



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO DEL HABITÁCULO PARA EL VEHÍCULO AUTÓNOMO PIXKIT**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
título de Ingeniero Automotriz

**AUTORES: KEVIN OSWALDO PADILLA PADILLA**

**RICHARD MATEO VILLA GUAMÁN**

**TUTOR: ING. WILSON PATRICIO CALLE GUAMANTARIO, MSc.**

Cuenca - Ecuador

2024

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Oswaldo Padilla Padilla con documento de identificación N° 0150700664 y Richard Mateo Villa Guamán con documento de identificación N° 0105957799; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 05 de febrero del 2024

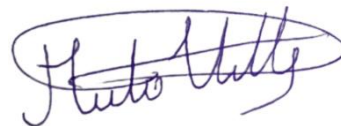
Atentamente,



---

Kevin Oswaldo Padilla Padilla

0150700664



---

Richard Mateo Villa Guamán

0105957799

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Kevin Oswaldo Padilla Padilla con documento de identificación N° 0150700664 y Richard Mateo Villa Guamán con documento de identificación N° 0105957799, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Diseño del habitáculo para el vehículo autónomo PIXKIT”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 05 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Kevin Oswaldo Padilla Padilla

0150700664



---

Richard Mateo Villa Guamán

0105957799

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Patricio Calle Guamantario con documento de identificación N° 0103551057, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DEL HABITÁCULO PARA EL VEHÍCULO AUTÓNOMO PIXKIT, realizado por Kevin Oswaldo Padilla Padilla con documento de identificación N° 0150700664 y por Richard Mateo Villa Guamán con documento de identificación N° 0105957799, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 05 de febrero del 2024

Atentamente,



---

Ing. Wilson Patricio Calle Guamantario, MSc.

0103551057

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto lo dedico con profunda gratitud a mis padres, Cesar Padilla y Ana Padilla, cuya amor y apoyo incondicional han sido mi mayor soporte a lo largo de este viaje. Su enseñanzas y aliento han sido la fuerza detrás de cada uno de mis logros y la luz que ha iluminado mi camino en los momentos más difíciles.*

*También quiero dedicar este logro a mis queridas hermanas, cuyo apoyo constante ha sido una fuente de inspiración y motivación para conseguir mis metas. Su presencia sirve de recordatorio de la importancia del cariño y la unidad familiar en la persecución de los objetivos.*

***Kevin Oswaldo Padilla Padilla***

## **DEDICATORIA**

*El presente proyecto le dedicó de manera muy especial a mi querida madre, Bertha Villa y a mi abuelita María Guaman, su inquebrantable apoyo, motivación y todo el esfuerzo que realizaron por mí en este camino.*

*De igual manera le dedico este proyecto a mis queridos tíos Fabian y Santiago, así como a mis familiares cercanos. Su constante atención y palabras de aliento fueron fundamentales para seguir adelante.*

*Finalmente, quiero dedicar este proyecto rindiendo homenaje a dos personas muy especiales que ya no están en este mundo, mi tío Edgar y mi abuelito Moisés, cuando estuvieron presentes, siempre me apoyaron, creyeron en mí y me motivaron a seguir esta hermosa profesión, su espíritu perdura en este logro que hoy comparto con gratitud.*

***Richard Mateo Villa Guaman***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres a los cuales les debo todos mis logros. Su amor incondicional y su incesante apoyo han sido el cimiento de mi desarrollo académico y personal. Cada meta alcanzada es una manifestación directa de su sacrificio y dedicación.*

*A mis queridas hermanas, agradezco de todo corazón su apoyo incondicional en los momentos más desafiantes. Su presencia ha sido una guía en mi camino y me han brindado la fuerza para seguir adelante.*

*A toda mi familia, les estoy agradecido por su fe inquebrantable en mí a lo largo de esta travesía.*

*No puedo olvidar mencionar al ingeniero Wilson Calle, cuya guía experta y sabiduría ha sido esencial para el logro de este proyecto. Su dedicación y apoyo ha sido crucial en este logro académico.*

