistencia aerodinámica (N)</p> <p><b>p:</b> Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)</p> <p><b>V:</b> Velocidad del aire (m/s) (mínimo 25m/s)</p> <p><b>Af:</b> Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal. (m<sup>2</sup>)</p> <p><b>Cx:</b> Coeficiente de resistencia frontal del aire (mínimo 0.7)</p>																										



<b>Combinaciones de cargas básicas.</b>	<i>Según método ASD (Allowable strength design)</i>	1: M 2: M+V 3: M+V+G 4: M+V+F	5: M+V+F+R <sub>af</sub> 6: M+V+ R <sub>af</sub> 7: M+V+A <sub>b</sub> 8: M+V+A <sub>b</sub> + R <sub>af</sub>
	<i>Según método LRFD (Load resistance factor design)</i>	1: 1,4M+V 2: 1,2M+1,6V+0,5G 3: 1,2 M+0,5V+1,6G 4: 1,2M+1,6F+0,8 R <sub>af</sub>	5: 1,2M+0,5V+0,5F+1,3R <sub>af</sub> 6: 1,2 M+ 1,5A <sub>b</sub> +0,5V 7: 0,9M-1,3 R <sub>af</sub> 8: 0,9M-1,3 R <sub>af</sub>
<b>Factores.</b>	-Los factores a utilizarse según el método ASD o LRFD serán los indicados en (AISI).		
<b>Deformación elástica de las cargas combinadas</b>	-Las cargas combinadas deben alcanzar una deformación elástica de todos los componentes de la estructura de la carrocería iguales o menores a 1/240 veces su longitud.		
<b>Resistencia de la estructura.</b>	-Debe resistir una carga estática sobre el techo, equivalente al 50% del peso máximo admisible para el chasis, distribuido uniformemente a lo largo del mismo, sin experimentar deformaciones en ningún punto, que superen los setenta milímetros (70 mm). -Durante el ensayo de resistencia de la estructura o ni una vez finalizado el mismo, la estructura de la carrocería debe resistir para que el espacio de supervivencia no resulte invadido según el alcance del documento <b>Regulation 66</b> .		
<b>Materiales de la estructura.</b>	-Deben ser perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las NTE INEN correspondientes vigentes		
<b>Soldadura de carrocerías.</b>	-Normas vigentes AWS D8.8 para componentes de acero y/o AWS D8.14 para componentes de aluminio. -El proceso y procedimiento de soldadura será calificado de acuerdo con las normas vigentes AWS D1.3 para acero, AWS D1.2 para aluminio y AWS D1.6 para acero inoxidable.		
<b>Manuales.</b>	-El fabricante de carrocerías debe disponer y aplicar la información indicada en los manuales de fabricación y montaje de carrocerías provistos por el fabricante de chasis. Para ello el fabricante de chasis debe entregar obligatoriamente dichos manuales específicos para cada modelo de chasis		

Fuente: NTE INEN 1323, 2009, pp. 5-7.

Realizado por: Los autores

### **2.9.3 Unión chasis-carrocería.**

Deben seguir las recomendaciones dadas por el fabricante.

### **2.9.4 Documentos técnicos.**

El proveedor de carrocerías debe disponer de:

- ✓ Memorias de cálculo estructural.
- ✓ Listado de materiales.
- ✓ Planos de construcciones dimensionales, eléctricas, y neumáticos.

El formato de los planos debe cumplir con el CPE INEN 03 vigente.

### **2.9.5 Vidrios de seguridad**

Deben cumplir con la norma NTE INEN 1669 vigente y con el RTE INEN 034.

### **2.9.6 Elementos de seguridad.**

Deben cumplir con el RTE INEN 034 vigente.

Los dispositivos de alumbrado, espejos retrovisores y señalización luminosa deben cumplir con la NTE INEN 1 155 y con el RTE INEN 034 vigente.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

El diseño del autobús inclusivo para personas miembros de la AFAPECH mediante la construcción de un prototipo a escala para persona con movilidad reducida se realiza básicamente en 4 fases:

1. Selección del chasis adecuado.
2. Diseño de la carrocería y verificación del estado tensional de los elementos estructurales de la carrocería.
3. Selección del anclaje adecuado para la sujeción del sistema de movilidad.
4. Impresión del prototipo a escala.

En la primera fase básicamente se elige el chasis que debido a sus características se adapte al diseño a implementar, para esto se realizan análisis tanto de especificaciones técnicas, disponibilidad en el mercado ecuatoriano y de costo. Una vez elegido el chasis se procede a diseñarlo en el software SolidWorks, el mismo que se elige debido a que este software proporciona las herramientas de modelamiento mecánico y su posterior impresión en 2D y 3D.

Una vez elegido el chasis se procede al diseño de la carrocería para lo cual se utilizaron normas NTE INEN 1668, 1323, 2 205 y 038 en las cuales podemos encontrar requisitos y especificaciones técnicas que se deben tomar en cuenta para el diseño de un bus. Con el diseño previo de la carrocería se procede a realizar el análisis tensional de los elementos más críticos de la carrocería, verificando así que la razón de esfuerzos no supere el valor de 1.

Teniendo listo el diseño de la estructura de la carrocería se realiza la distribución de los asientos, sillas y anclajes que sujetarán a las sillas de ruedas, considerando un análisis previo de las necesidades de los miembros de AFAPECH y según la información proporcionada por los terapeutas se elige la mejor opción de manera que se brinde confort y seguridad a los pasajeros.

Terminada las tres fases descritas anteriormente se procede a la impresión del diseño de manera que AFAPECH pueda tener un modelo guía al momento de solicitar o adquirir un bus que permita movilizar a personas con capacidades reducidas.

### 3.1 Selección del chasis adecuado

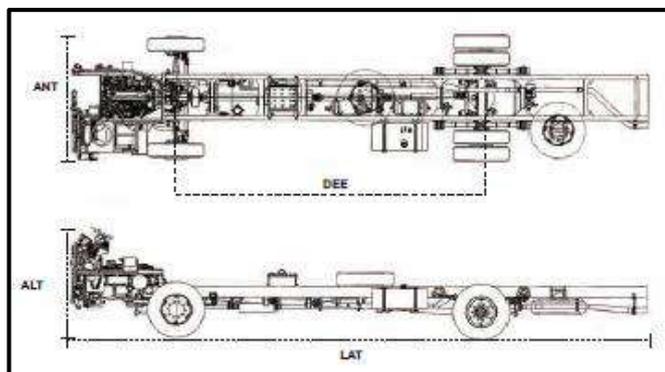
Como se menciona en el capítulo anterior las características del chasis son una parte fundamental al momento de elegir el mejor, dependiendo de la utilidad que se le vaya a dar al mismo se selecciona aquel que cumpla con cada uno de los requisitos demandados.

Así como en la mayoría de países, en el Ecuador los chasis que se usan en buses para transporte de pasajeros deben cumplir con algunos requisitos de homologación dispuestos por la Agencia Nacional de Tránsito, entre los cuales se pueden destacar (ANT, 2017, <https://www.ant.gob.ec>):

- ✓ HINO AK8JRSA
- ✓ MERCEDES BENZ OF 1721
- ✓ MERCEDES BENZ OF 1730
- ✓ INTERNATIONAL 4700 FE
- ✓ YUTONG ZK6118HGA
- ✓ CHEVROLET MT134S
- ✓ AGRALE MA17
- ✓ VOLVO B270F 4X2
- ✓ SCANIA K 360
- ✓ AGRALE MA17
- ✓ VOLKSWAGEN 17.210 OD
- ✓ VOLKSWAGEN 9.150 OD
- ✓ VOLKSWAGEN 10.150 OD

Para este caso de estudio se considera realizar una comparación de las dimensiones y costos entre HINO AK8JRSA, MERCEDES BENZ OF 1730 y VOLKSWAGEN 17.210 OD debido a su gran aceptación en el mercado.

En cuanto a las dimensiones se tomaron en cuenta los parámetros mostrados en la Figura 1-3.



**Figura 1-3** Parámetros del chasis a tomar en cuenta.

Fuente: (<https://grupomavesa.com.ec/cms/uploads/fichas/hino/084303fc9jgsz.pdf>).

Donde:

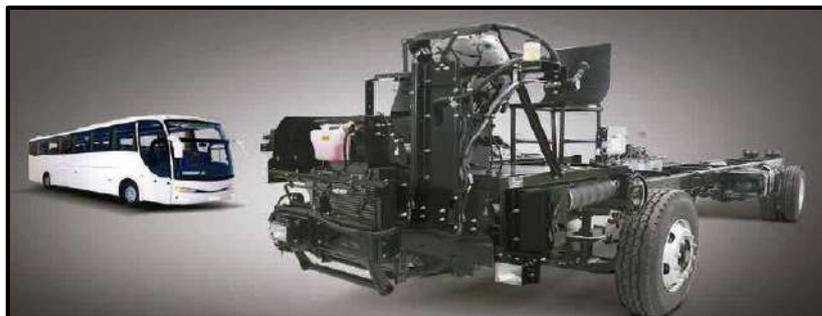
- LAT:** Largo total
- DEE:** Distancia entre ejes
- ANT:** Ancho total
- ALT:** Altura total

**Tabla 1-3:** Comparación entre chasis HINO AK8JRSA, MERCEDES BENZ OF1721 y VOLKSWAGEN 17.210 OD.

<b>Características Tipos</b>	<b>Dimensiones</b>				<b>Costos \$</b>
	<i>LAT</i> (mm)	<i>DEE</i> (mm)	<i>ANT</i> (mm)	<i>ALT</i> (mm)	
<b>HINO AK8JRSA</b>	11.140	5.800	2.445	2.100	67.900
<b>MERCEDES BENZ OF1721</b>	11.769	5.950	2.582	2.100	74.900
<b>VOLKSWAGEN 17.210 OD</b>	10.540	5.180	2.455	2.500	76.900

**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Realizado por:** Los autores



**Figura 2-3** Chasis HINO AK8JRSA.

**Fuente:** (<https://grupomavesa.com.ec/cms/uploads/fichas/hino/084303fc9jgsz.pdf>).



**Figura 3-3** Chasis VOLKSWAGEN 17.210 OD.

**Fuente:** ([https://www.mercedes-benz-bus.com/es\\_AR/models/of1721.html](https://www.mercedes-benz-bus.com/es_AR/models/of1721.html)).



**Figura 4-3** Chasis MERCEDEZ BENZ OF1721.

Fuente: (<http://www.vwcamionesybuses.com.pe/buses/17-210-od-gnv/>).

Previo análisis se elige el modelo de chasis HINO AK8JRSA debido a que a pesar de que la distancia entre ejes es menor, va a permitir colocar un número similar de sillas en su interior que el modelo de chasis MERCEDES BENZ OF1721, descartando de esta manera al chasis MERCEDES BENZ OF1721 cuyas dimensiones son menores que los dos modelos mencionados, considerando además que el modelo AK8JRSA tiene un costo menor en el mercado, con lo cual se reduciría gastos y se obtendría los mismos beneficios en cuanto a espacio se refiere.

En la figura mostrada a continuación se detallan las especificaciones técnicas del chasis seleccionado, las cuales son de vital importancia para realizar cálculos posteriores en cuanto a capacidad de carga.

MODELO	AK8JRSA
Configuración	4x2
Tipo	Chasis para bus (Cualquier modalidad)
<b>CAPACIDADES</b>	
Capacidad carga eje delantero	6.500 Kg.
Capacidad carga eje posterior	9.200 Kg.
Peso bruto vehicular	15.700 Kg. (*14.200 Kg.)
Peso vacío	4.850 Kg.
Capacidad de carga	10.850 Kg. (*9.350 Kg.)
Neumáticos	11 R 22.5 -16
<b>MOTOR</b>	
Tipo	Diesel Turbo Intercooler
Sistema de inyección	Inyección electrónica en riel común
Norma de control de emisiones	Euro 3
Potencia máxima	250 HP @ 2.500 RPM
Torque máximo	75.4 KgM @ 1.500 RPM
Cilindraje	7.684 cm <sup>3</sup>
<b>TRANSMISIÓN / EMBRAGUE</b>	
Transmisión / Tipo	Manual / 6 velocidades + 1 reversa (HINO MF06)
Embrague / Tipo	Monodisco seco con resorte
<b>EJE</b>	
Delantero	Tipo Viga Elliot "I" Inversa reforzada
Trasero	Enteramente flotante
<b>SUSPENSIÓN</b>	
Delantera	Ballestas semielípticas con amortiguadores y estabilizadores de doble acción
Trasera	Ballestas semielípticas con amortiguadores y estabilizadores
Dirección	Hidráulica (Bolas recirculantes)
<b>FRENOS</b>	
De servicio	100% Aire
Sistema de control	Sistema ABS (Control Electrónico)
De estacionamiento y emergencia	De resorte actuando sobre eje posterior
De motor	Electroneumático de restricción al escape
Auxiliares	Retardador electromagnético (opcional)

**Figura 5-3** Especificaciones técnicas Chasis HINO AK8JRSA.

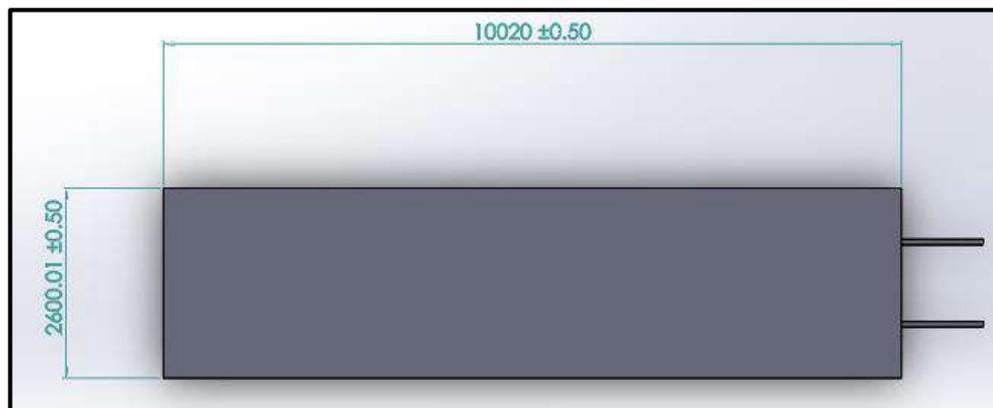
Fuente: (<https://grupomavesa.com.ec/cms/uploads/fichas/hino/084303fc9jgsz.pdf>).

### 3.2 Dimensiones de la plataforma de la carrocería.

	DIMENSIONES	AK8JRSA
	LARGO TOTAL (LAT)	11.140 mm.
	DISTANCIA ENTRE EJES (DEE)	5.800 mm.
	ANCHO TOTAL (ANT)	2.445 mm.
	ALTURA TOTAL (ALT)	2.100 mm.

**Figura 6-3** Dimensiones Chasis HINO AK8JRSA.

Fuente: (<https://grupomavesa.com.ec/cms/uploads/fichas/hino/084303fc9jgsz.pdf>).



**Figura 7-3** Dimensiones plataforma para la carrocería.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Las dimensiones de la plataforma para la carrocería están dentro de lo establecido en la norma como se muestra en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3** Dimensiones externas de la carrocería.

Característica	Norma NTE INEN 2205 (mm)	Diseño (mm)
Largo total máximo	13 000	10020
Ancho total del vehículo	2 600	2600
Altura total máxima del vehículo	3 500	2935

Fuente: NTE INEN 2205, 2010.

Realizado por: Los autores

### 3.3 Distribución de espacios para asientos y sillas de ruedas

#### 3.3.1 Dimensiones de la silla de ruedas a utilizar

La silla de rueda más utilizada por los usuarios de la AFAPECH según información proporcionada por los terapeutas de esta fundación es la que se muestra en la Figura 8-3, este tipo de silla permite a la persona con discapacidad moverse sin problemas siempre y cuando el usuario que la utilice pueda mantener equilibrio de sus extremidades superiores.

En el caso de los miembros de la fundación AFAPECH la silla mostrada se adapta perfectamente a sus necesidades, aunque en ocasiones pueden presentar cierto tipo de modificaciones como pecheras, cinturones etc., que proporcionen seguridad y estabilidad al usuario, sin embargo, esto no altera las dimensiones de la misma.



**Figura 8-3** Partes de la silla de ruedas.

Fuente: (<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn97.html>).

En la Figura 9-3 se muestran las especificaciones técnicas de la silla de ruedas descrita anteriormente, es importante recalcar que el ancho de la silla de ruedas utilizado es de 640 mm, medida que se adapta a las personas con discapacidad miembros de AFAPECH, sin embargo, se tienen diferentes medidas del asiento de acuerdo al usuario. Dado a que se va a utilizar un estándar de anclaje se ha considerado este ancho, por lo que si se desea cambiar se deberá modificar los anclajes de manera que se ajusten a la medida requerida.

ESPECIFICACIONES TECNICAS								
Las condiciones técnicas indicadas a continuación son válidas para sillas de ruedas de configuración estandar. En caso de utilizar reposapiés/reposabrazos u otros accesorios diferentes a los indicados, los valores cambian.								
Fabricante	Vermeiren							
Dirección	Vermeirenplein 1/15, B-2920Kalmthout							
Tipo	Silla de ruedas Manual							
Modelo	D200							
Peso máximo del ocupante	130 Kg							
Descripción	Dimensiones							
Anchura Util del asiento	380 mm	400 mm	420 mm	440 mm	460 mm	480 mm	500 mm	520 mm
Anchura Total ( depende de la anchura del asiento)	560 mm	580 mm	600 mm	620 mm	640 mm	660mm	680 mm	700 mm
Descripción	Dimensiones Minimias				Dimensiones Maximias			
Longitud total con apoya piernas					1006 mm			
Longitud plegable					1006 mm			
Anchura plegada					300 mm			
Altura plegada	880 mm				940 mm			
Peso total					16,8 kg			
Peso de la parte mas pesada					9,3 kg			
Estabilidad estática en pendientes descendientes	16° (con la configuración estandar)							
Estabilidad estática en pendientes ascendientes	12° (con la configuración estandar)							
Estabilidad estática lateral	20° (con la configuración estandar)							
Pendiente máxima segura	12°							
Superación de obstaculos	60 mm							
Ángulo plano del asiento	5°							
Profundida útil del asiento	430 mm							
Altura de la superficie del asiento en la parte delantera	470 mm				530 mm			
Angulo del respaldo	5°							
Altura del respaldo	420 mm							
Distancia entre los reposapiés y el asiento	410 mm							
Angulo entre el asiento y los reposapiés	-1,5°				18,5°			
Distancia entre los reposabrazos y el asiento	220 mm				240 mm			
Ubicación delantera del armazon del reposabrazo	410 mm							
Diametro del aro de propulsión	535 mm							
Ubicación horizontal del eje(deflexión)	37 mm							
Radio de giro minimo	1500 mm							
Diametro de ruedas traseras Krypton PUR	22"				24"			
Diametro de las ruedas de dirección Krypton PUR	200 mm							
Temperatura de almacenamiento y de uso	5° C				41° C			

**Figura 9-3** Especificaciones técnicas silla de ruedas D200.

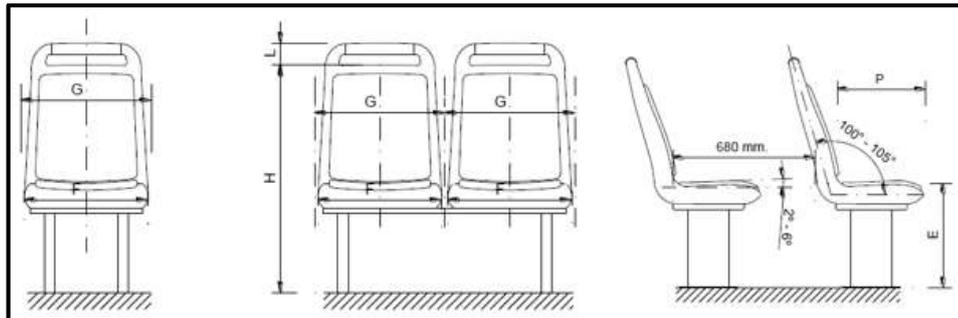
Fuente: (<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn97.html>).

### 3.3.2 Distribución de espacios para asientos

Se consideró el uso de asientos para acompañantes de las personas con discapacidad por recomendación de los profesionales de AFAPECH, en coordinación con ellos se determinó que son de vital importancia debido a que por su discapacidad necesitan de acompañantes que los supervisen y garanticen su seguridad ya que hay jóvenes que convulsionan o tienen problemas de salud propios de su discapacidad.

Esto además ayudará cuando se realicen giras técnicas o el transporte de las personas a ciertas actividades culturales y sociales que se realizan con cotidianidad, donde es imprescindible movilizar no solo a las personas con movilidad reducida sino también a los profesionales que los atienden.

Las dimensiones consideradas para los asientos se realizaron tomando en cuenta lo establecido en la norma NTE INEN 2205, las cuales se detallan en la siguiente tabla:



**Figura 10-3** Dimensiones de asientos.

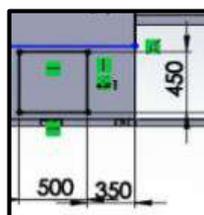
Fuente: NTE INEN 2205, 2010.