***Kevin Oswaldo Padilla Padilla***

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero darle gracias a Dios por protegerme en este camino y dame la sabiduría para superar obstáculos a lo largo de mi vida.*

*A mi mama Bertha, por apoyarme durante este camino, por sus consejos y por haber demostrado ser una madre ejemplar.*

*A mi abuelita María, quien me enseñó a nunca rendirme frente a las adversidades que se presentan en la vida.*

*A mis tíos Fabian y Santiago, por su apoyo y por estar siempre pendiente de mí.*

*A mis amigos quienes me brindaron su apoyo y fueron parte de este bonito camino universitario.*

*De manera muy especial al ingeniero Wilson Calle, por brindarnos su confianza, apoyo y conocimiento para poder culminar con éxito este proyecto.*

***Richard Mateo Villa Guaman***



## **RESUMEN**

La investigación desarrollada en este trabajo de titulación tiene como objetivo principal abordar el diseño del habitáculo para el vehículo autónomo PIXKIT, el cual está especialmente diseñado para otorgar una alternativa de movilización adaptado a las necesidades de personas con paraplejía.

El proceso de investigación se estructura en varias etapas:

En la Fase 1, se efectuará una amplia investigación bibliográfica relacionada con el vehículo autónomo PIXKIT, entre las cuales se revisará información acerca de ergonomía y normas de seguridad ecuatorianas relacionadas con el habitáculo de un vehículo.

En la Fase 2, se ejecutará el diseño del habitáculo considerando la distribución y protección de los ocupantes y elementos del vehículo, esto se logrará con la asistencia de un software de ingeniería.

En la Fase 3, se realizará un análisis estructural mediante software de simulación para verificar y validar el comportamiento y la eficiencia del diseño.

El resultado final será un habitáculo diseñado para el vehículo autónomo PIXKIT, el cual cumpla con los requisitos de seguridad, accesibilidad y comodidad adecuados para ayudar a la movilización de personas con paraplejía.

***Palabras Claves: Autónomo, Diseño***

## **ABSTRACT**

The research conducted in this graduation thesis aims to address the design of the cabin for the autonomous vehicle PIXKIT, which is specially designed to provide a mobility alternative adapted to the needs of individuals with paraplegia.

The research process is structured in several stages:

In Phase 1, an extensive bibliographic investigation related to the autonomous vehicle PIXKIT will be carried out, including a review of information about ergonomics and Ecuadorian safety standards related to the cabin of a vehicle.

In Phase 2, the cabin design will be executed, considering the distribution and protection of occupants and vehicle elements. This will be achieved with the assistance of engineering software.

In Phase 3, a structural analysis will be conducted using simulation software to verify and validate the behavior and efficiency of the design.

The result will be a cabin designed for the autonomous vehicle PIXKIT, which complies with safety, accessibility, and comfort requirements suitable for assisting the mobility of individuals with paraplegia.

Keywords: Autonomous, Design

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
RESUMEN .....	IX
ABSTRACT .....	X
1. INTRODUCCION .....	13
2. PROBLEMA .....	13
2.1 Antecedentes.....	14
2.2 Importancia y alcances .....	15
2.3 Delimitación .....	15
3. OBJETIVOS.....	16
3.1 Objetivo General.....	16
3.2 Objetivos Específicos .....	16
4. CAPÍTULO I: NORMATIVAS Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL HABITACULO .....	16
4.1 Discapacidades en Ecuador .....	17
4.1.1 Estadística de discapacidad en Ecuador .....	18
4.1.1.1 Tipos de discapacidades en Ecuador .....	18
4.1.1.2 Grado de discapacidad.....	18
4.1.1.3 Discapacidad por edad en el Ecuador.....	19
4.1.2 Tipos de discapacidades. ....	21
4.2 Medidas antropométricos para discapacitados .....	21
4.3 Ergonomía .....	27
4.3.1 Ergonomía geométrica.....	28
4.3.2 Ergonomía ambiental.....	29
4.3.3 Ergonomía Temporal.....	33
4.4 Características de la estructura vehicular .....	33
4.4.1. Dimensiones del espacio de supervivencia .....	34
4.4.2. Características del cinturón de seguridad .....	34
4.4.3 Características del piso del vehículo .....	38
5. Capitulo II: DISEÑO DEL HABITÁCULO PARA UNA CARROCERÍA Y CHASIS PIXKIT .....	39
	XI

5.1 Proceso de diseño .....	39
5.1.1 Generación de la idea .....	39
5.1.2 Número de pasajeros y su distribución.....	40
5.1.3 Bocetos del vehículo.....	40
5.1.4 Dimensiones de la carrocería y el chasis.....	40
5.1.5 Medidas interiores .....	41
5.1.6 Construcción del prototipo de la carrocería.....	42
5.1.6.1 Planos para el mecanizado de piezas.....	45
5.1.6.2 Consideraciones de diseño .....	48
5.1.6.3 Dimensiones interiores del habitáculo.....	51
5.1.7 Tipos de cinturones de seguridad y sistemas de anclaje en el transporte de personas con movilidad reducida .....	53
5.1.7.1 Definición de seguridad.....	53
5.1.7.2 Cinturones de seguridad .....	53
• Elementos del cinturón de seguridad .....	55
5.1.7.3 sistemas de anclaje en el transporte de personas con movilidad reducida ...	57
• Clasificación de los sistemas de anclaje.....	58
5.1.7.4. Sistema de Puertas.....	65
5.1.7.5. Asientos del Vehículo .....	67
5.1.7.6. Piso del vehículo .....	69
5.2 Disposición de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT .....	72
6. Capítulo III: ANALISIS DE LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS.....	74
6.1 Dimensiones de la estructura tubular.....	75
6.1.1 Puntos de acople de la carrocería al chasis.....	78
6.2 Perfiles empleados para la fabricación de carrocerías.....	80
6.2.1 Material seleccionado para el análisis de la carrocería.....	81
6.3 Cargas vivas.....	82
6.4. Cargas muertas .....	84
6.5. Análisis mediante simulaciones FEM. ....	87
6.5.1 Especificación de las propiedades del material. ....	88
6.5.2 Mallado de la estructura tubular en el software ANSYS 2023.....	88
6.5.3 Resistencia de la estructura.....	90
6.5.3.1 Análisis de los esfuerzos. ....	91
6.5.3.2 Análisis del facto de seguridad.....	92

6.5.4 Impacto frontal .....	93
6.5.5 Carga de frenado .....	99
6.5.6 Carga de Aceleración.....	105
6.5.7 Cargas laterales.....	105
6.5.8 Carga aerodinámica .....	109
6.6 Cargas combinadas .....	111
6.6.1 Según método ASD (Allowable strength desing) .....	111
7. CONCLUSIONES .....	114
8. RECOMENDACIONES .....	116
9. BIBLIOGRAFIA:.....	117
10. ANEXOS .....	119