**Tabla 3-3** Dimensiones de asientos.

Característica	Norma NTE INEN 2205 (mm)	Diseño (mm)
Ancho mínimo del asiento (F)	400	450
Espacio mínimo disponible para la instalación de asientos continuos (G)	450	450
Profundidad mínima (P)	400	500
Altura desde el piso a la base del asiento	400	400
Ancho mínimo de espaldar	400	430
Altura total del asiento (H+L)	900	1000
Ángulo de inclinación de la base del asiento	2° - 6°	5°
Distancia mínima entre asientos	680	850

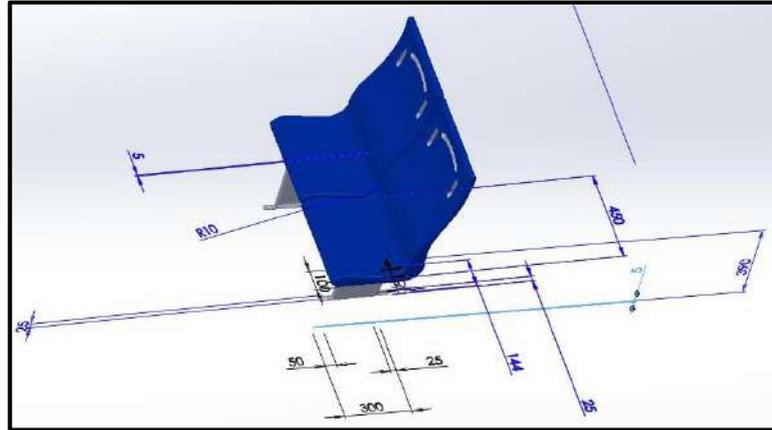
Fuente: NTE INEN 2205, 2010.

Realizado por: Los autores



**Figura 11-3** Espacios para asientos.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 12-3** Dimensiones de asientos.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Esta distribución se considera debido a que aprovecha al máximo el espacio disponible, se podrá transportar un total de 14 personas sentadas, distribuidos 9 asientos en la parte derecha y 5 asientos en la parte trasera (sin incluir el asiento del chofer), como se muestra en la Figura 13-3.



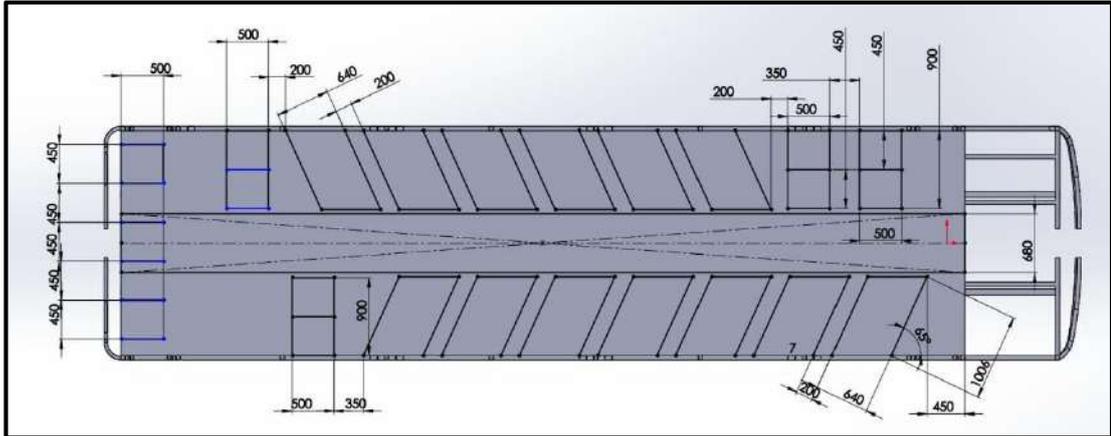
**Figura 13-3** Distribución de asientos.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

### 3.3.3 Distribución de espacios para sillas de ruedas

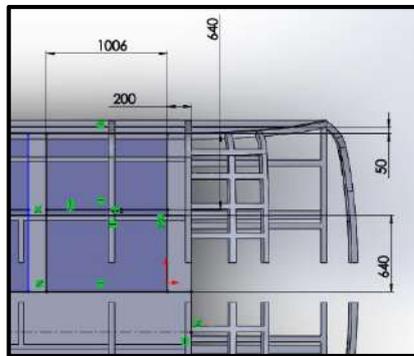
Para los espacios de las sillas de ruedas se considera las dimensiones de las mismas, lo que se busca principalmente es aprovechar al máximo el espacio disponible para las sillas, debido a que un requerimiento de los terapistas de la AFAPECH es transportar mínimo 15 personas en silla de ruedas siendo este el número total de usuarios que acuden a la fundación, aunque actualmente tienen capacidad para atender máximo a 16 personas con movilidad reducida.

Inicialmente se considera el diseño mostrado en la Figura 14-3, sin embargo al no cumplir con los requerimientos predispuestos por la AFAPECH este diseño se descartó, debido a que solamente proporcionaba capacidad para 13 sillas de ruedas y 13 asientos.



**Figura 14-3** Distribución inicial de asientos y sillas de ruedas.

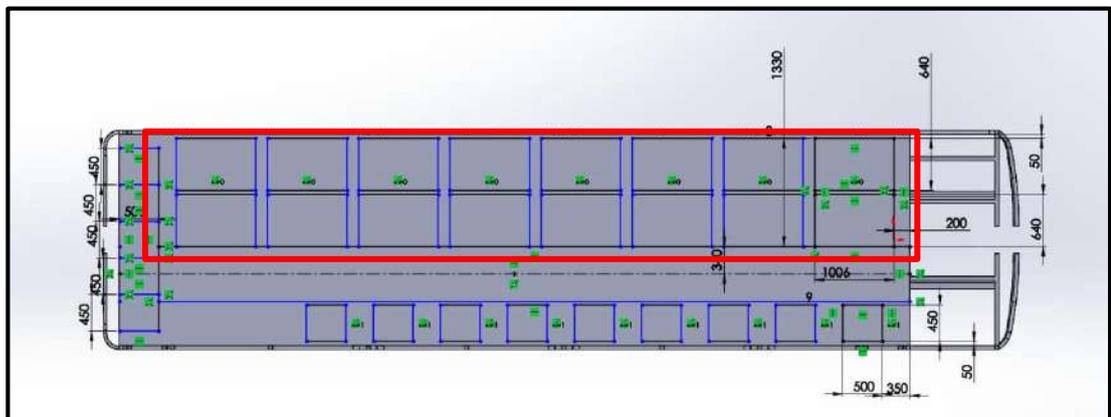
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 15-3** Dimensiones de espacios para sillas de ruedas.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

De acuerdo a las dimensiones de las sillas y requerimientos solicitados ya mencionados, se considera la distribución mostrada en la Figura 16-3, debido a que aprovecha al máximo el espacio disponible, se podrá transportar un total de 16 personas en sillas de ruedas, distribuidas uniformemente en dos filas de 8 sillas.



**Figura 16-3** Distribución de espacios para sillas de ruedas.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

### 3.3.4 Dimensiones del corredor central

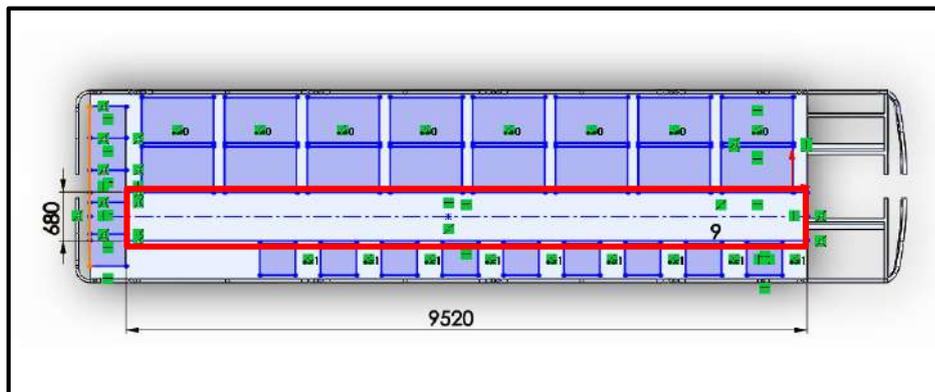
Para el corredor central se considera una dimensión de 680 mm, la cual está dentro de lo establecido en la norma NTE INEN 2205, de manera que se permita la libre circulación de las sillas de ruedas.

**Tabla 4-3** Dimensiones del corredor central.

Característica	Norma NTE INEN 2205 (mm)	Diseño (mm)
Ancho mínimo del corredor central	600	680
Largo	No especificado	9520

Fuente: NTE INEN 2205, 2010.

Realizado por: Los autores



**Figura 17-3** Dimensiones del corredor central.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

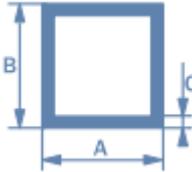
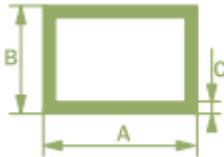
### 3.4 Diseño estructural de la carrocería

Como se menciona en el capítulo anterior la estructura de la carrocería cuenta con una serie de elementos cuya funcionalidad principal es brindar seguridad al pasajero y proteger componentes internos del vehículo.

Se considera un diseño sencillo pero que brinde al usuario la protección necesaria en el caso de accidentes, respetando los requerimientos establecidos en la NORMA INEN 1323, con la finalidad de que al realizar el análisis estático y dinámico se tengan valores adecuados de deformación, von-Mises y factor de seguridad.

Los tubos utilizados en la estructura se detallan a continuación:

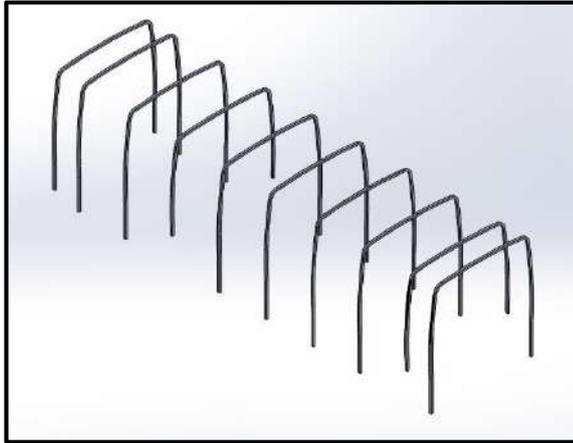
**Tabla 5-3:** Tipos de tubos.

Nombre del material	Tipo	Grafico	Aplicaciones
Tubo	Cuadrado	 <p>A= 40 mm B= 40 mm C= 2 mm</p>	<p>Largeros de piso Largeros de ventana Tubos de refuerzo laterales y frontales</p>
		 <p>A= 50 mm B= 50 mm C= 2 mm</p>	
	Rectangular	 <p>A= 150 mm B= 75 mm C= 3 mm</p>	

**Fuente:** Los autores

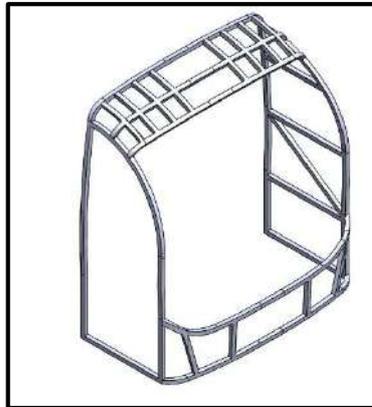
**Realizado por:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

En las siguientes figuras se muestran los diferentes tubos utilizados en el diseño de la estructura de la carrocería:



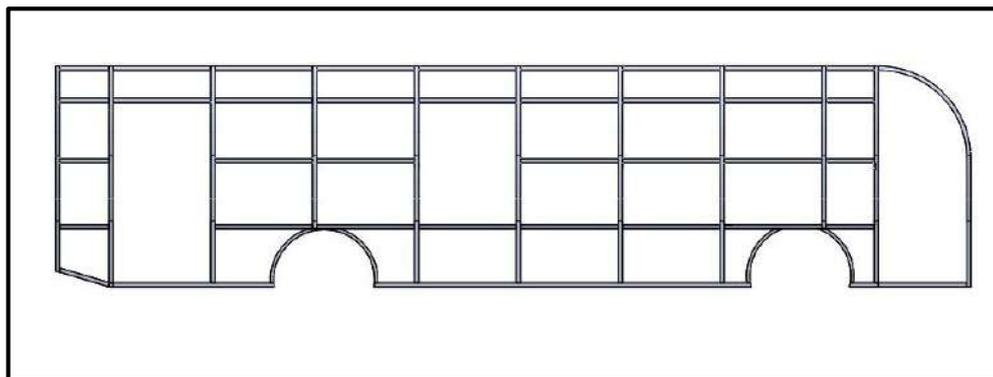
**Figura 18-3** Arcos principales.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



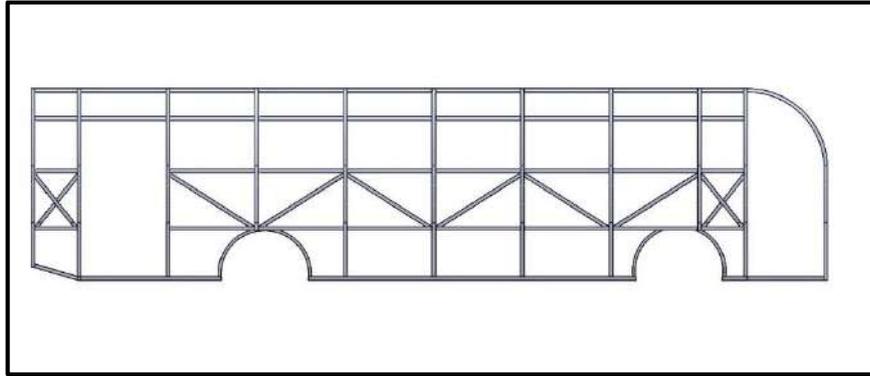
**Figura 19-3** Arcos frontales.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 20-3** Arcos de vuelco.

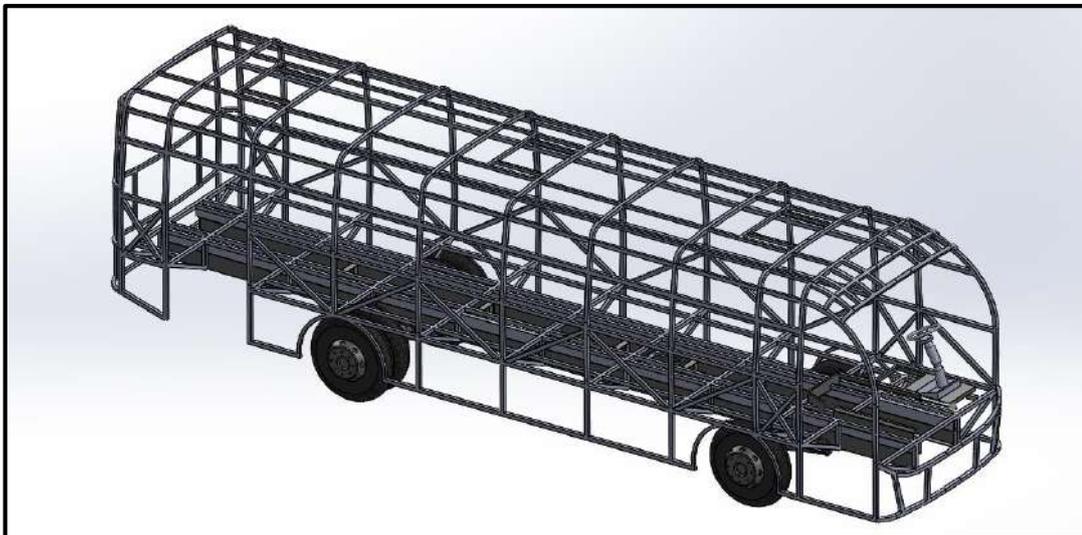
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 21-3** Protecciones laterales.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

El diseño final de la estructura de la carrocería se muestra a continuación:



**Figura 22-3** Diseño estructural de la carrocería.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

### 3.5 Elección del tipo de material

#### Comparación del acero y aluminio.

El aluminio y el acero son los materiales más utilizados en la fabricación de carrocerías, se realizó una comparación entre las características más importantes de estos dos materiales de manera que se pueda elegir el que más beneficios proporcione para el diseño de la carrocería del bus inclusivo.

**Tabla 6-3:** Comparación de características del aluminio y acero.

	<b>Aluminio</b>	<b>Acero</b>
<b>Peso</b>	Menor peso	Peso en 1/3 mas
<b>Resistencia</b>	Media	Alta
<b>Durabilidad</b>	Media	Alta
<b>Corrosión</b>	Media	Baja
<b>Conductividad</b>	Alta	Baja
<b>Propiedades térmicas</b>	No es bueno si se lo expone a altas temperaturas	Se usa en altas temperaturas
<b>Soldadura</b>	Proceso de soldadura complicado	Fácil de soldar
<b>Practicidad</b>	Fácil de cortar, manipular y moldea	Gran resistencia ante el deterioro
<b>Costo</b>	Bajo	Alto

**Fuente:** <https://ferrosplanes.com/tubo-cuadrado-caracteristicas-fabricacion-corte-uso/>.

**Realizado por:** Los autores

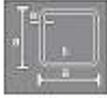
Según el análisis realizado se determina que se utilizará el acero como material para los tubos de la estructura de la carrocería, debido a que, a pesar de su costo, las propiedades que tiene este material se adaptan a las normativas establecidas en cuanto al tipo de material que se debe utilizar para la fabricación carrocerías.

El acero ASTM A500 es un material validado para la construcción de estructuras de carrocerías, según la normativa de la AISI (American Iron and Steel Institute) titulada, NORTH AMERICAN SPECIFICATON FOR THE DESING OF COLD FORMED STEEL STRUCTURAL MEMMBERS.

En el Ecuador las empresas NOVACERO y ADELCA son las más representativas en cuento a la fabricación de tubos y perfiles de acero, sin embargo, la empresa NOVACERO proporciona mayor variabilidad de aceros estructurales A500, material que se va a usar para este proyecto.

Cabe destacar que las dimensiones de los tubos varían según los requerimientos, sin embargo, las características del material se mantienen.

**• 2 Tubos Cuadrados**



Denominación	Espesor		Peso	
	a	e	P	P
	mm	mm	kg/m	kg/6m
3/4	20	1,50	0,88	5,26
1	25	1,50	1,13	6,78
		2,00	1,48	8,90
1 1/4	30	1,50	1,37	8,20
		2,00	1,80	10,79
1 1/2	37	1,50	1,72	10,32
		2,00	2,27	13,62
		3,00	3,22	19,33
2	50	1,50	2,32	13,93
		2,00	3,13	18,75
		3,00	4,62	27,69
2 1/4	60	2,00	3,74	22,42
		3,00	5,56	33,35
		4,00	7,91	47,46
3	75	2,00	4,65	27,88
		3,00	6,88	41,24
		4,00	9,11	54,64
4	100	2,00	6,22	37,30
		3,00	9,26	55,53
		4,00	12,28	73,66

**Figura 23-3** Peso de tubos cuadrados ASTM A500.

Fuente: <http://www.novacero.com/catalogo-productos/cptuberia-mecanica/>.

**• 3 Tubos Rectangular**



Denominación	Dimensiones			Peso	
	a	b	e	P	P
	mm	mm	mm	kg/m	kg/6m
3/4 x 1 1/4	20	40	1,50	1,37	8,20
			2,00	1,80	10,79
1 x 2	25	50	1,50	1,72	10,32
			2,00	2,27	13,62
1 1/4 x 2 1/4	40	40	2,00	3,13	18,75
			3,00	4,62	27,69
1 1/4 x 2 1/2	30	70	2,00	3,13	18,75
			3,00	4,62	27,69
1 1/2 x 3 1/2	40	80	2,00	5,66	33,95
			3,00	8,35	50,09
			4,00	11,04	66,24
2 x 4	50	100	2,00	6,63	39,79
			3,00	9,95	59,69
			4,00	13,26	79,59
2 x 6	50	150	2,00	8,20	49,20
			3,00	12,30	73,80

**Figura 24-3** Peso de tubos rectangulares ASTM A500.

Fuente: <http://www.novacero.com/catalogo-productos/cptuberia-mecanica/>.

### 3.6 Cargas aplicadas

Las condiciones ambientales teóricas del aire utilizadas en el cálculo de los diferentes parámetros se muestran en la Tabla 7-3:

**Tabla 7-3** Parámetros del aire.

<b>Parámetro</b>	<b>Magnitud</b>
Densidad	1,225 kg/m
Temperatura	15°C
Humedad relativa	50%

Fuente: Cengel, 2011, Transferencia de calor.

Realizado por: Los autores

### 3.6.1 Resistencia de la estructura

Conforme a la establecido en la Norma Inen 1323 numeral 5.1.5.1, la magnitud de la carga estática distribuida sobre el techo debe ser el 50% del peso máximo soportado por el chasis (peso de la estructura).