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Ubicación .....	15
<b>Figura 2</b> Personas con discapacidad registradas en el registro nacional .....	17
<b>Figura 3</b> Tipos de discapacidades en Ecuador.....	18
<b>Figura 4</b> Grado de discapacidad .....	19
<b>Figura 5</b> Discapacidad por Edad .....	20
<b>Figura 6</b> Tipos de Discapacidades .....	21
<b>Figura 7</b> Carta antropométrica de personas de sexo masculino que sufren de paraplejia vista frontal.....	24
<b>Figura 8</b> Carta antropométrica de personas de sexo masculino que sufren de paraplejia vista lateral.....	24
<b>Figura 9</b> Carta antropométrica de personas de sexo femenino que sufren de paraplejia vista frontal.....	26
<b>Figura 10</b> Carta antropométrica de personas de sexo femenino que sufren de paraplejia vista lateral.....	26
<b>Figura 11</b> Tipos de Ergonomía .....	28
<b>Figura 12</b> Alcance vertical y horizontal .....	29
<b>Figura 13</b> Diagrama Psicométrico .....	32
<b>Figura 14</b> Espacio de supervivencia .....	34
<b>Figura 15</b> Puntos de anclaje del cinturón de seguridad .....	35
<b>Figura 16</b> Dimensiones de los asientos para pasajeros.....	37
<b>Figura 17</b> Zonas de pendientes para rampas.....	38
<b>Figura 18</b> Anclaje de seguridad de tres puntos para sillas de ruedas. ....	39
<b>Figura 19</b> Prototipo de carrocería para el vehículo .....	43
<b>Figura 20</b> Patrón de corte laser.....	44
<b>Figura 21</b> Plano 2d de la carroceria.....	44
<b>Figura 22</b> Corte CNC .....	45
<b>Figura 23</b> Diseño de la pieza en programa CAD.....	46
<b>Figura 24</b> Maquina de corte.....	46
<b>Figura 25</b> Mecanizado de la pieza .....	47
<b>Figura 26</b> Piezas mecanizadas .....	47
<b>Figura 27</b> Carrocería ensamblada.....	48
<b>Figura 28</b> Montaje frontal del prototipo del chasis .....	49
<b>Figura 29</b> Vista lateral del montaje frontal del prototipo del chasis.....	49
<b>Figura 30</b> Toma de medidas para las consideraciones de diseño (soporte).....	50
<b>Figura 31</b> Toma de medidas para las consideraciones de diseño (altura) .....	50
<b>Figura 32</b> Vista lateral de las dimensiones interiores.....	51
<b>Figura 33</b> Vista frontal de las dimensiones interiores .....	51
<b>Figura 34</b> Vista superior de las dimensiones interiores.....	52

<b>Figura 35</b> Dimensiones de la protección de componentes electrónicos y ángulo de la rampa del piso del vehículo .....	52
<b>Figura 36</b> Cinturones de seguridad.....	53
<b>Figura 37</b> Cinturón de seguridad de dos puntos .....	54
<b>Figura 38</b> cinturón de seguridad de 3 puntos .....	54
<b>Figura 39</b> Pretensor cinturón de seguridad.....	55
<b>Figura 40</b> Extensor del cinturón de seguridad.....	55
<b>Figura 41</b> Enganche del cinturón de seguridad .....	56
<b>Figura 42</b> Hebilla del cinturón de seguridad .....	56
<b>Figura 43</b> Anclajes del cinturón de seguridad .....	57
<b>Figura 44</b> Cinturón de seguridad de 4 puntos.....	59
<b>Figura 45</b> Sistema de Auto enclavamiento .....	61
<b>Figura 46</b> Sistema de barras rígidas.....	63
<b>Figura 47</b> Cinturones se seguridad de 4 y 5 puntos.....	64
<b>Figura 48</b> Puerta tipo gaviota .....	66
<b>Figura 49</b> Puerta corrediza .....	67
<b>Figura 50</b> Asientos del vehículo .....	69
<b>Figura 51</b> Suelo del vehículo.....	70
<b>Figura 52</b> Piso del vehículo .....	71
<b>Figura 53</b> Espacio previsto para la colocación de una caja de protección para componentes electrónicos.....	71
<b>Figura 54</b> Concepto número uno de la disposición de los elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT .....	72
<b>Figura 55</b> Concepto número dos de la disposición de los elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT .....	73
<b>Figura 56</b> Disposición número uno de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKKT.....	73
<b>Figura 57</b> Vista isométrica de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT .....	74
<b>Figura 58</b> Diámetro de los tubos de la estructura tubular.....	75
<b>Figura 59</b> Alto total de la estructura tubular.....	76
<b>Figura 60</b> Ancho total de la estructura tubular .....	76
<b>Figura 61</b> Vista superior de la estructura tubular .....	77
<b>Figura 62</b> Vista isométrica de la estructura tubular.....	77
<b>Figura 63</b> Puntos de acople en el chasis del vehículo autónomo PIXKIT .....	78
<b>Figura 64</b> Vista del acople del chasis con la estructura tubular .....	79
<b>Figura 65</b> Mecanismos de acople en el chasis.....	79
<b>Figura 66</b> Propiedades seleccionadas en ANSYS para la carrocería .....	88
<b>Figura 67</b> Mallado de la estructura .....	89
<b>Figura 68</b> Mallado de una sección de la estructura tubular .....	89
<b>Figura 69</b> Calidad de malla .....	90
<b>Figura 70</b> Esfuerzos en la estructura .....	91
<b>Figura 71</b> Deformación en la estructura .....	92
<b>Figura 72</b> Factor de seguridad .....	93
<b>Figura 73</b> Impacto frontal a 64 km/h.....	94
<b>Figura 74</b> Condiciones iniciales .....	96
<b>Figura 75</b> Deformación a 60 km/h.....	96

<b>Figura 76</b>	Deformación a 40 km/h.....	97
<b>Figura 77</b>	Deformación a 20 km/h.....	97
<b>Figura 78</b>	Condiciones iniciales de impacto LATINNCAP .....	98
<b>Figura 79</b>	Deformación de la estructura (LATINNCAP).....	98
<b>Figura 80</b>	Transferencia de peso en el frenado.....	99
<b>Figura 81</b>	Determinación de la posición del centro de gravedad. ....	100
<b>Figura 82</b>	Medidas necesarias para la simulación. ....	101
<b>Figura 83</b>	Esfuerzo en la estructura por cargas de frenado .....	103
<b>Figura 84</b>	Deformación de la estructura por cargas de frenado.....	103
<b>Figura 85</b>	Factor de seguridad sometido a cargas de frenado .....	104
<b>Figura 86</b>	Radio de Curvatura en la carretera.....	106
<b>Figura 87</b>	Esfuerzo de la estructura al estar sometida a la carga de giro.....	107
<b>Figura 88</b>	Deformación de la estructura al estar sometida a la carga de giro.....	107
<b>Figura 89</b>	Factor de seguridad en carga de giro .....	108
<b>Figura 90</b>	Enmallado de la carrocería para el cálculo de la fuerza aerodinámica .....	110
<b>Figura 91</b>	Calculo de la fuerza aerodinámica .....	110
<b>Figura 92</b>	Combinaciones de cargas según método ASD .....	111
<b>Figura 93</b>	Esfuerzo de la estructura bajo carga combinadas .....	112
<b>Figura 94</b>	Deformación de la estructura bajo cargas combinadas .....	113
<b>Figura 95</b>	Vista isométrica de la distribución del habitáculo .....	123
<b>Figura 96</b>	Vista lateral de la disposición interior del habitáculo.....	123



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 Antropometría para discapacitados de sexo masculino en silla de ruedas</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 2 Antropometría para discapacitados de sexo femenino en silla de ruedas</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 3 NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS POR EL IES PARA DIFERENTES TAREAS</b> .....	<b>30</b>
<b>Tabla 4 NIVELES DE ILUMINACIÓN EN LUX RECOMENDADOS EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS DETALLES</b> .....	<b>31</b>
<b>Tabla 5 Dimensiones del chasis</b> .....	<b>41</b>
<b>Tabla 6 Dimensiones de la carrocería</b> .....	<b>41</b>
<b>Tabla 7 Perfiles y materiales empleados en carrocerías</b> .....	<b>80</b>
<b>Tabla 8 Propiedades del Acero ASTM 500</b> .....	<b>81</b>
<b>Tabla 9 Propiedades del acero ASTM 500</b> .....	<b>82</b>
<b>Tabla 10 Cargas vivas</b> .....	<b>82</b>
<b>Tabla 11 Resultados de las cargas muertas</b> .....	<b>85</b>
<b>Tabla 12 Resultados de cargas muertas adicionales</b> .....	<b>87</b>
<b>Tabla 13 Constantes ambientales normales en el funcionamiento del vehículo</b> ...	<b>109</b>

## **1. INTRODUCCION**

En la sociedad actual, la movilidad personal es de suma importancia en el día a día de las personas, puesto que esto les permite ser partícipe de una amplia gama de actividades. Sin embargo, las personas con paraplejia frecuentemente encuentran impedimentos para utilizar y acceder a los medios de transporte convencionales, esta falta de accesibilidad no solo dificulta su autonomía, sino que también dificulta su participación en el ámbito social y laboral.