**Tabla 8-3** Cálculo del peso de la estructura.

<b>Parámetro</b>	<b>Cálculo</b>	<b>Magnitud</b>
Peso bruto vehicular(masa)	-	15700kg
Peso de la estructura	<b>Masa*aceleracion=</b> 15700kg x 9,81m/s <sup>2</sup>	154017N
Peso a someter la estructura	<b>50% del peso de la estructura=</b> 0,5x154017N	77008,5N

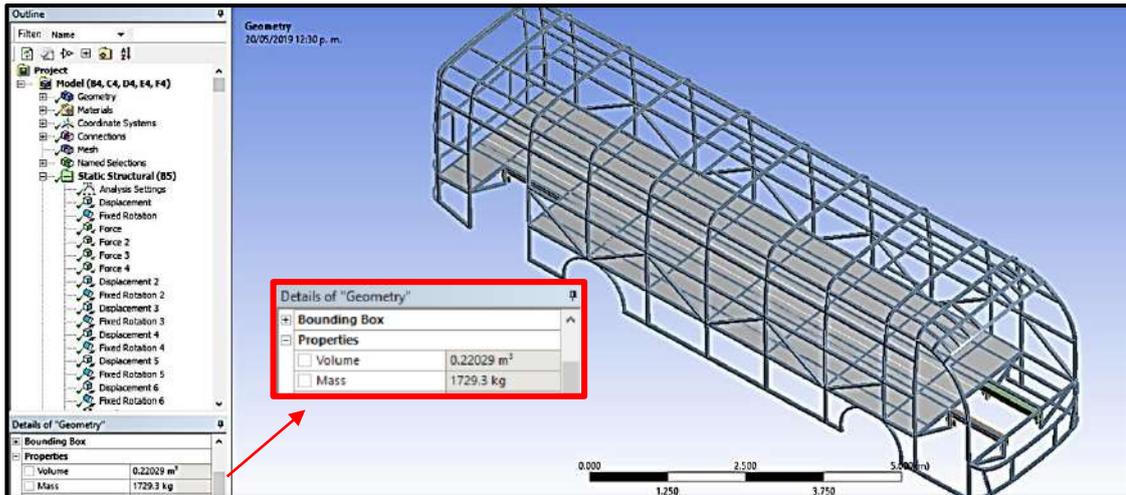
Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

El peso bruto vehicular es el peso máximo que soportará un vehículo (carrocería+carga máxima+pasajeros+peso del vehículo en marcha) , este peso se tomo de las especificaciones técnicas del chasis mostradas en la Figura 5-3.

### 3.6.2 Cargas muertas

Las cargas muertas hacen referencia al cálculo del peso total de la estructura tomando en cuenta componentes permanentes (carrocería+ accesorios), para lo cual se ha tomado la masa vehicular establecida en las especificaciones técnicas del chasis en la Figura 5-3, la masa de la estructura se obtuvo con ayuda del software SolidWorks, lo cual se puede observar en la Figura 25-3 y la masa de los elementos utilitarios se calculó tomando en consideración la Tabla 9-3.



**Figura 25-3** Cálculo de la masa de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Tabla 9-3** Cálculo de la masa total de elementos utilitarios.

Tipo	Características	Masa	Cantidad	Masa total
 Vidrio	Espesor: 8 mm	Densidad $2457,6 \text{ kg/m}^3$ Volumen/ $\text{m}^2$ $0,008 \text{ m}^3$ <b><math>19,6608 \text{ kg/m}^2</math></b>	$25 \text{ m}^2$	491.52 kg
 Laminas Metálicas	Espesor: 0,5 mm	Densidad $7850 \text{ kg/m}^3$ Volumen/ $\text{m}^2$ $0,0005 \text{ m}^3$ <b><math>3,925 \text{ kg/m}^2</math></b>	$80 \text{ m}^2$	314 kg
 Asientos	Mecanismo reclinación - Cojines, respaldos - Codera, apoyabrazos. - Cinturón de seguridad	<b>30 kg/unidad</b>	16 unidades	480 kg
 Láminas de fibra	Espesor: 0,5 mm	Densidad $2440 \text{ kg/m}^3$ Volumen/ $\text{m}^2$ $0,0005 \text{ m}^3$ <b><math>1,22 \text{ kg/m}^2</math></b>	$80 \text{ m}^2$	97,6 kg
<b>Masa total elementos utilitarios</b>				<b>1655,12 kg</b>

Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Tabla 10-3** Cálculo masa total por cargas muertas.

Parametro	Magnitud	Peso
Masa vehicular	4890 kg	<b>Masa total*aceleracion=</b> 8274,42kg x 9,81m/s <sup>2</sup>
Masa de la estructura	1729,3 kg	
Masa accesorios	1655,12 kg	
<b>Masa total por cargas muertas</b> (Estructural+ chasis + elementos)	<b>8274,42 kg</b>	
		<b>81172,06 N</b>

Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

### 3.6.3 Cargas vivas

Se consideran las cargas vivas como cargas por ocupación, este diseño no cuenta con bodegas, razón por la cual no se considera las cargas correspondientes al portaequipaje, sin embargo debido a que este diseño esta dirigido para el transporte de personas con discapacidad, se toma en cuenta el peso correspondiente a la silla de ruedas.

El valor de la masa por ocupante, así como el valor de la masa por equipaje de mano están establecidos en la norma INEN 1323. En la norma INEN 1323 se establece una masa por ocupante de 70 kg, sin embargo se considera una masa de 75 kg debido al peso adicional de 5 kg correspondiente a la masa de equipaje de mano, de la misma manera se adiciona a la masa del ocupante con discapacidad la masa de la silla de ruedas cuyo valor es de 16,8 kg, el mismo que se obtuvo de las especificaciones técnicas de la silla mostradas en la Figura 9-3.

**Tabla 11-3** Cálculo de cargas vivas.

Parámetro	Masa /Volumen	Cantidad	Masa total	Peso
Combustible	200 l	---	$M = \delta * V$ =0.2 m <sup>3</sup> * 850 kg/m <sup>3</sup> =170kg	1667,7 N
Ocupante sentado	(70+5) kg	16	1200 kg	11772 N
Ocupante de pie	(70+5) kg	35	2625 kg	25751,25 N
Ocupante con capacidad reducida	(70+16.8) kg	16	1388,8 kg	13624,128 N
<b>Peso total por cargas vivas</b>				<b>52815,078 N</b>

Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

### 3.6.4 Carga de giro

Para el cálculo de la fuerza producida por el giro del bus, se utilizan datos tomados de la norma INEN 1323, en la cual se establece una velocidad crítica mínima de 90 km/h, sin embargo, se ha considerado una velocidad de 120 km/h de manera que al realizar el análisis dinámico de la carrocería diseñada se someta a la estructura a una carga máxima.

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
90	250	8
95	300	
100	350	
105	400	
110	450	
115	500	
120	550	
125	600	
130	700	
135	800	
140	900	7,51
145	1050	6,97
150	1250	6,25
	1475	5,49
	1725	4,84
		4,29

**Figura 26-3** Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera.

Fuente: NTE INEN 1323.

De la tabla anterior se tiene:

Velocidad del bus en la curva = 120 km/h=33,33m/s

Radio de curvatura=700 m

$$Carga\ de\ giro = \frac{masa\ del\ bus \times velocidad\ del\ bus^2}{radio\ de\ curvatura}$$

masa del bus = Masa de cargas vivas + masa de cargas muertas

masa del bus = 5383,8kg + 8274,42 kg

masa del bus = 13658,22 kg

$$Carga\ de\ giro = \frac{13658,22\ kg \times (33,33\ \frac{m}{s})^2}{700m}$$

$$Carga\ de\ giro = 21675,37\ N$$

### 3.6.5 Carga de frenado y aceleración brusca

De la norma INEN 1323 se tiene que:

$$\text{Aceleración y desaceleración} = 4\text{m/s}^2$$

Entonces:

$$\text{Fuerza de aceleración y frenado} = \text{masa en condiciones operativas} \times \text{aceleración}$$

$$\text{Fuerza de aceleración y frenado} = 13658,22 \text{ kg} \times 4\text{m/s}^2$$

$$\text{Fuerza de aceleración y frenado} = 54632,88 \text{ N}$$

### 3.6.6 Resistencia del aire frontal

Es la fuerza que se ejerce en la parte frontal del bus debido a la resistencia del mismo al aire frontal, para calcularla se utiliza la siguiente formula:

$$Raf = \frac{1}{2} \times Cx \times \rho \times Af \times V^2$$

Donde:

**Raf:** Carga por Resistencia aerodinámica (N)

**p:** Densidad del aire (Kg/m<sup>3</sup>)

**V:** Velocidad del aire (m/s)

**Af:** Área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje longitudinal. (m<sup>2</sup>)

**Cx:** Coeficiente de resistencia frontal del aire (mínimo 0.7)

Para el cálculo de esta fuerza es necesario saber el valor del coeficiente de resistencia frontal (aerodinámico) del aire, para lo cual se tomó el valor mínimo establecido en la norma INEN 1323, el área correspondiente a la proyección del bus en un plano perpendicular a su eje es:

$$A_F = 5052301,15\text{mm}^2 \left( \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} \right)^2 = 5,05\text{m}^2$$

entonces:

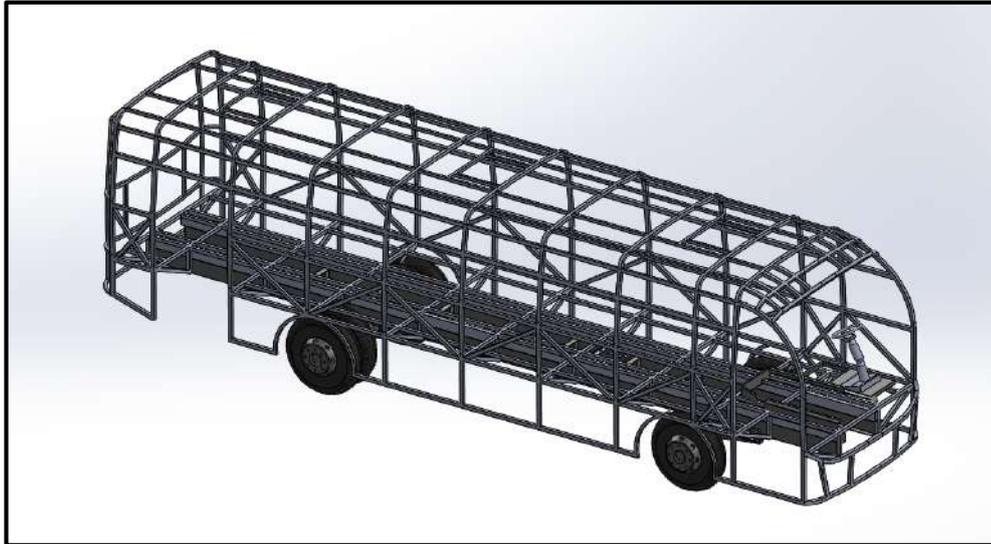
$$Raf = \frac{1}{2} \times Cx \times \rho \times Af \times V^2$$

$$Raf = \frac{1}{2} \times 0,7 \times 1,225 \text{ kg/m}^3 \times 5,05\text{m}^2 \times \left( \frac{33,33\text{m}}{\text{s}} \right)^2$$

$$Raf = 2405,28\text{N}$$

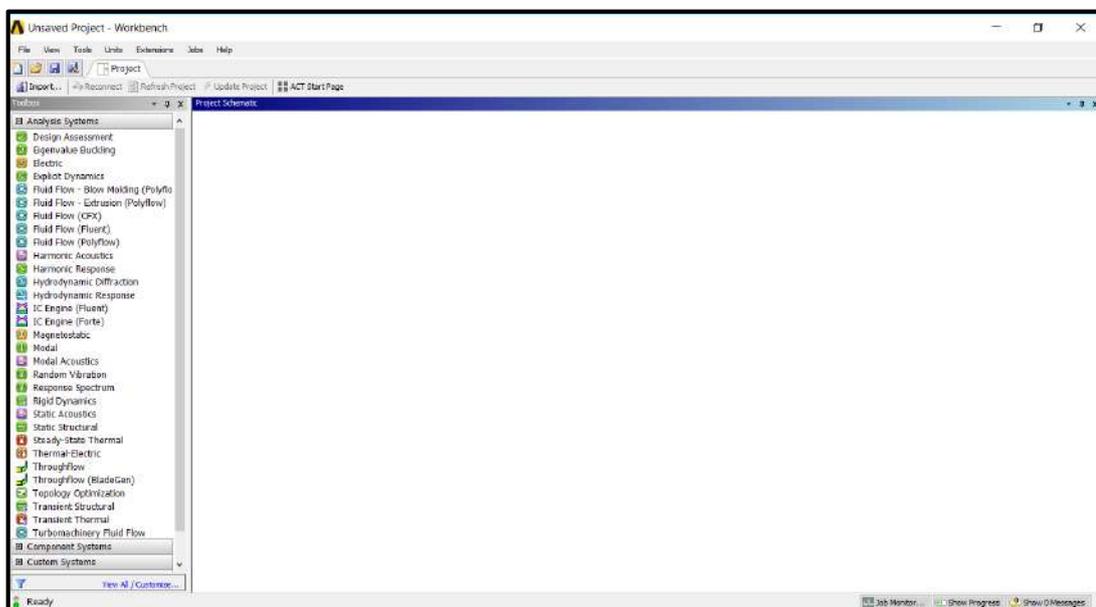
### 3.7 Diseño estructural

Una vez elegido el tipo de chasis a utilizar y diseñada la estructura de la carrocería, se procede a realizar el análisis estático y dinámico del diseño, para lo cual se utiliza el software Ansys Workbench, tomando en consideración que para poder realizar este análisis se debe mallar el diseño.



**Figura 27-3** Estructura de la carrocería SolidWorks.

**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 28-3** Ventana de trabajo software Ansys Workbench.

**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

El primer requisito que nos solicita el software Ansys Workbench es elegir el sistema de análisis, en este caso se selecciona Static Structure debido a que este sistema se adapta al tipo de análisis que se desea realizar.

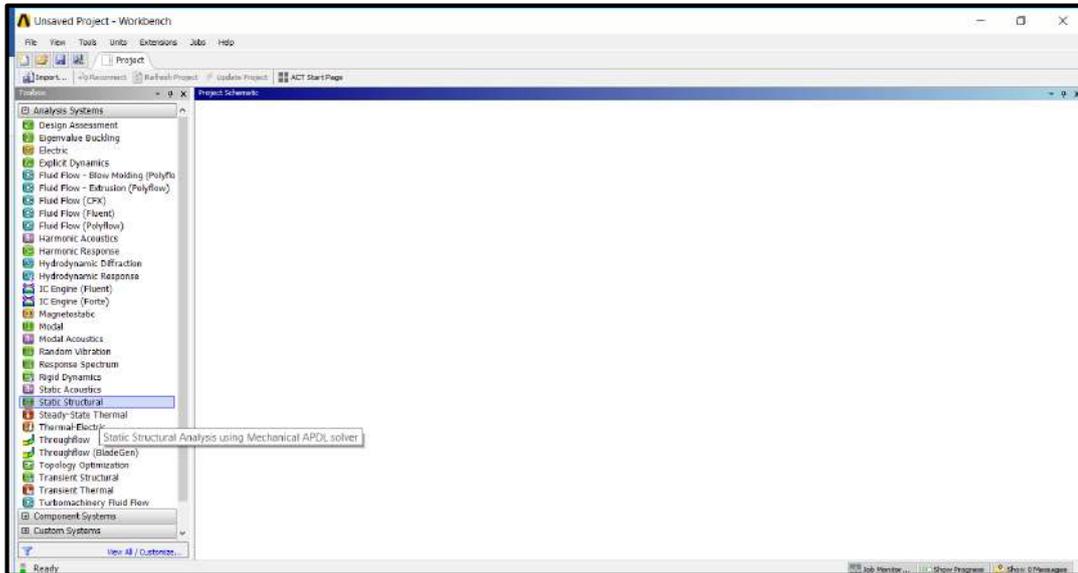


Figura 29-3 Selección del tipo de análisis.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Nos aparecerá la siguiente ventana, que permite importar e diseño de SolidWorks.

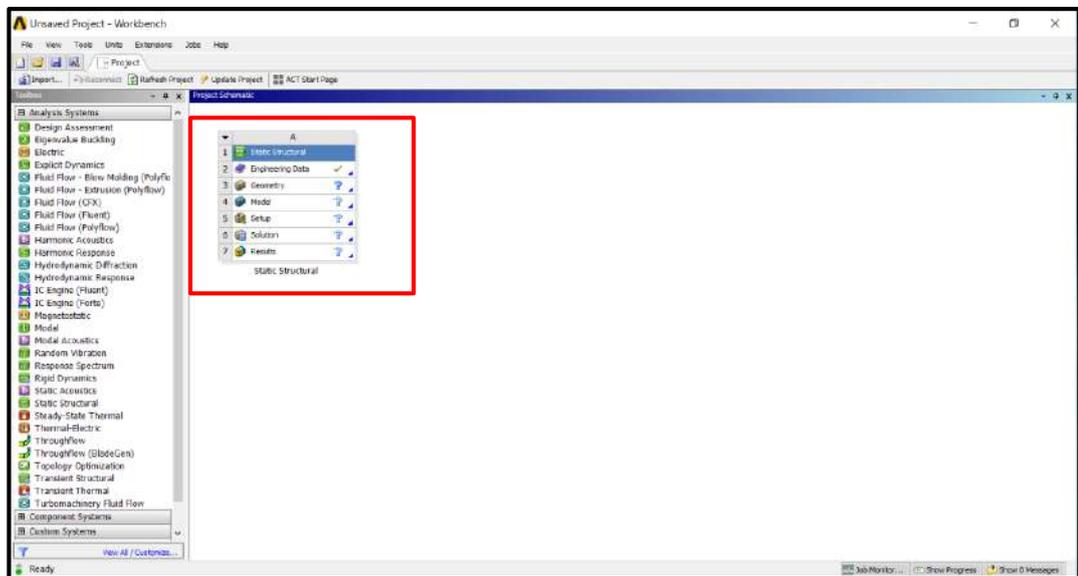
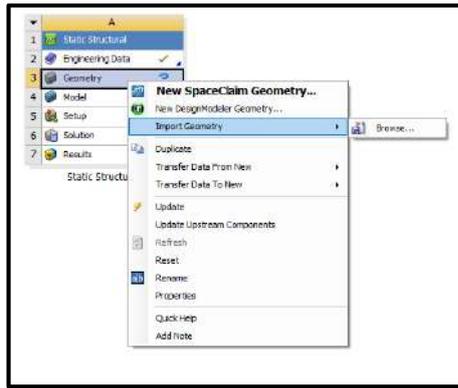


Figura 30-3 Ventana para importar el diseño.

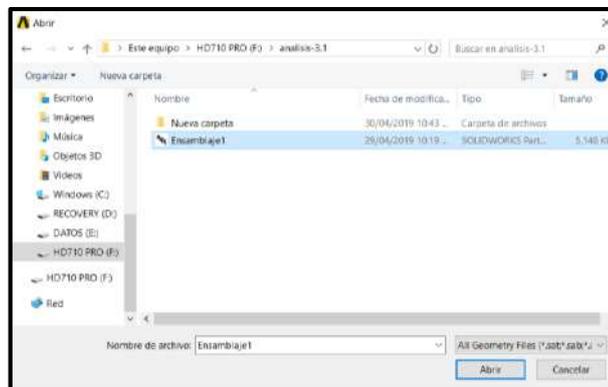
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Definido el sistema de análisis se importa el diseño a analizar desde SolidWorks desde la opción Import Geometry.



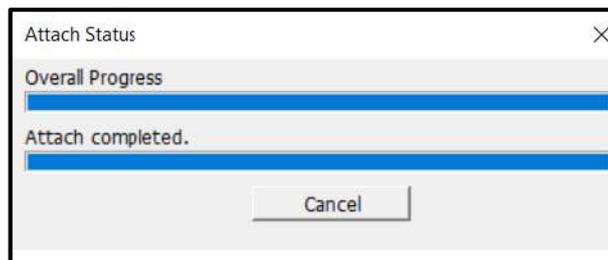
**Figura 31-3** Importación de la geometría.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 32-3** Elección del diseño a importar.