En este proyecto de investigación, se tratará sobre el diseño del habitáculo para el vehículo autónomo PIXKIT, este habitáculo se desarrollará con el objetivo de comprender a fondo los requisitos esenciales para garantizar la seguridad y el bienestar de las personas con paraplejia durante sus desplazamientos. Para conseguirlo se realizará una detallada revisión de las normas y documentos técnicos para poder comprender y cumplir con los estándares de seguridad, accesibilidad y confort adecuado para la movilidad de este grupo de personas.

## **2. PROBLEMA**

El vehículo autónomo PIXKIT llegó a la Universidad Politécnica Salesiana en un estado inicial compuesto únicamente por su chasis y elementos esenciales para su movilidad además este proyecto busca servir como una solución de movilidad inclusiva destinada a beneficiar a personas parapléjicas brindándoles una opción de transporte autónomo accesible y adaptada a sus necesidades.

En el proceso de desarrollo del proyecto del vehículo autónomo PIXKIT, es imperativo diseñar su habitáculo de manera que combine funcionalidad, estética y

facilidad de construcción, considerando las condiciones a las que el vehículo estará expuesto.

Además, es esencial realizar un análisis estructural detallado para garantizar que el habitáculo sea seguro y cumpla con las regulaciones de seguridad vehicular internacionales y a nivel nacional. Este análisis estructural asegura que el diseño no solo sea estéticamente atractivo y funcional, sino que también sea capaz de resistir y proteger la integridad física de los ocupantes en situaciones de choque o accidentes.

## **2.1 Antecedentes**

El diseño de vehículos adaptados para personas con discapacidades físicas es un tema de creciente interés en el ámbito de la movilidad personal. Distintas investigaciones y actualizaciones tecnológicas se han dirigido hacia la superación de los obstáculos, con el objetivo de otorgar soluciones afectivas que contribuyan a mejorar la calidad de vida de personas con discapacidades.

En el ámbito de la movilización de personas con paraplejia, se han logrado avances significativos en la adaptación de sistemas de transporte. Por ejemplo, se han diseñado bicicletas y scooters con opciones accesibles para personas con discapacidades que permiten el movilizarse de manera autónoma y cómoda en distintos entornos.

A pesar de estos logros, aún se mantiene la necesidad de contar con un vehículo adaptado que otorgue una alta confiabilidad y seguridad para las personas con discapacidades. En este ámbito se ha planteado el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT como una opción prometedora, esta tiene el objetivo de proveer una solución a las necesidades de movilización de personas con paraplejia.

## 2.2 Importancia y alcances

El presente proyecto acerca del diseño de un habitáculo para el vehículo autónomo PIXKIT destinado a la movilización de personas con paraplejia, adquiere una alta relevancia para la Carrera de ingeniería Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana. Su impacto no solo se limitará a enriquecer el conocimiento y desarrollo de habilidades técnicas de los estudiantes, sino que también generará un impacto social positivo al mejorar la calidad de vida de las personas con paraplejia y fomentar su inclusión en la sociedad. Además, el proyecto contribuirá a la formación de profesionales altamente calificados en la creación de soluciones tecnológicas innovadoras y eficaces para la movilidad personal, enfocadas en la inclusión y la sostenibilidad.

## 2.3 Delimitación

El proyecto se llevará a cabo en la Ciudad de Cuenca, ubicada en la Provincia del Azuay, al sur del Ecuador. Esta ciudad se encuentra a una altitud de 2500 metros sobre el nivel del mar y abarca una extensión de 70,59 km<sup>2</sup>. Además, cuenta con una población aproximada de 580,000 habitantes.

**Figura 1** *Ubicación*



*Nota.* Esta figura muestra la delimitación donde se realizará el proyecto de titulación.  
Tomado de Google Maps.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo General**

Diseñar el habitáculo para el vehículo autónomo PIXKIT para la movilización segura de personas y elementos eléctricos y electrónicos.