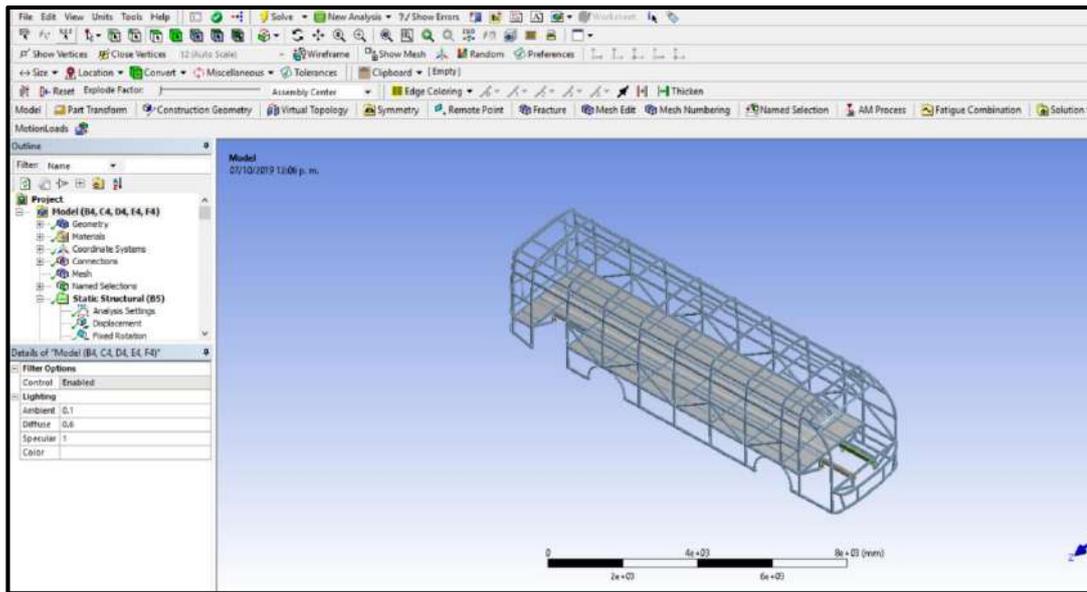
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 33-3** Avance del proceso.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Es importante tomar en consideración que para poder importar un modelo de SolidWorks a Ansys Workbench, el diseño debe guardarse en formato compatible, en este caso se guardó el diseño en formato .STEP, debido a que este formato permite guardar ensamblajes y no solo piezas individuales como lo hace el formato .SLDPRT.



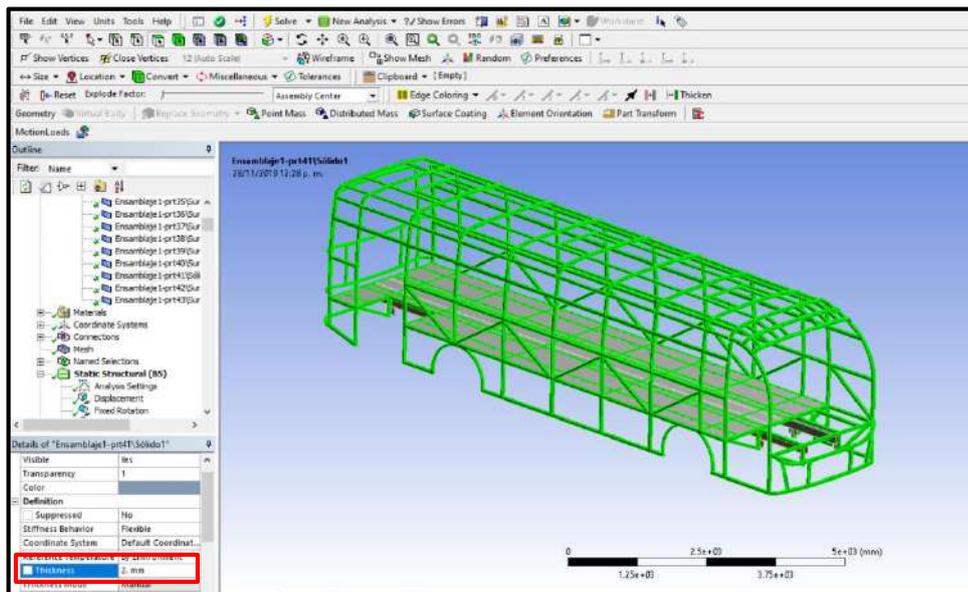
**Figura 34-3** Carrocería importada.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

### 3.7.1 Proceso de mallado

#### 3.7.1.1 Modelamiento de la geometría

El primer paso para poder realizar los análisis de un modelo en el software Ansys Workbench es el modelamiento de la geometría, en este caso se ha elegido elementos tipo shell debido que se va trabajar con elementos de pared delgada, para lo cual se les ha asignado un espesor de 2 mm.



**Figura 35-3** Modelamiento de la geometría.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Ya definido el tipo de elemento a utilizar se procede a realizar el mallado del modelo.

### 3.7.1.2 Generación de la malla

El mallado está formado por todos los nodos y elementos que representan la geometría de un modelo, el software Ansys permite generar un mallado automático de una geometría, sin embargo la calidad del mallado dependerá de una serie de elementos globales de la geometría, los cuales pueden ser editados según se requiera.

Existen mallas hexaédricas, tetraédricas, triangulares y cuadradas en este caso se ha elegido una malla cuadrada de dimensión de 2 mm.

Al seleccionar carpeta **Mesh** se pueden encontrar los detalles de mallado, en la sección de **Defaults** se encuentran las preferencias físicas, en este caso se ha seleccionado simulación mecánica (**Mechanical**) debido a que esta es la que mejor se adapta al cálculo de tensiones y deformaciones.

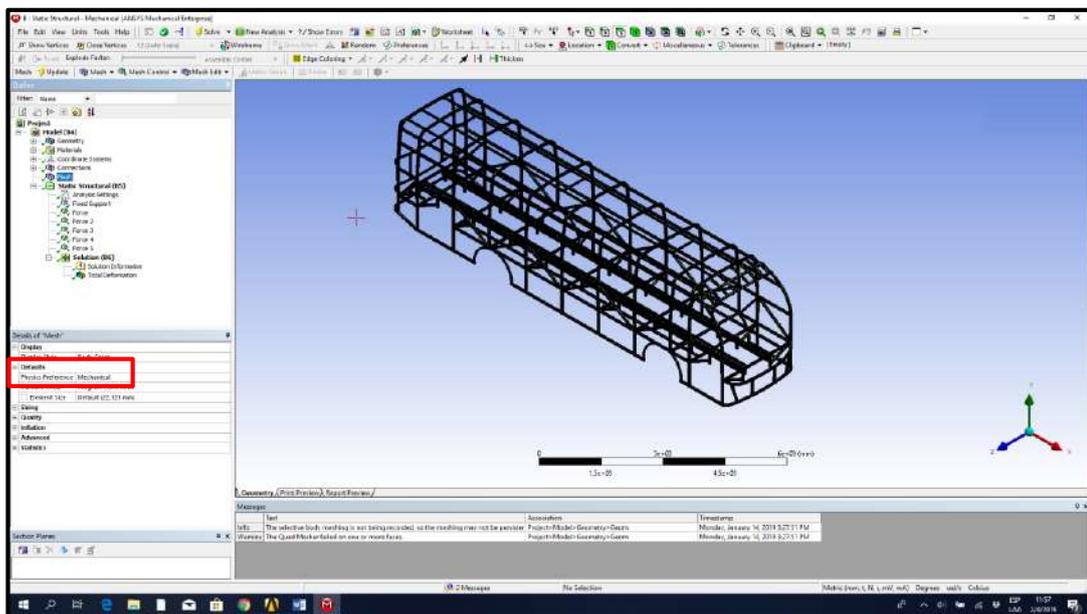
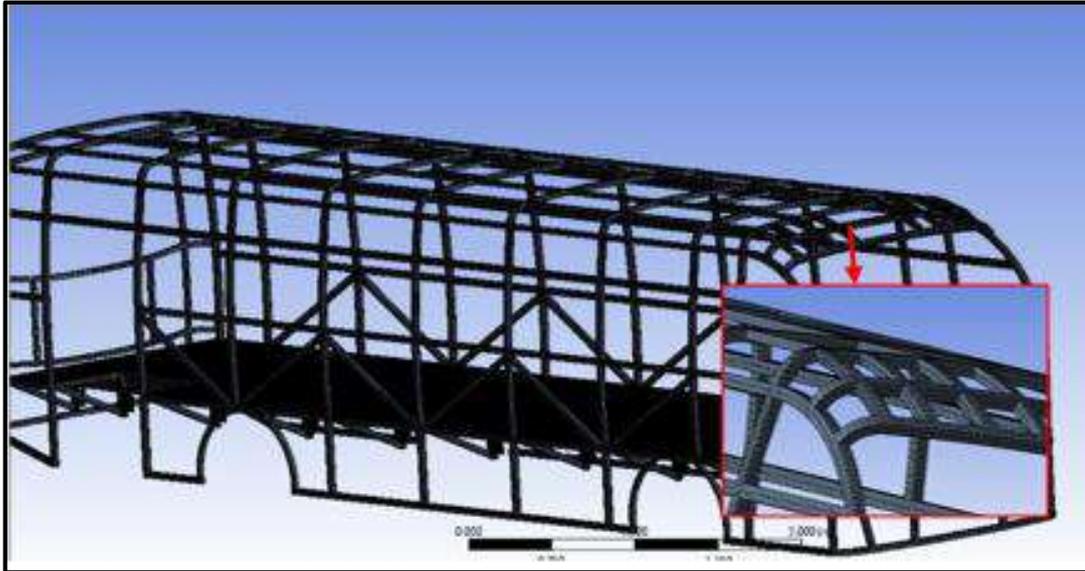


Figura 36-3 Tipo de simulación.

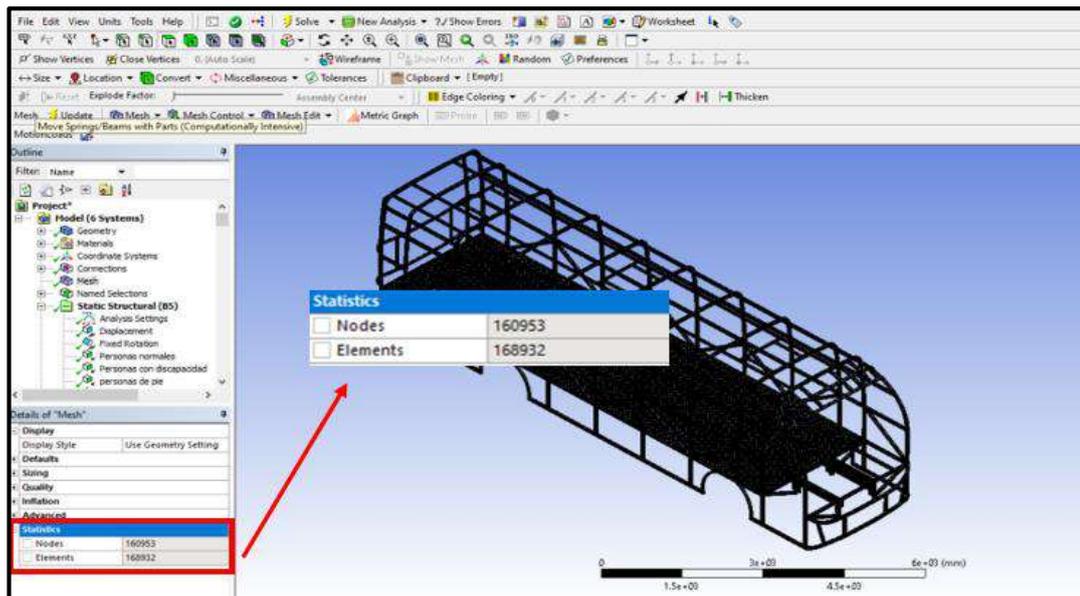
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 37-3** Generación del mallado.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Al mallar el modelo se obtuvieron un total de 160953 nodos y 168932 elementos.



**Figura 38-3** Cantidad de elementos y nodos generados por la malla.

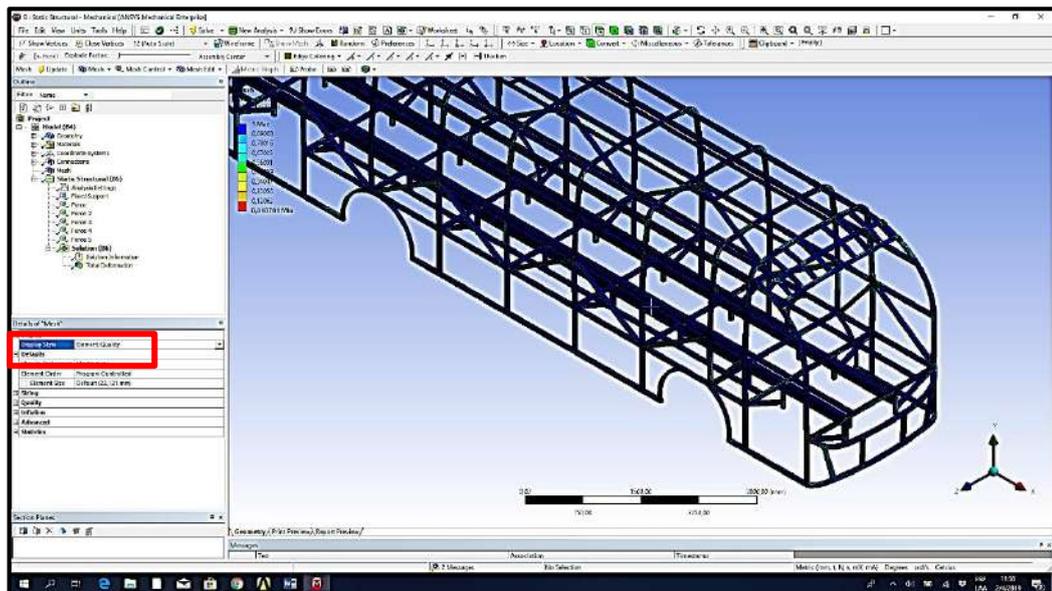
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

### 3.7.1.3 Calidad de la malla

Una vez generada la malla se procede a realizar el análisis de su calidad, en este caso se ha utilizado dos métricas, la una correspondiente a la calidad del elemento (Element Quality) y otra correspondiente a la oblicuidad (Skewness).

## 1. Element quality

Esta opción determina la calidad de malla en función de una métrica que oscila entre 0 y 1, considerando que el valor de 1 indica una malla de buena calidad debido a que se tiene un cuadrado perfecto, mientras que si se tiene un valor de 0 la calidad de la malla es considerada deficiente.



**Figura 39-3** Calidad del elemento (Element Quality).

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Para el caso del modelo diseñado la calidad de la malla generada automáticamente por el software Ansys era deficiente, por lo cual se utilizó la operación sizing cuya función principal es el refinamiento de la malla, tomando valores que se aproximan al espesor de los perfiles mejorando notoriamente los resultados.

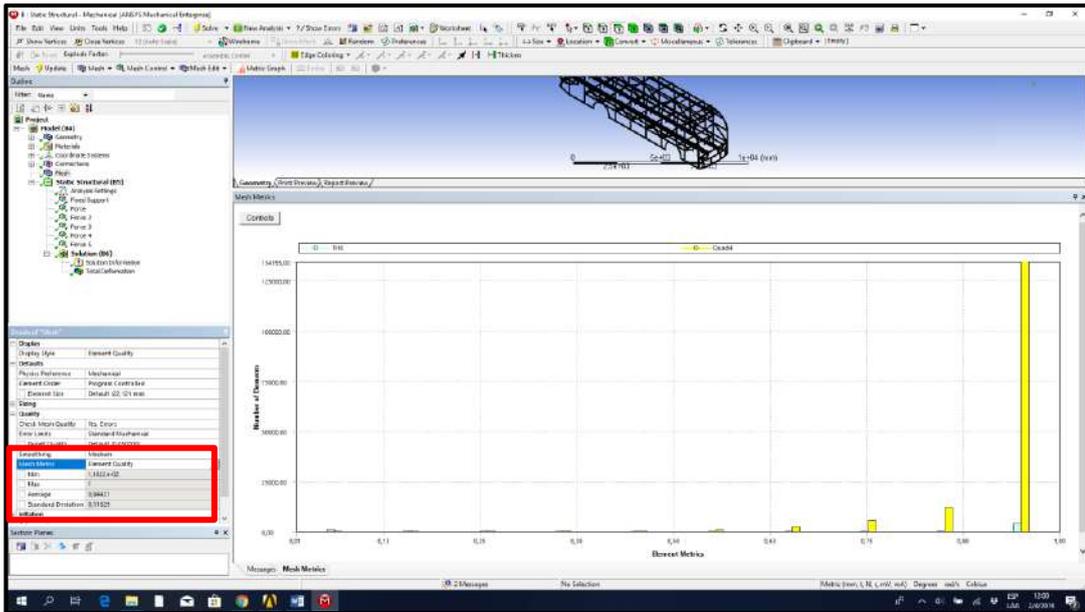
Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 40-3 y Figura 41-3 y se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 12-3:** Resultados utilizando Element Quality.

Dato	Valor de malla
Mínimo	1,0701E-002
Máximo	1
Promedio	0,94421
Desviación estándar	0,011629

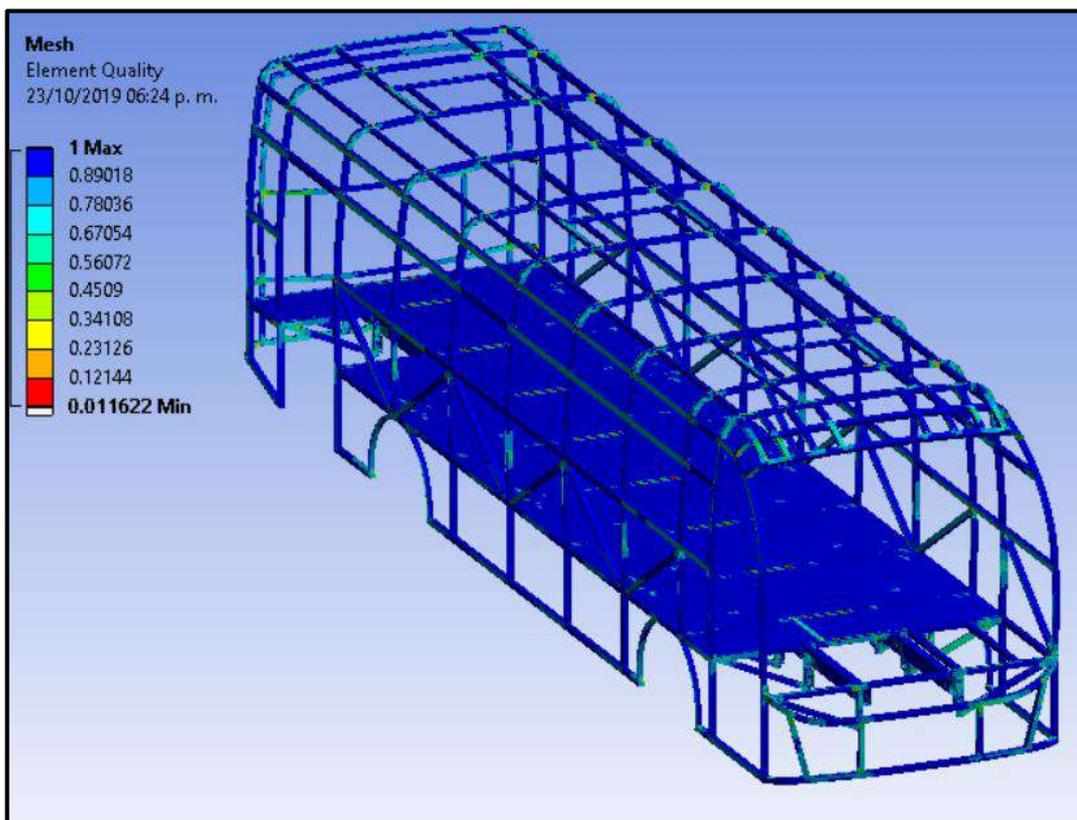
Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 40-3** Calidad de malla usando Element Quality.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 41-3** Calidad de malla usando Element Quality.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Se puede observar que el promedio de la estadística es de 0,94421, con lo que se deduce que se obtiene una malla fina debido a que la calidad del elemento es muy cercana a 1.

## 2. Skewness

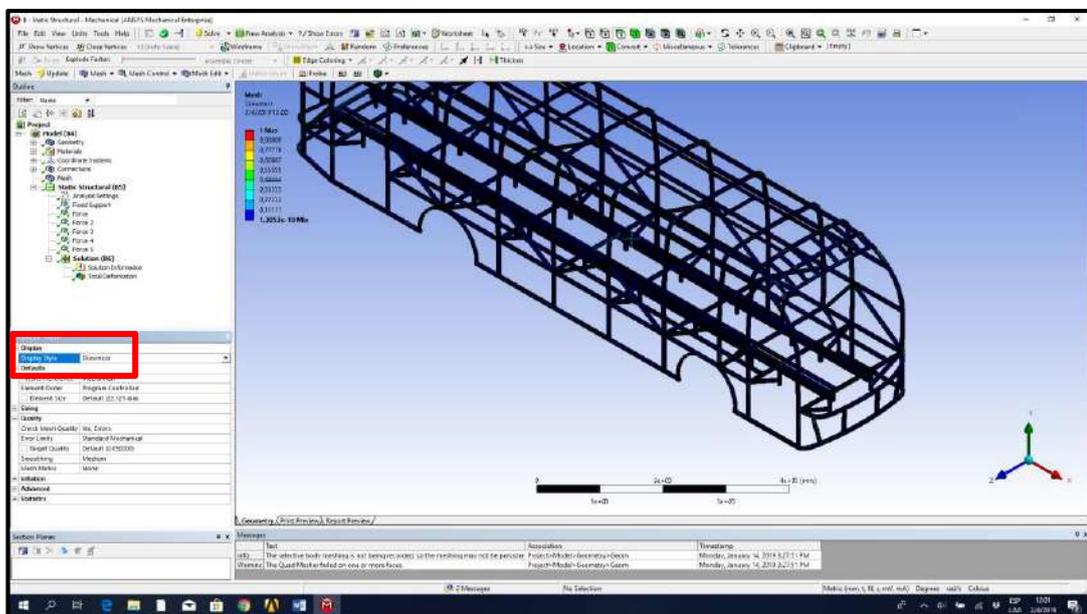
La asimetría es una de las medidas de calidad de malla más utilizada, esta utiliza celdas equiláteras como indicadores de buena calidad o celdas degeneradas como indicadores de mala calidad, al contrario que la calidad del elemento, en esta métrica un valor cercano a 0 indica que se tiene una malla fina y un valor de 1 indica que se tienen una malla de baja calidad, sin embargo, además se establecen estos valores como indicadores más específicos de calidad:

**Tabla 13-3:** Parámetros para definir calidad de célula.

Valor de la asimetría	Calidad celular
1	Degenerada
0,9-<1	Malo(astilla)
0,75-0,9	Pobre
0,5-0,75	Justa
0,25-0,5	Buena
>0-0,25	Excelente
0	Equilátera

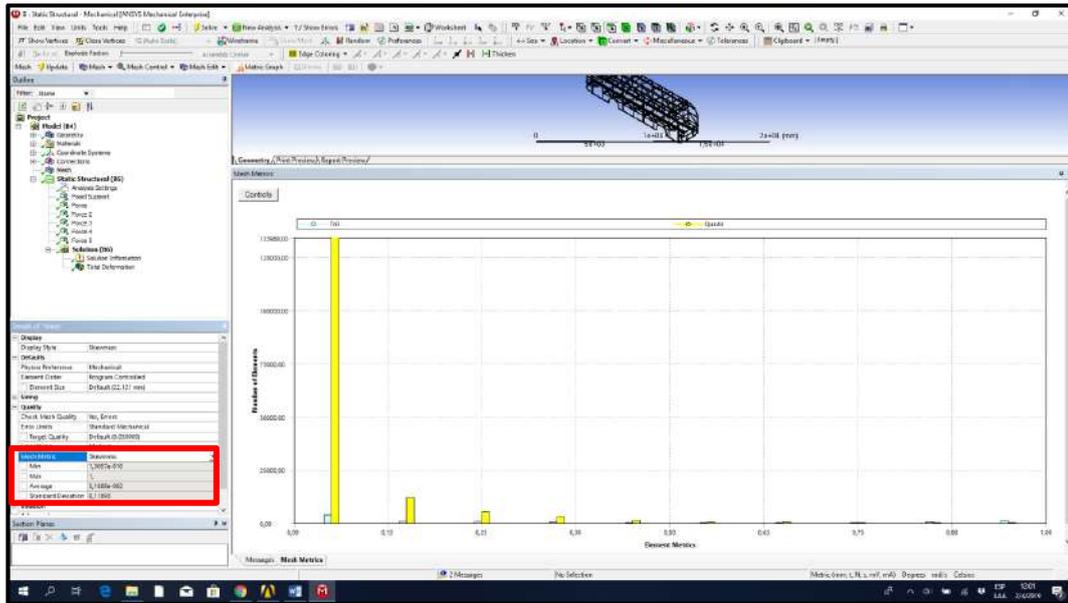
Fuente:[https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/wb\\_msh/msh\\_skewness.html](https://www.sharcnet.ca/Software/Ansys/17.0/en-us/help/wb_msh/msh_skewness.html)

Realizado por: Los autores.



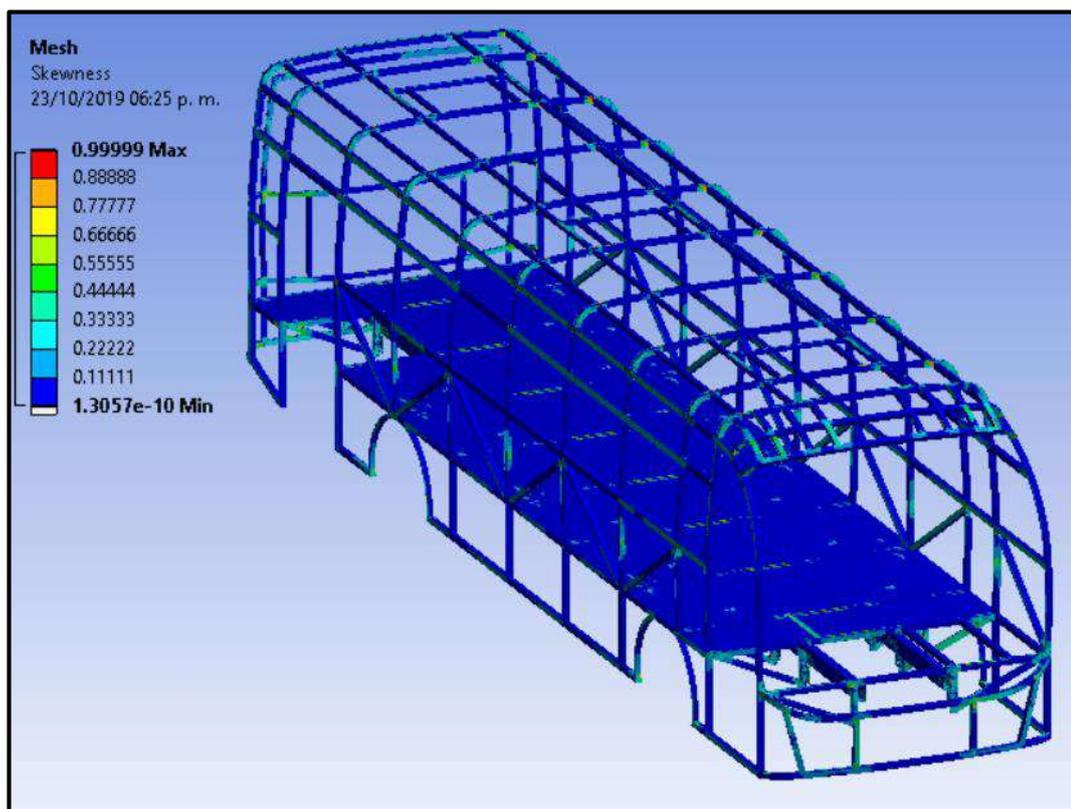
**Figura 42-3** Oblicuidad (Snewness).

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 43-3** Calidad de malla usando Snewness.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 44-3** Calidad de malla usando Snewness.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 14-3.

**Tabla 14-3:** Resultados utilizando Snewness.

Dato	Valor de malla
Mínimo	1,3057E-002
Máximo	1
Promedio	5,1888E-002
Desviación estándar	0,11893

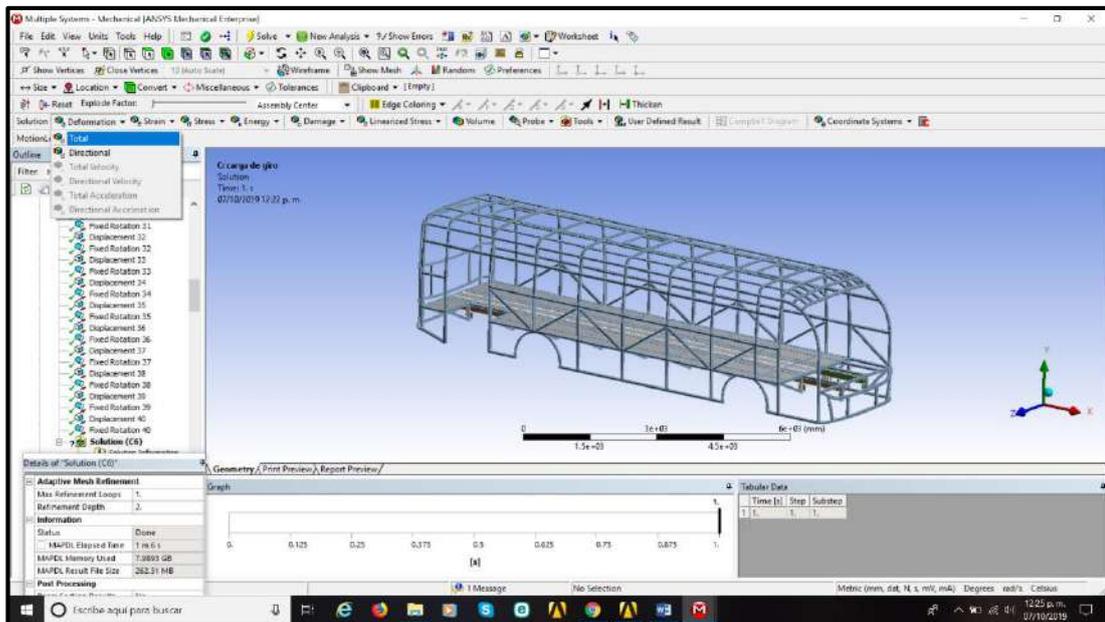
Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Se puede observar que el promedio de la estadística es de 5,1888E-002, con lo que se deduce que se obtuvo una malla fina debido a que la oblicuidad es muy cercana a cero.

### 3.7.2 Análisis de la carrocería en el software ANSYS.

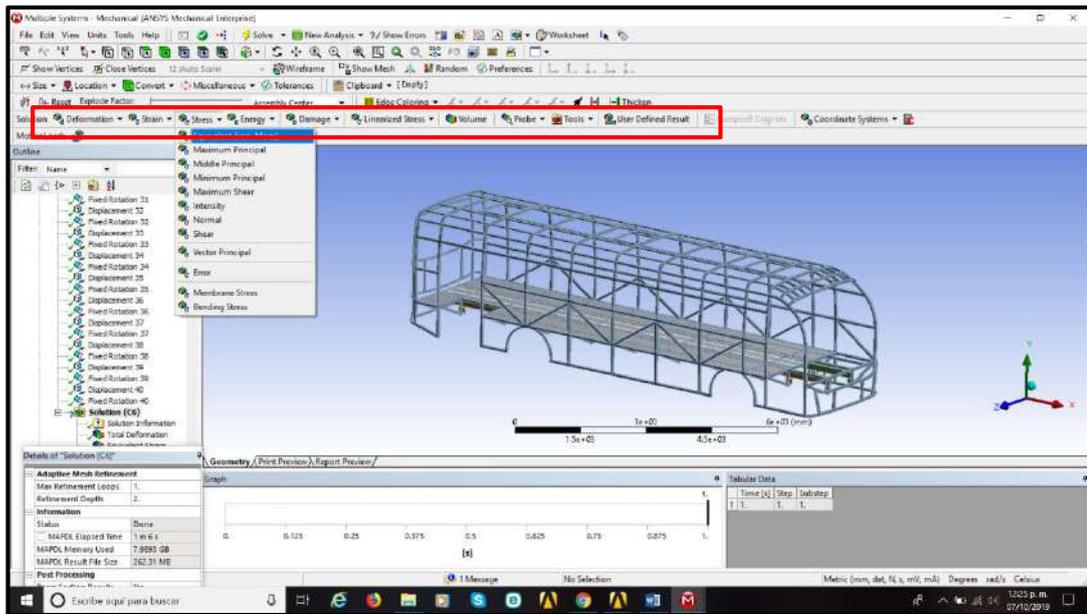
Con el diseño previamente mallado se establecen las respectivas cargas, puntos fijos y desplazamientos de acuerdo al tipo de análisis a realizar.



**Figura 45-3** Determinación de valores correspondiente a las cargas y puntos fijos.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

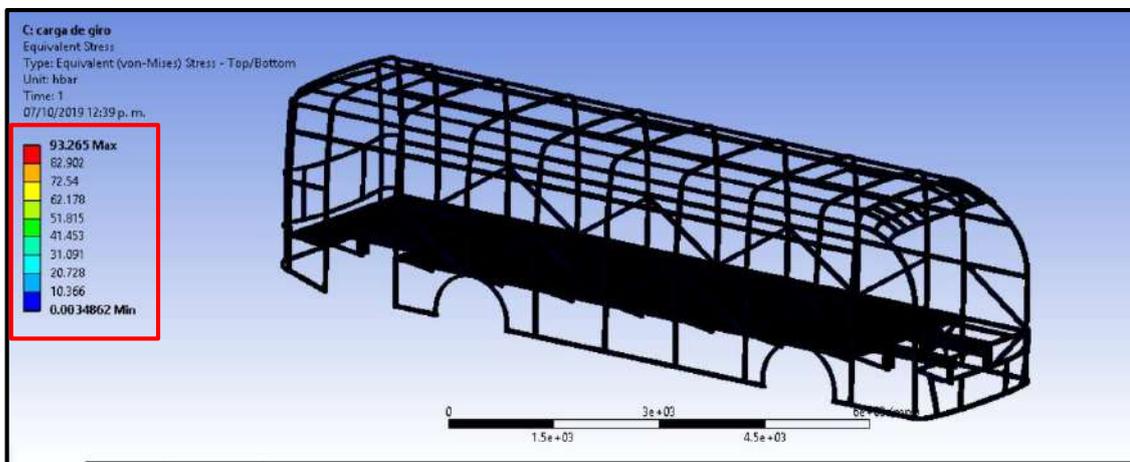
Se elige el tipo de resultado que se generará según el requerimiento, en este caso se analizará la deformación, von-Mises y factor de seguridad.



**Figura 46-3** Barra generadora de resultados.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Se ejecuta el programa para generar resultados, los mismos que son visibles en forma de gráfico de barras donde se muestra los valores máximos, mínimos e intermedios entre estos.



**Figura 47-3** Resultado Von-Mises al aplicar la carga de giro.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Este proceso se realiza para cada una de las cargas calculadas y establecidas en la norma NTE INEN 1323, por lo que para cada carga aplicada se generan tres gráficas correspondientes a la deformación, Von-Mises y factor de seguridad.

## CAPÍTULO IV

### 4 ANÁLISIS E IMPRESIÓN DEL DISEÑO

#### 4.1 ANÁLISIS DEL DISEÑO

Se realiza el análisis de la estructura diseñada en el software Ansys Workbench, el cual se divide básicamente en el análisis estático, en el cual se consideran las cargas correspondientes a la resistencia de la estructura, cargas vivas y muertas y un análisis dinámico en el cual intervienen las cargas de giro, frenado y aceleración brusca, y resistencia al aire frontal, de las cuales se obtienen valores correspondientes a la deformación, von-Mises y factor de seguridad, los mismos que se analizan para determinar si la estructura diseñada presenta valores de alta confiabilidad en su diseño.

Estos tres valores a calcular con la ayuda del software serán comparados con los valores establecidos en la norma INEN 132, que en el caso de la deformación no debe exceder los 70 mm, por otra parte, el coeficiente de von-Mises obtenido no debe superar el valor de fluencia limite en este caso  $2400 \text{ kg/cm}^2$  ó  $23.54 \text{ hbar}$ , caso contrario la estructura o elemento fallará y para el factor de seguridad se ha tomado un valor máximo de 15.



**Figura 1-4** Límite de fluencia tubería estructural navacero.

Fuente: <http://www.novacero.com/catalogo-productos/cptuberia-mecanica/>.

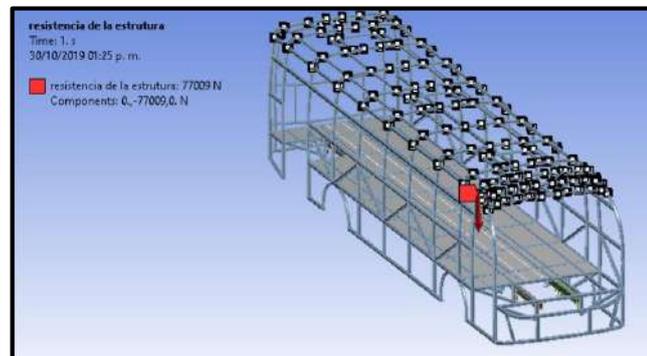
Es importar mencionar que las cargas están aplicadas en todos los nodos de la estructura, sin embargo, en las figuras posteriores se muestra solamente una carga con fin didáctico.

#### 4.1.1 Análisis estático

Para realizar el análisis estático del diseño de la carrocería propuesto, se consideraron las cargas que actúan sobre el bus cargado y sin movimiento (resistencia de la estructura, cargas muertas y cargas vivas) acorde a lo establecidos en la norma INEN 1323.

##### a. Resistencia de la estructura

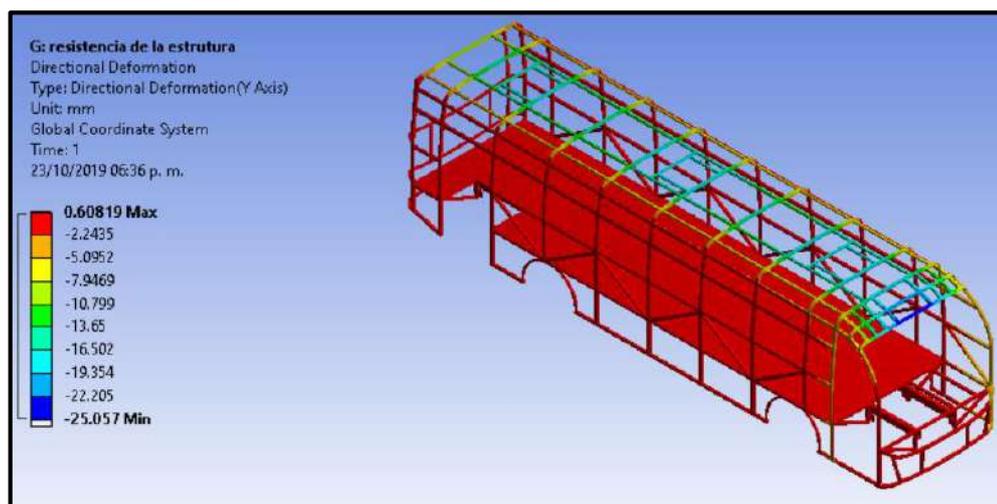
En la siguiente imagen se muestra la carga aplicada sobre el techo de la estructura como lo establece la normativa, especificando su magnitud, dirección y sentido previamente en el software.



**Figura 2-4** Carga resistencia de la estructura.

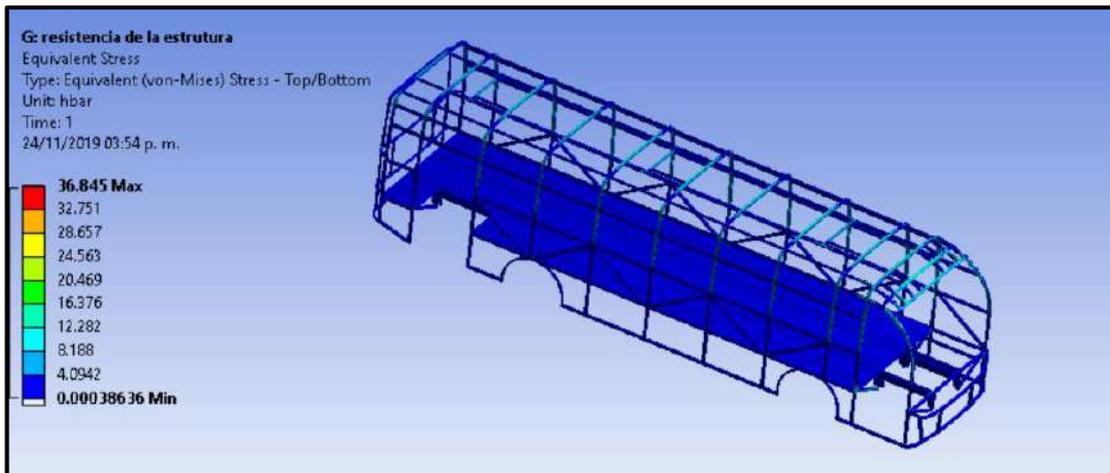
**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Aplicando la carga correspondiente a la resistencia de la estructura cuyo valor calculado fue de 77008,5N se obtiene:



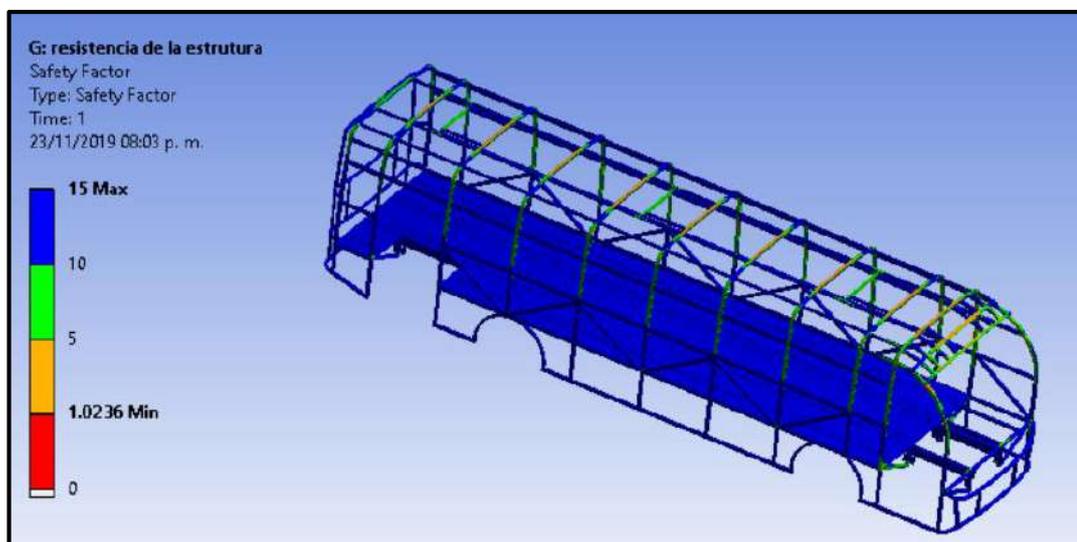
**Figura 3-4** Deformación de la estructura.

**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 4-4** Esfuerzo equivalente von-Mises.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 5-4** Factor de seguridad de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

En la siguiente tabla se muestran los resultados máximos y mínimos obtenidos para su posterior análisis.

**Tabla 1-4:** Resultados al aplicar las cargas vivas.

	<b>Deformación (mm)</b>	<b>Von-Mises (hbar)</b>	<b>Factor de seguridad</b>
<b>Valor mínimo</b>	-25.057	0.00038636	1.0236
<b>Valor máximo</b>	0.60819	36.845	15

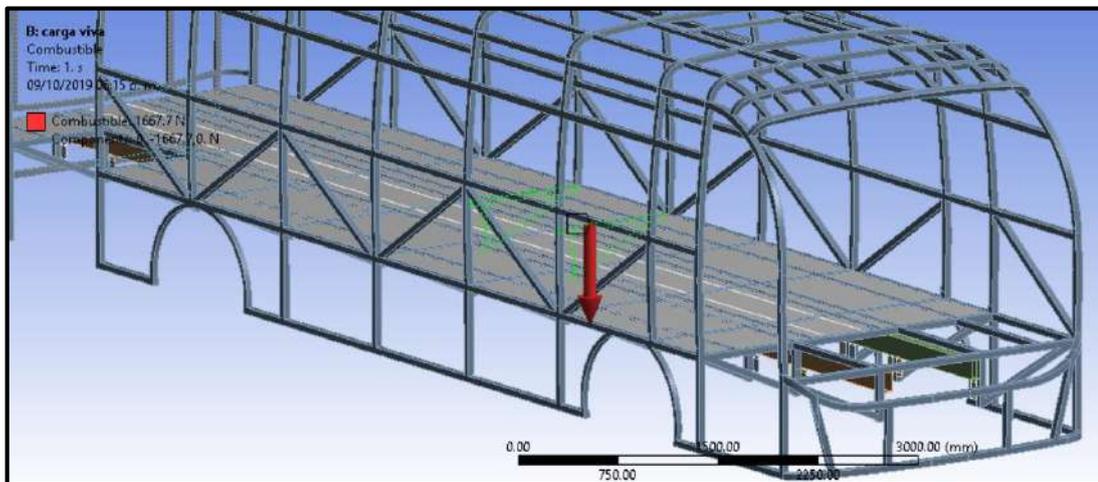
Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Al aplicar la carga de resistencia de la estructura se tiene un valor de deformación máximo de - 0.60819 mm, el cual prevalece en el pasillo sin embargo es muy bajo si se compara con los 70 mm que establece la norma, el valor de coeficiente de von-Mises que prevalece es de 0.00038636 hbar, valor mínimo ya que no se supera el límite de fluencia, además se tiene un factor de seguridad aceptable con un mínimo de 1.0236.

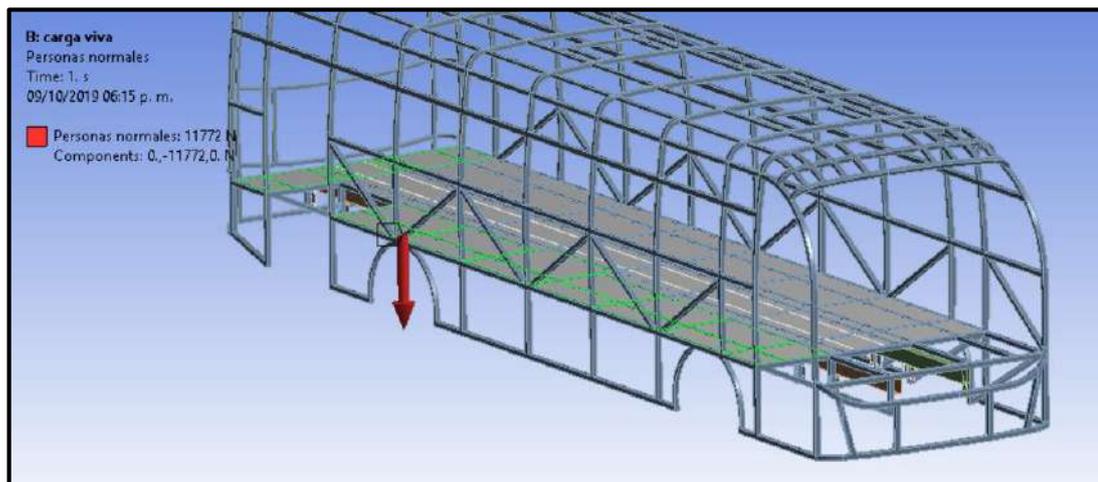
### b. Carga viva

Como se especifica en el cálculo total de las cargas vivas en el capítulo anterior intervienen los valores correspondientes al combustible, ocupante sentado, ocupante de pie y ocupante con capacidad reducida, por lo cual se aplican cada una de esas cargas sobre el piso de la estructura, como se muestra en las siguientes figuras:



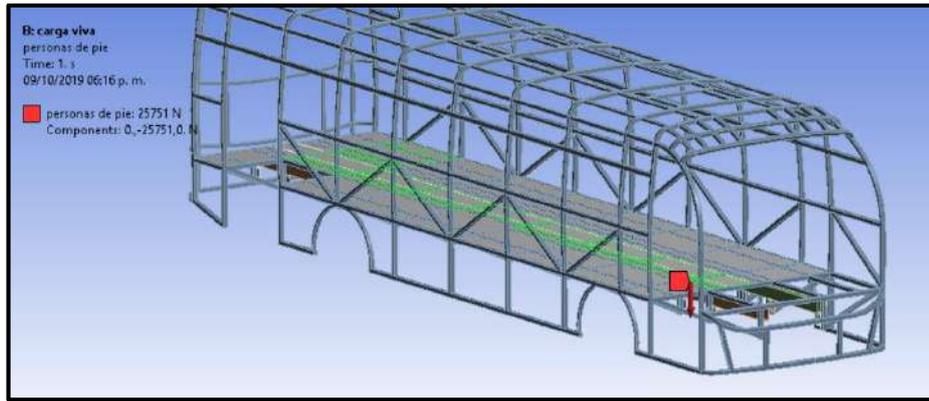
**Figura 6-4** Carga aplicada correspondiente al combustible.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



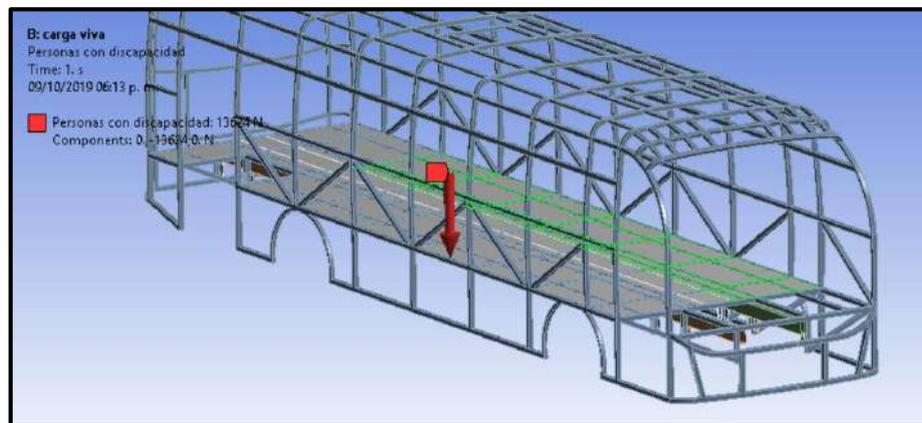
**Figura 7-4** Carga aplicada correspondiente a los ocupantes sentados.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 8-4** Carga aplicada correspondiente a los ocupantes de pie.

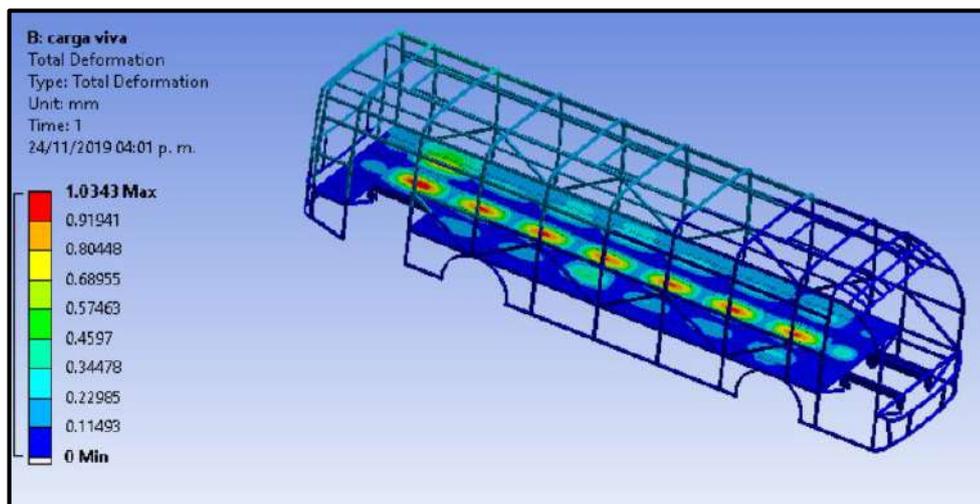
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 9-4** Carga aplicada correspondiente a las personas con discapacidad.

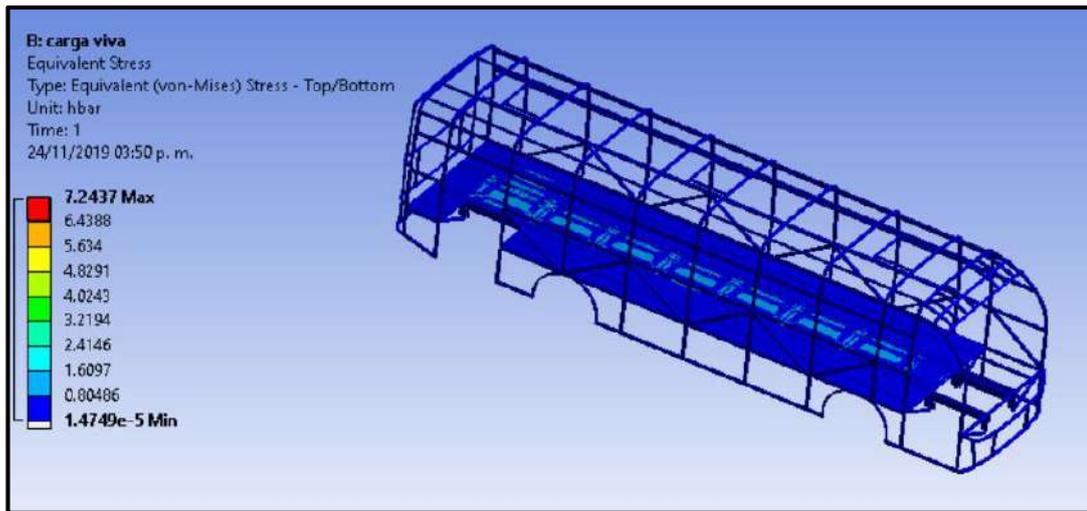
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

De acuerdo a las cargas vivas aplicadas cuyo valor total es de 52815,078 N, se obtuvieron los resultados mostrados en las siguientes figuras y descritos en la Tabla 2-4.



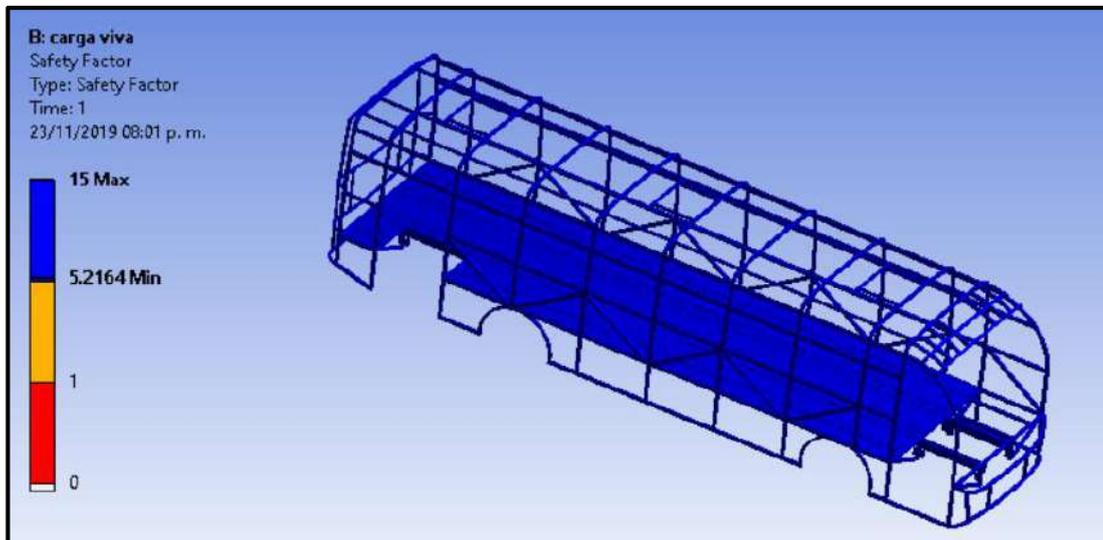
**Figura 10-4** Deformación de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 11-4** Esfuerzo equivalente von-Mises.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 12-4** Factor de seguridad de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Tabla 2-4:** Resultados al aplicar las cargas vivas.

	Deformación (mm)	Von-Mises (hbar)	Factor de seguridad
<b>Valor mínimo</b>	0.11493	1.4749e-5	5.2164
<b>Valor máximo</b>	1.0343	7.2437	15

Fuente: Los autores

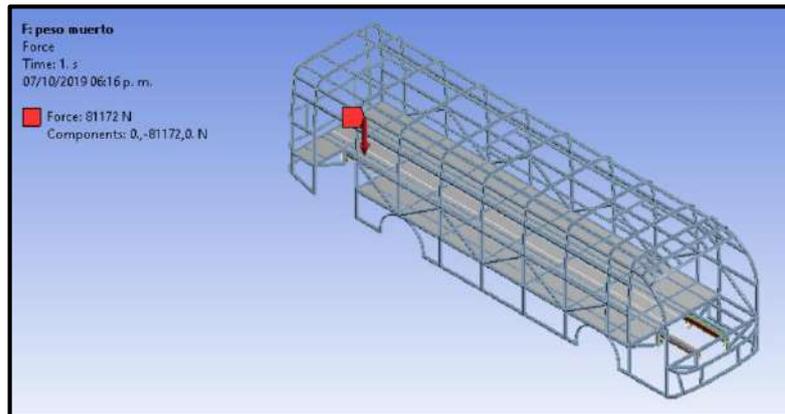
Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Al aplicar la carga viva total se tiene un valor de deformación máximo de 1.0343 mm, el cual es muy bajo si se compara con los 70mm que establece la norma, este valor es máximo en el corredor

debido a que se consideraron personas de pie que en la realidad no se van a transportar, el valor de coeficiente de von-Mises máximo es de 7.2437 hbar sin embargo en la Figura 11-4 se puede observar que el valor que prevalece al aplicar esta carga es de  $1.4749 \times 10^{-5}$  hbar, valor mínimo si se compara con el límite de fluencia, además que prevalece un factor de seguridad máximo con un valor de 15.

### c. Carga muerta

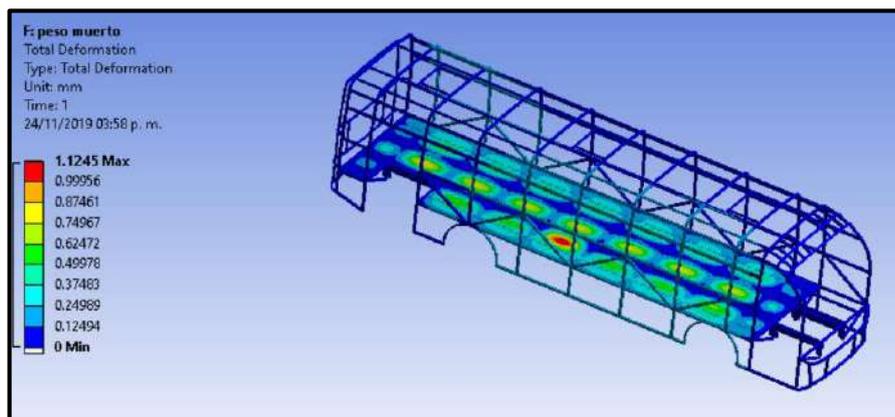
Esta carga al igual que la carga viva se aplica sobre el piso, como se muestra en las siguiente figura:



**Figura 13-4** Carga muerta aplicada sobre el piso.

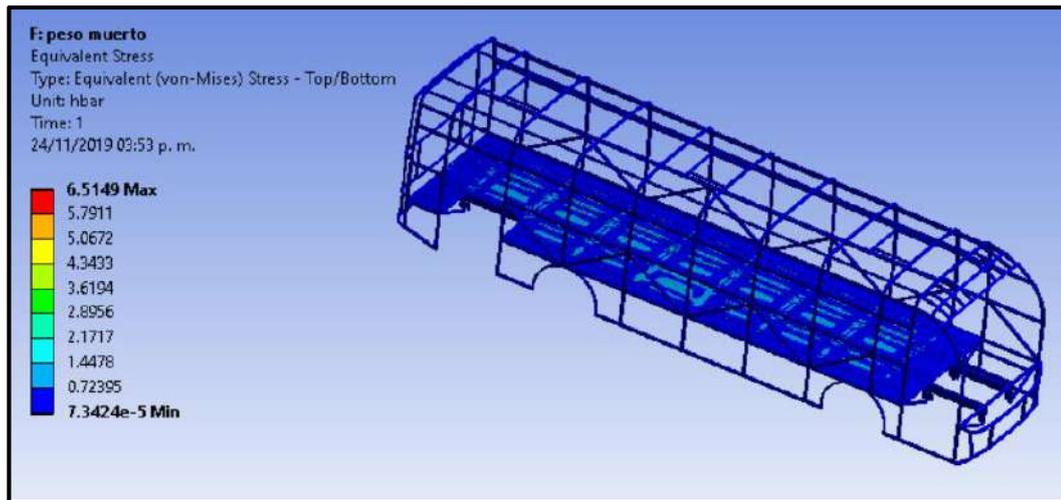
Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

De acuerdo a la carga muerta aplicada cuyo valor total es de 81172,06 N, se obtienen los resultados mostrados en las siguientes figuras y descritos en la Tabla 3-4.



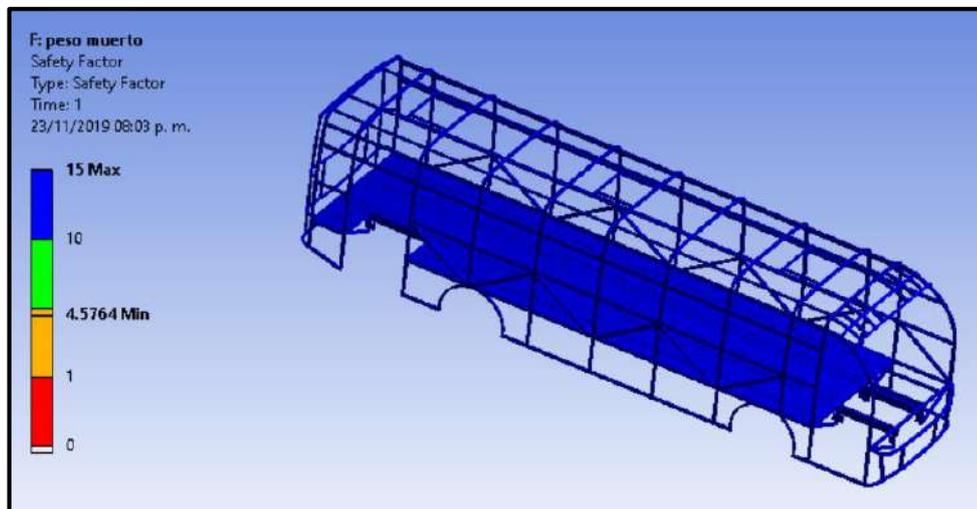
**Figura 14-4** Deformación de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 15-4** Esfuerzo equivalente von-Mises.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019



**Figura 16-4** Factor de seguridad de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Tabla 3-4:** Resultados al aplicar las cargas muertas.

	<b>Deformación</b> (mm)	<b>Von-Mises</b> (hbar)	<b>Factor de seguridad</b>
<b>Valor mínimo</b>	0.12494	7.3424e-5	4.5764
<b>Valor máximo</b>	1.1245	6.5149	15

Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Al aplicar la carga muerta se tiene un valor de deformación máximo de 1.1245 mm, se observan valores mínimos de deformación en las áreas asignadas para asientos y sillas de ruedas debido al peso considerado de los mismos, sin embargo si se compara con los 70 mm que establece la

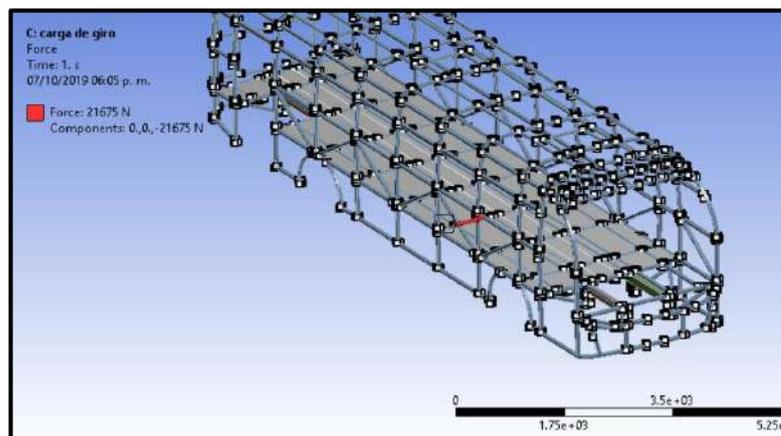
norma, la deformación es mínima, el valor de coeficiente de von-Mises que prevalece es el mínimo valor de  $7.3424e-5$  hbar bastante inferior al límite de fluencia, además se tiene un factor de seguridad alto en la mayor parte de la carrocería.

#### 4.1.2 Análisis dinámico

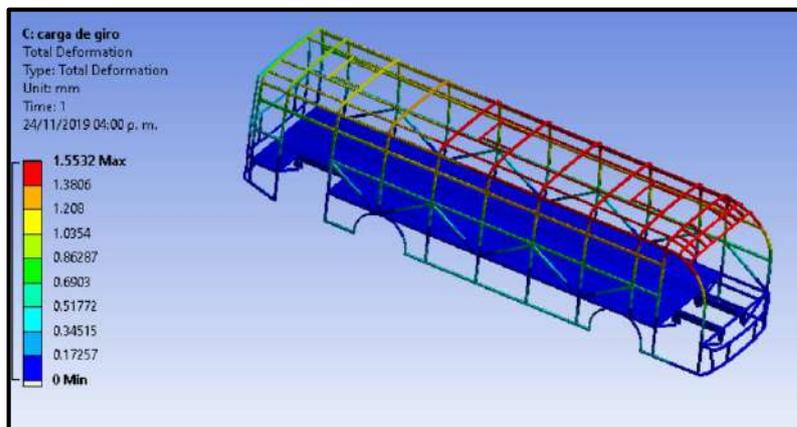
Para realizar el análisis dinámico del diseño de la carrocería propuesto, se consideraron las cargas que actúan sobre el bus pero a diferencia de la estáticas aquí se considera el movimiento (carga de giro, cargas de frenado y aceleración brusca, y resistencia al aire frontal) acorde a lo establecido en la norma INEN 1323.

##### a. Carga de giro

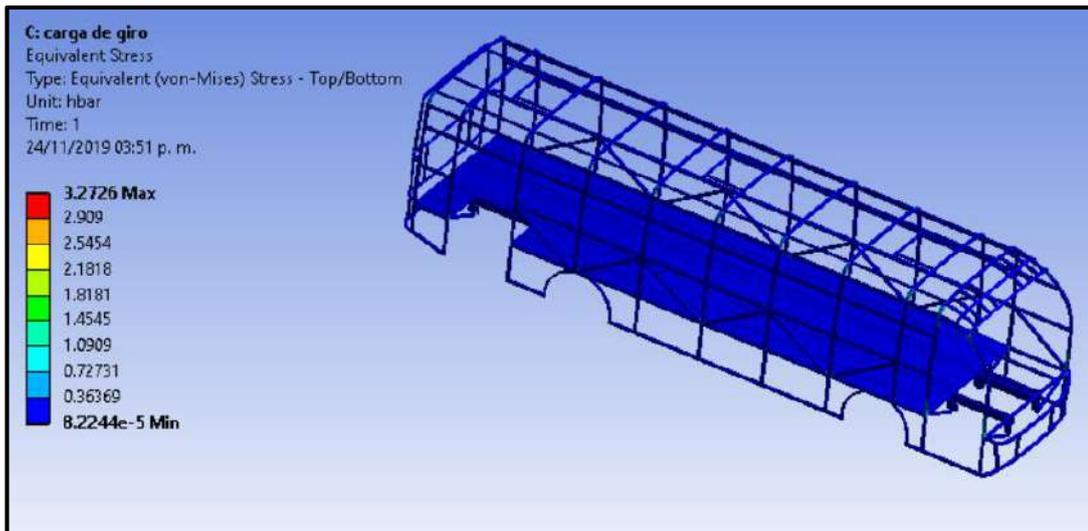
De acuerdo a las cargas vivas aplicadas cuyo valor total es de 21675,37 N, se obtienen los resultados mostrados en las siguientes figuras y descritos en la Tabla 4-4.



**Figura 17-4** Carga aplicada correspondiente a la carga de giro.  
**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

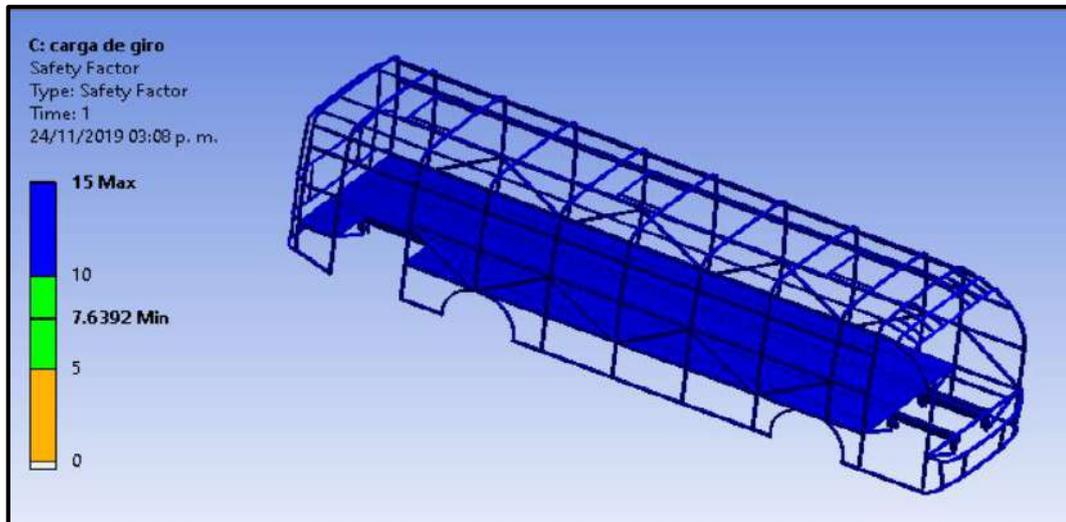


**Figura 18-4** Deformación de la estructura.  
**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 19-4** Esfuerzo equivalente von-Mises.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019



**Figura 20-4** Factor de seguridad de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Tabla 4-4:** Resultados al aplicar la carga de giro.

	<b>Deformación (mm)</b>	<b>Von-Mises (hbar)</b>	<b>Factor de seguridad</b>
<b>Valor mínimo</b>	0.17257	8.2244e-5	7.6392
<b>Valor máximo</b>	1.5532	3.2726	15

Fuente: Los autores

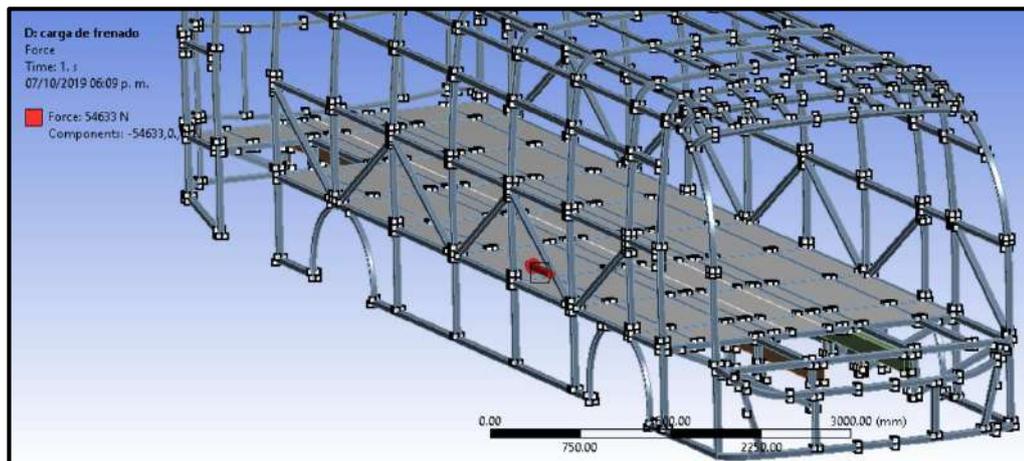
Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Al aplicar la carga de giro se tiene un valor de deformación máximo de 1.5532 mm, el cual es admisible si se compara con los 70 mm que establece la norma, además hay que tomar en consideración que el software no toma en cuenta las uniones como parte soldadas, el valor de

coeficiente de von-Mises que prevalece es de  $8.2244e-5$  hbar, valor mínimo en comparación al límite de fluencia, además se tiene un factor de seguridad aceptable con un mínimo de 7.6392.

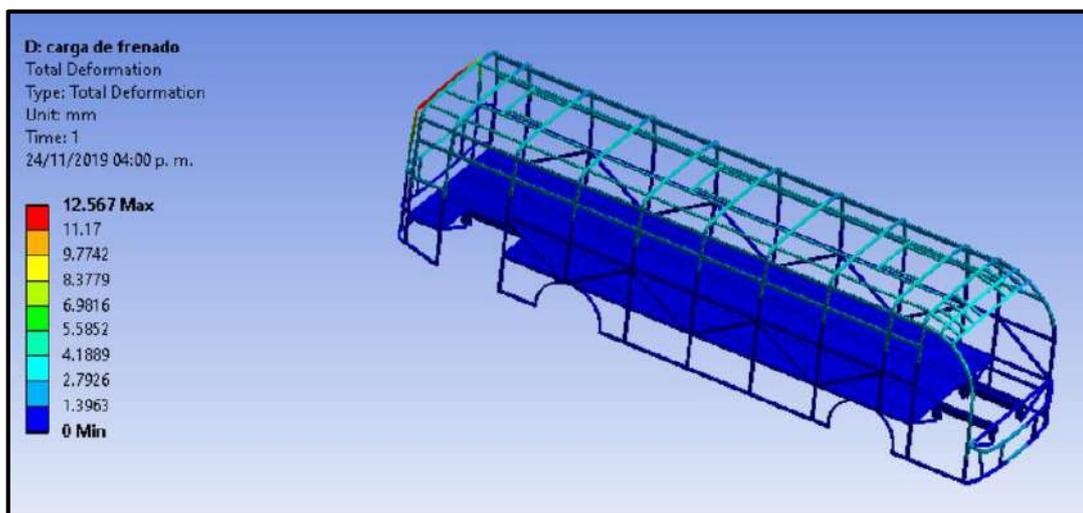
### b. Carga de frenado y aceleración

De acuerdo a la carga de frenado y aceleración brusca cuyo valor total es de 54632,88 N, se obtienen los resultados mostrados en las siguientes figuras y descritos en la Tabla 5-4.



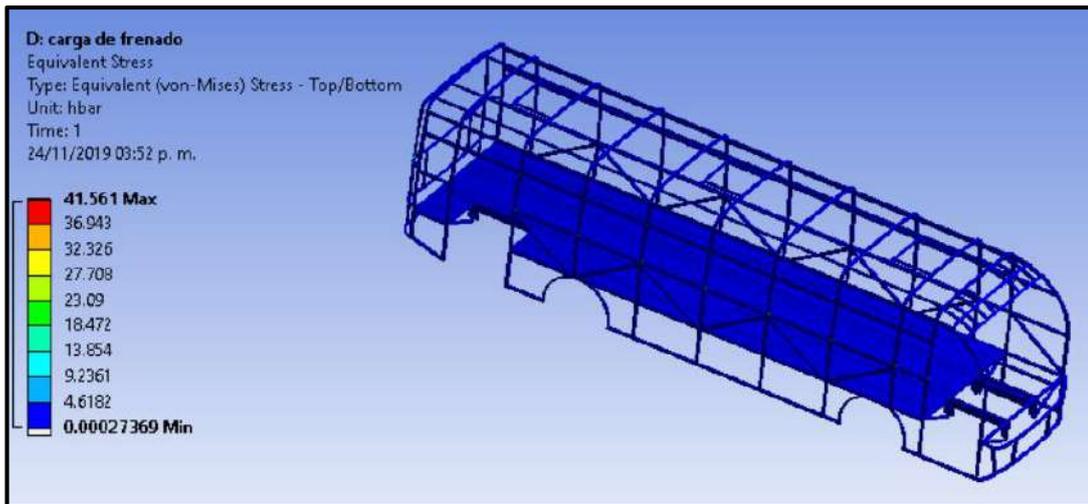
**Figura 21-4** Carga aplicada correspondiente a la carga de frenado y aceleración brusca.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



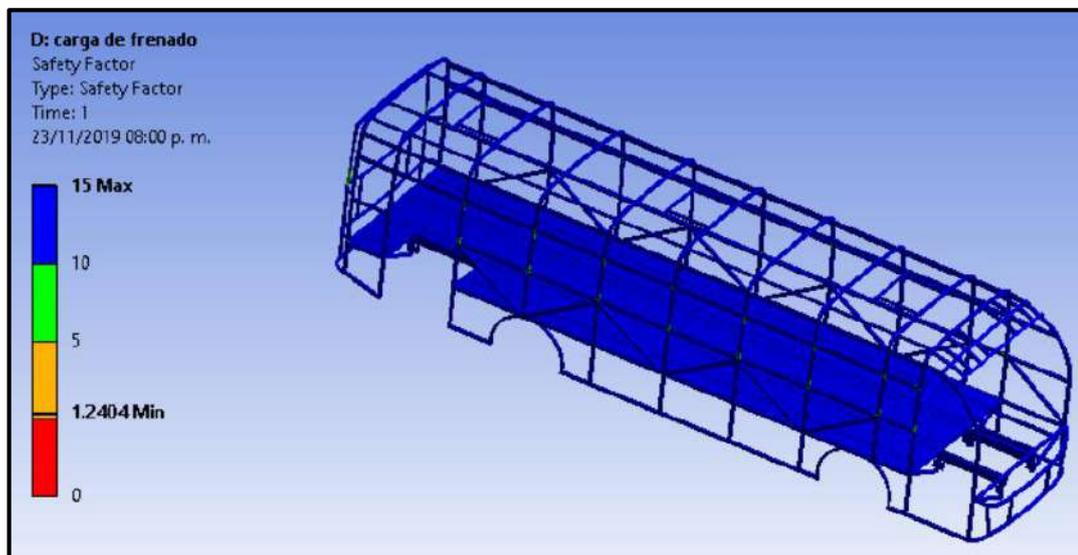
**Figura 22-4** Deformación de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 23-4** Esfuerzo equivalente von-Mises.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019-



**Figura 24-4** Factor de seguridad de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Tabla 5-4:** Resultados al aplicar la carga de frenado y aceleración brusca.

	Deformación (mm)	Von-Mises (hbar)	Factor de seguridad
<b>Valor mínimo</b>	1.3963	0.00027369	1.2404
<b>Valor máximo</b>	12.567	41.561	15

Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Al aplicar la carga de frenado y aceleración brusca se tiene un valor de deformación máximo de 12.567 mm, el cual es muy bajo si se compara con los 70 mm que establece la norma, se tiene un

valor de coeficiente de von-Mises mínimo de 0.00027369 hbar, valor bastante bajo que se puede considerar despreciable en comparación con el límite de fluencia, además se tiene un factor de seguridad mínimo de 1.2404.

### c. Resistencia al aire frontal

Al aplicar la resistencia al aire frontal cuyo valor es de 2405.28 N, se obtienen los resultados mostrados en las siguientes figuras y descritos en la Tabla 6-4.

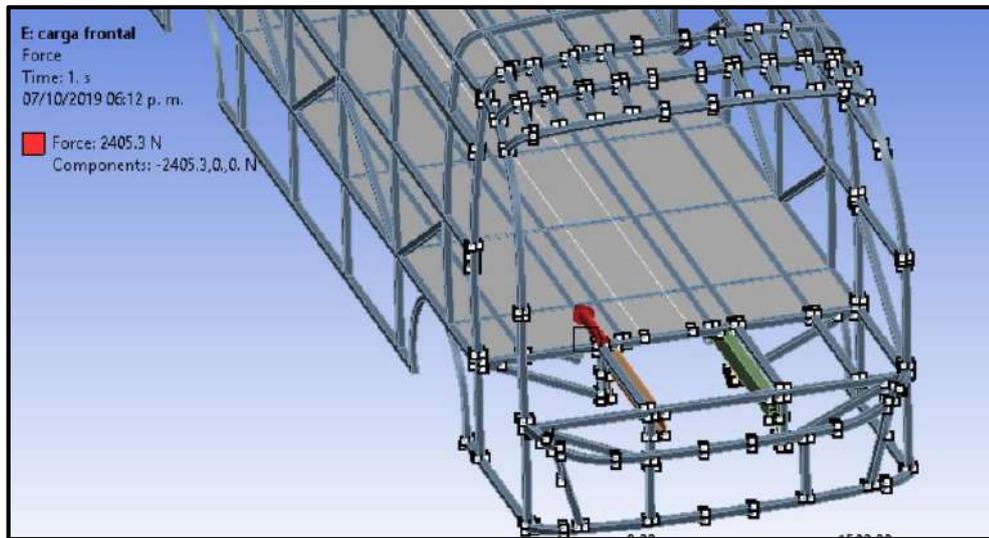


Figura 25-4 Carga aplicada correspondiente a la carga frontal.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

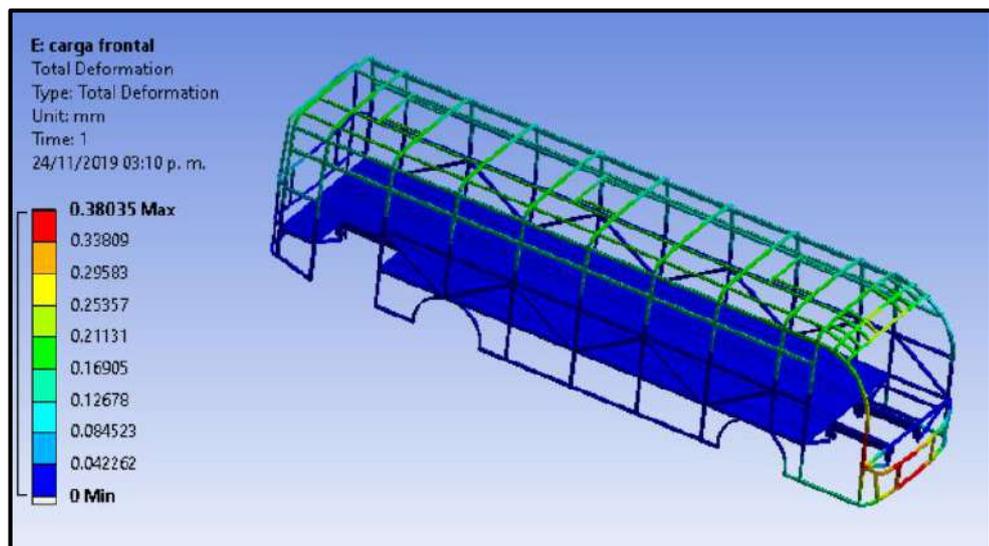
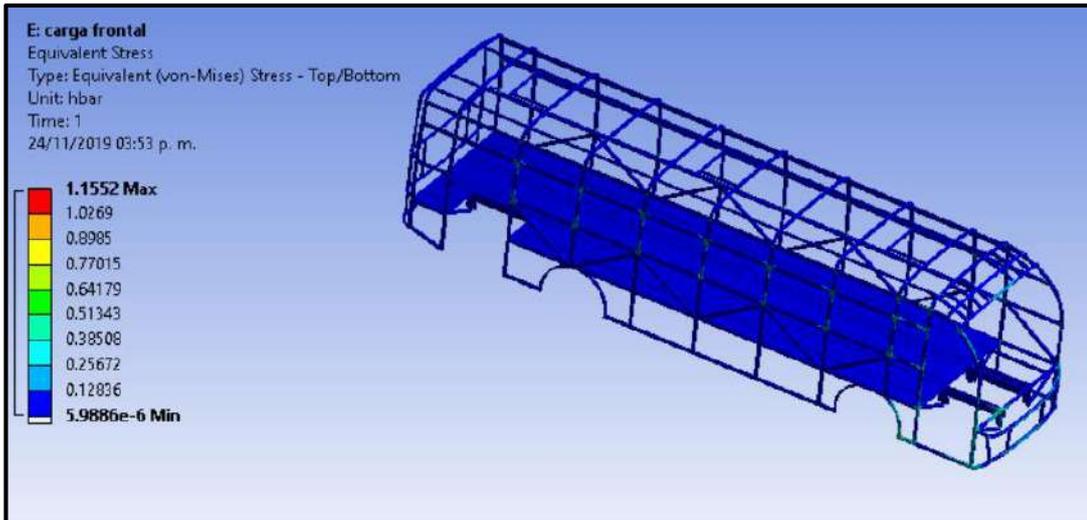


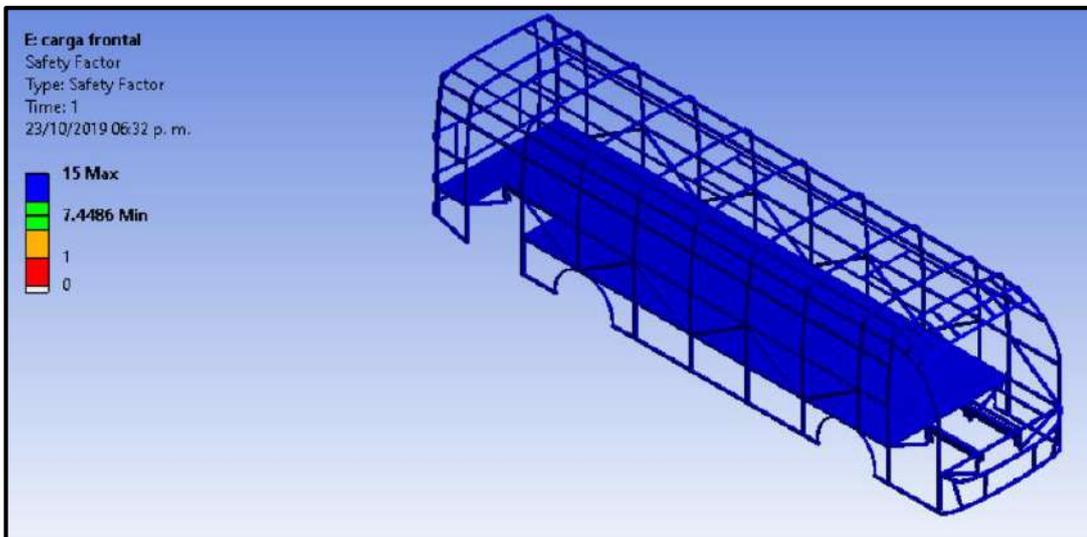
Figura 26-4 Deformación de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 27-4** Esfuerzo equivalente von-Mises.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019



**Figura 28-4** Factor de seguridad de la estructura.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

**Tabla 6-4:** Resultados al aplicar la carga de resistencia al aire frontal.

	<b>Deformación (mm)</b>	<b>Von-Mises (hbar)</b>	<b>Factor de seguridad</b>
<b>Valor mínimo</b>	0.042262	5.9886e-5	7.4486
<b>Valor máximo</b>	0.38035	1.1552	15

Fuente: Los autores

Realizado por: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Al aplicar la carga de resistencia de la estructura se tiene un valor de deformación máximo de 0.38035 mm, el cual es muy bajo si se compara con los 70 mm que establece la norma, el valor

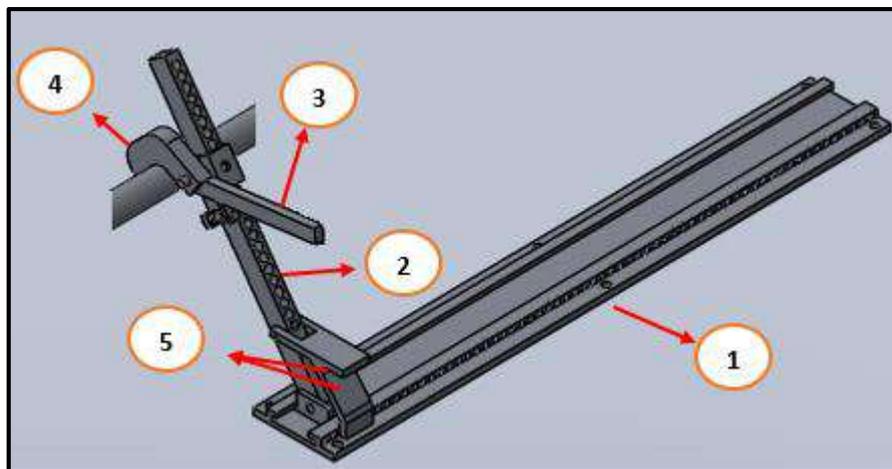
de coeficiente de von-Mises máximo es de 1.1552 hbar, valor admisible bastante bueno ya que no se supera el límite de fluencia, además se tiene un factor de seguridad alto con un mínimo de 7.4486.

#### 4.2 Sistema de anclaje de sillas de ruedas

Para fijar la silla de ruedas a la superficie se consideró un sistema de retención rígido debido a que este permite garantizar la estabilidad de la silla de ruedas y al estar diseñado para soportar diferentes tensiones brinda mayor seguridad al usuario.

Para su diseño se consideran las recomendaciones dadas por los terapeutas a cargo de las personas con discapacidad de AFAPECH, cuyos requerimientos principales fueron que el sistema brindara la mayor estabilidad posible a la silla de ruedas, que fuera fácil de accionar y brinde confort al usuario, por esta razón se descartó el sistema de retención flexible y se optó por el que mejor se adaptó a estos requerimientos.

En la figura 29-4 se muestra los componentes del sistema de retención rígido diseñado:



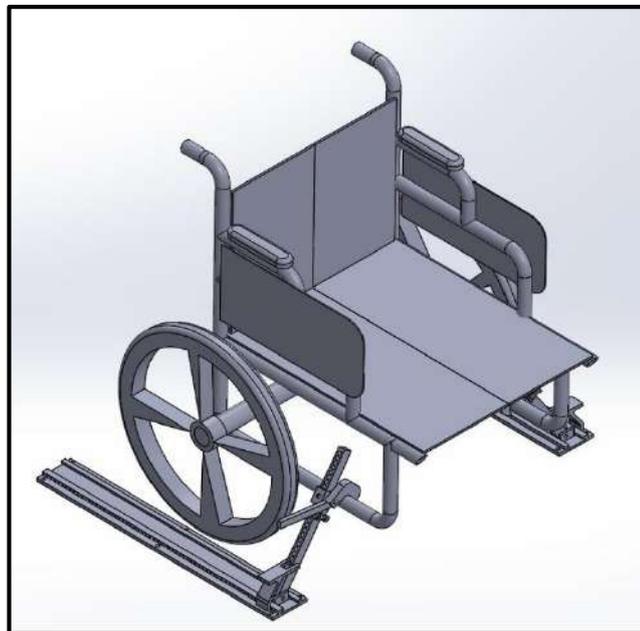
**Figura 29-4** Sistema de retención barra rígida.

**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

- 1.- Guía
- 2.- Barra móvil
- 3.- Palanca de accionamiento
- 4.- Gancho sujetador
- 5.- Posicionadores

El sistema de anclaje diseñado se adapta a silla de ruedas de diferentes dimensiones, al tener una guía que permite mover el sistema de anclaje horizontalmente y un sistema de muescas en la barra que sujeta al gancho accionar que permite mover el sistema de anclaje verticalmente.

La guía cumple con la función de posicionar el anclaje al permitir que la barra movable se pueda deslizar sobre ella y cumple con la función de posicionar verticalmente la palanca de manera que si se tiene una silla de ruedas más baja o más alta que la silla de ruedas utilizada se puede utilizar sin problema alguno, una vez posicionado el anclaje según la silla de ruedas, se puede accionar la palanca que permitirá que el gancho se encaje a la barra rígida de la silla de ruedas, permitiendo de esta manera que la silla quede completamente fija, es importante recalcar que para cada silla de ruedas se tiene un sistema para cada rueda, es decir dos sistemas de retención para una misma silla, de manera que el nivel de seguridad sea alto, como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 30-4** Funcionamiento del sistema de retención barra rígida.

**Fuente:** Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Una consideración importante es que el sistema debe ser accionado manualmente lo cual no representaría ningún problema ya que las personas con discapacidad siempre están bajo la supervisión de algún cuidador, generalmente un terapeuta debido a su condición, además que el accionamiento es sencillo permitiendo que cualquier persona pueda realizarlo.

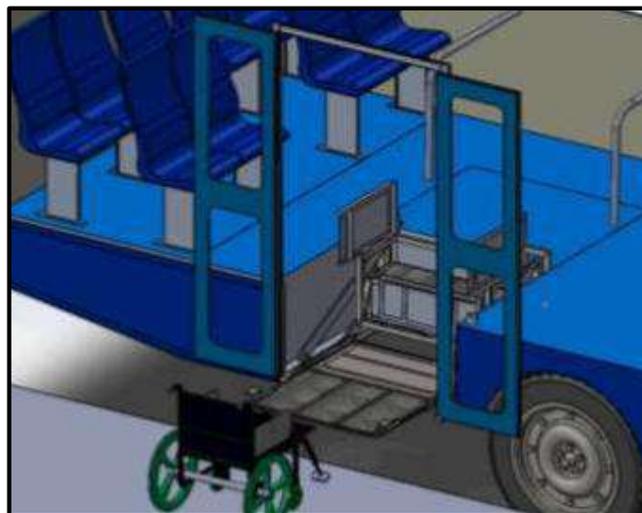
Las medidas de los componentes del sistema de retención se muestran en el ANEXO F.

### 4.3 Plataforma elevadora

El diseño de la plataforma elevadora se toma de la tesis “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ELEVADOR DE ACCESO PARA PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA EN BUSES DE TRANSPORTE URBANO”, desarrollado por Juan Francisco Hernández Vilema y Henry Daniel Verdugo Ibarra, el cual facilita el acceso de la persona con movilidad reducida hacia el interior del bus.

Esta plataforma considera un mecanismo de paralelogramo formado por cuatro barras que permiten la conexión de dos plataformas que tienen la función de movilizar a la persona desde la acera hacia el interior del bus mediante el accionamiento de una palanca, permitiendo de esta manera disminuir el esfuerzo de la persona cuidadora, para su diseño se toma en consideración las especificaciones establecidas en la norma NTE INEN 2205 además de las especificaciones del chasis HINO AK8JRSA, este elevador fue sometido a base de pruebas y análisis de manera que se garantiza su correcto funcionamiento, otro aspecto a considerar es el bajo costo que su implementación generaría.

El elevador seleccionado se muestra en la Figura 31-4, considerando además que los planos otorgados por los autores fueron utilizados para generar el modelo en SolidWorks (Figura 32-4), de manera que se corrobora que este diseño encaje correctamente en el diseño del bus realizado en este trabajo de titulación.

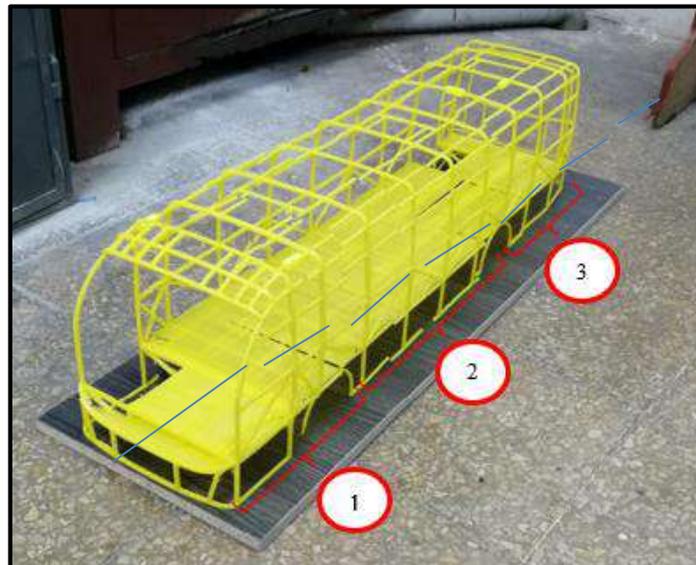


**Figura 31-4** Elevador de paralelogramo.  
Fuente: Hernández Juan & Verdugo Henry, 2019.

#### 4.4 Impresión 3D de la carrocería

Para la impresión del prototipo de la carrocería diseñada en el software Solidworks se utiliza el material PLA, porque permite imprimir de manera más fácil, no se deforma durante la impresión por lo que proporcionar mejores acabos, se puede realizar un posprocesamiento de la pieza ya impresa y además el costo es bajo.

Debido a que se imprimió un prototipo mas no el diseño real se utilizó una escala de 1:13, además es importante mencionar que dado a que la cama de la impresora es de dimensiones pequeñas, se dividió el diseño en tres partes, obteniendo una impresión como la que se muestra en las siguientes figuras:



**Figura 32-4** División para impresión.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 33-4** Protipo impreso.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

Una vez impresa la estructura se procede a dar los acabados finales del prototipo del bus inclusivo, cabe mencionar que cada uno de los accesorios como asientos, sillas, plataforma elevadora, etc., están diseñados a escala es decir se toman en cuenta las medidas reales del modelo.



**Figura 34-4** Vista externa del prototipo.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.



**Figura 35-4** Vista interna del prototipo.

Fuente: Luzuriaga P, Rosero C, 2019.

## CONCLUSIONES

Se logró diseñar un autobús inclusivo para personas miembros de la AFAPECH mediante la construcción de un prototipo a escala para persona con movilidad reducida, respetando la normativa NTE INEN 1668, 1323, 2 205 y 038 vigente en el país, donde se establecen los requisitos y especificaciones técnicas que se deben considerar al momento de diseñar un bus de manera que se garantice la seguridad de las personas que utilicen un medio de transporte.

Por medio del estudio realizado a los miembros de AFAPECH se determinó que en su mayoría son personas que poseen parálisis cerebral, la misma que no les permite movilizarse por sí solos haciendo uso de esta manera de sillas de ruedas que además deben ser manipuladas por personas cuidadoras, por lo cual su transporte resulta altamente dificultoso, a pesar de contar con la ayuda del bus inclusivo del municipio, esta dificultad no disminuye ya que los niños deben ser marcados y sentados en asientos comunes debido a que no caben todas las sillas de ruedas en la parte trasera diseñada para el uso exclusivo de las mismas, con lo cual se tomaron en consideración los consejos de terapistas especializados en el tema y se realizó una distribución interna que permitirá movilizar a 16 personas en sillas de ruedas y 14 personas acompañantes en asientos comunes, lo que reducirá el esfuerzo que realizan las personas cuidadoras y además el mejorara el confort de las personas con movilidad reducida.

Se consideró el chasis HINO AK8JRSA debido a que sus características se adaptaron a la capacidad de personas que requiere la transportar AFAPECH además del bajo costo en el mercado que este tiene frente a otros.

Al igual que para la distribución de asientos y sillas de ruedas, para la determinación del sistema de anclaje se consideró los consejos dados por los especialistas de AFAPECH, por lo cual se diseñó un sistema de retención rígido adaptable, que garantiza la estabilidad de la silla de ruedas y al soportar diferentes tensiones brinda alta seguridad a la persona con movilidad reducida.

El análisis estático y dinámico de la estructura diseñada realizado en el software ANSYS, determinó que la misma tiene valores de deformación bajos, en comparación con lo establecido en la normativa, al igual que se tiene valores bajos del coeficiente de von-Mises y el factor de seguridad es el apropiado, por lo cual se puede implementar este prototipo propuesto sin problemas ya que garantiza la seguridad de los usuarios.

## **RECOMENDACIONES**

Analizar los requerimientos de movilidad que actualmente tienen las personas que utilizan sillas de ruedas, para de esta manera contribuir en el desarrollo de transporte inclusivo que en el país aún no se desarrolla.

Respetar la normativa vigente en el país en cuanto al diseño e implementación de buses, para no atentar a la seguridad de los usuarios que utilicen un medio de transporte común.

Considerar el diseño propuesto para la realización de mejoras que faciliten aún más el transporte de personas con movilidad reducida.

Realizar un análisis de sistemas de anclajes automáticos, para considerar su uso en trabajos posteriores.

Implementar el prototipo a escala para que se puedan realizar las pruebas físicas necesarias, ya realizadas con la ayuda de software, para corroborar si los resultados computacionales y experimentales son los mismos.

## BIBLIOGRAFÍA

**ANSYS.** *Características fluidas en ANSYS* [en línea]. [Consulta: 02 de noviembre del 2018]. Disponible en <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent/ansys-fluent-features>

**BILBAO, Álvaro.** *Guía de familias* [en línea]. Madrid-España : FEDACE, 2017. pp. 141-142. [Consulta: 18 diciembre del 2018]. Disponible en: <https://biblioteca.fundaciononce.es/publicaciones/procedencia/otras-editoriales/guia-de-familias-fedace>

**BORJA ROBALINO, Ricardo Stalin, & MOROCHO ROJAS, Paul Santiago.** *Análisis estructural mediante método de elementos finitos del chasis del vehículo fórmula SAE eléctrico de la Universidad Politécnica Salesiana* [En línea] (tesis). (Maestría) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2017. pp. 14-16. [Consulta: 2019-01-18]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15081>

**CENGEL, Y.** *Transferencia de calor*. 4ª ed. México : Mc Graw-Hill, 2011, pp. 737-741.

**FUNES GONZALEZ, Robert Efraín, VÁSQUEZ CIBRIÁN, Juan Carlos, & TORRES MARTINEZ, Francisco Abraham.** *Diseño y ensamble de impresora 3d con tecnología inalámbrica, por estudiantes de técnico en hardware, para laboratorio de impresión 3d, de la Universidad Tecnológica de el Salvador*. [En línea] (tesis). (Ingeniería) Universidad Tecnológica de el Salvador, San Salvador, El Salvador. 2017. pp. 93-94. [Consulta: 2018-02-12]. Disponible en: <http://biblioteca.utec.edu.sv/siab/virtual/tesis/941001014.pdf>

**GARCÍA GARCÍA, Andrés** (2003). “*Diseño y validación experimental de anclajes y asientos de vehículos destinados al transporte de personas en sillas de ruedas*”. Madrid, IMSERSO, Estudios I+D+I, nº 31. [Consulta: 15 de enero del 2019]. Disponible en: <http://sid.usal.es/22126/8-4-1>

**GONZALES, J.N.** *Alteraciones del habla en la infancia*. 1ª ed. Buenos Aires-Argentina : Médica Panamericana, 2008, pp. 95-98.

**HERNÁNDEZ VILEMA, Juan Francisco, & VERDUGO IBARRA, Henry Daniel.** *Diseño y construcción de un prototipo de elevador de acceso para personas con movilidad reducida en buses de transporte urbano* [En línea] (tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de

Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 5-9. [Consulta: 2018-01-02]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4657>.

**HOJAS, F. M.** (23 de 10 de 2016). *La cifra de ecuatorianos con discapacidad cae de 1'653.000 a 415.500: ¿maquillaje correista?* Obtenido de <http://milhojas.is/612426-la-cifra-de-ecuatorianos-con-discapacidad-cae-de-1-653-000-a-415-500-maquillaje-correista.html>

**LORENZO, R, & CAYO, L.** (2007). *Tratado sobre la discapacidad*, Thomson Aranzadi, Navarra. Obtenido de: <https://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/4535/Accessibilidad%20y%20DpT.%20Tratado%20sobre%20Discapacidad%202007.pdf?sequence=1>

**MACAS MONTAÑO Cesar Cristian, & PILCO LLERENA Kleber José.** *Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3d* [En línea] (tesis). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 3-7. [Consulta: 2018-01-02]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4676>

**NTE INEN 1323. 2009.** *Vehículos Automotores. Carrocerías de buses.*

**NTE INEN 2205. 2010.** *Vehículos Automotores. Bus urbano. Requisitos.*

**NTE INEN-ISO 3833:2008.** *Vehículos Automotores. Tipos. Términos y definiciones.*

**QUINGLA GARRIDO, Jimmy Javier.** *Construcción del sistema mecánico de una plataforma para buses urbanos de la ciudad de Ibarra que facilite el acceso de personas que utilizan silla de ruedas* [En línea] (tesis). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2017. pp. 20-23. [Consulta: 2018-01-02]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7158>

REGISTRO OFICIAL 796, A. I. (25 de 09 de 2012). *LEY ORGÁNICA DE DISCAPACIDADES*. Obtenido de <http://www.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/es/ec/ec024es.pdf>

**SIMUTECH GROUP.** *WORBENCH PLATFORM SOFTWARE* [en línea]. [Consulta: 02 de enero del 2019]. Disponible en: <https://www.simutechgroup.com/>

**SOLIDWORKS.** *SOLIDWORKS* [en línea]. [Consulta: 02 de noviembre del 2018]. Disponible en <http://help.solidworks.com>.

**QUINGLA GARRIDO, Jimmy Javier.** *Construcción del sistema mecánico de una plataforma para buses urbanos de la ciudad de Ibarra que facilite el acceso de personas que utilizan silla de ruedas* [En línea] (tesis). (Ingeniería) Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador. 2017. pp. 20-23. [Consulta: 2018-01-02]. Disponible en: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/7158>

# **ANEXOS**