#### **3.2 Objetivos Específicos**

- Realizar una revisión bibliográfica relacionado con el vehículo autónomo PIXKIT, ergonomía, normas de seguridad nacional e internacional relacionadas con el diseño y construcción de habitáculo de un vehículo.
- Diseñar el habitáculo considerando la distribución y protección de los ocupantes y elementos eléctricos y electrónicos del vehículo.
- Realizar un análisis estructural mediante software de simulación SolidWorks y ANSYS, para cumplir con las normativas de seguridad.

### **4. CAPÍTULO I: NORMATIVAS Y REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL HABITACULO**

En el primer capítulo de este proyecto, se realizará un análisis detallado de las regulaciones y requisitos relevantes que serán tomados en cuenta para el diseño del habitáculo para el vehículo autónomo. También se estudiará la ergonomía de una silla de ruedas estándar.

Con el objetivo de asegurar la idoneidad del habitáculo para la diversa población ecuatoriana, se tendrá en consideración los datos de discapacidad en el país. Este enfoque permitirá la creación de un diseño inclusivo y funcional, en concordancia con las normativas y medidas vigentes. El objetivo es otorgar una experiencia de movilidad segura y cómoda a las personas con discapacidades en Ecuador.

#### 4.1 Discapacidades en Ecuador

La discapacidad se puede definir como una limitación o barrera en la capacidad de realizar una actividad, teniendo en cuenta lo que se considera normal para un individuo. Se presenta como una consecuencia que puede tener distintos factores causales, lo que da lugar a diferentes tipos de discapacidades. Estas discapacidades pueden manifestarse afectando a personas que presenten deficiencias en su condición mental, física o intelectual, ya sea de manera permanente o temporal. Además, existen individuos que nacen con algún tipo de discapacidad. Esta condición influye en su capacidad para interactuar de manera habitual con otras personas.

**Figura 2** *Personas con discapacidad registradas en el registro nacional*



*Nota.* Esta figura muestra la totalidad de personas con discapacidad registradas en el registro nacional. Tomado de (CONADIS, 2023).

### 4.1.1 Estadística de discapacidad en Ecuador

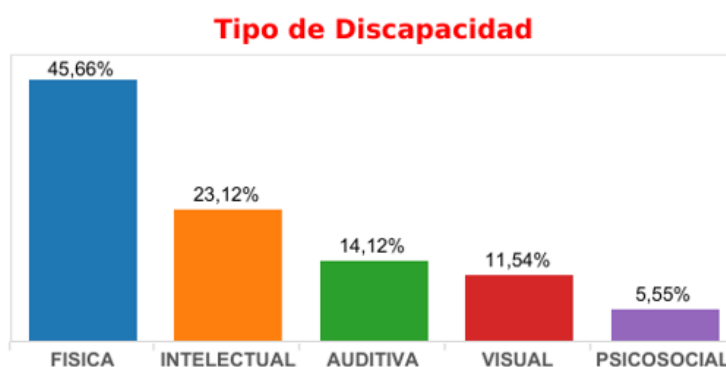
Con el objetivo de abordar de manera precisa la estadística de discapacidad en Ecuador, se usará datos provenientes de fuentes confiables, es importante señalar que, hasta la fecha, no se dispone de estadísticas oficiales que contemple la totalidad de la población ecuatoriana en cuanto a discapacidad.

En el Ecuador CONADIS (Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades) es una entidad autónoma y descentralizada que verifica el cumplimiento de las leyes y regulaciones en relación con la garantía de derechos de personas con discapacidad.

#### 4.1.1.1 Tipos de discapacidades en Ecuador

En el Ecuador según las estadísticas de CONADIS la discapacidad física cuenta con el mayor porcentaje siendo el 45,66% de toda la población ecuatoriana seguidas del 23,12% con discapacidades intelectuales y con el 14,12% con discapacidades auditivas.

**Figura 3** *Tipos de discapacidades en Ecuador*



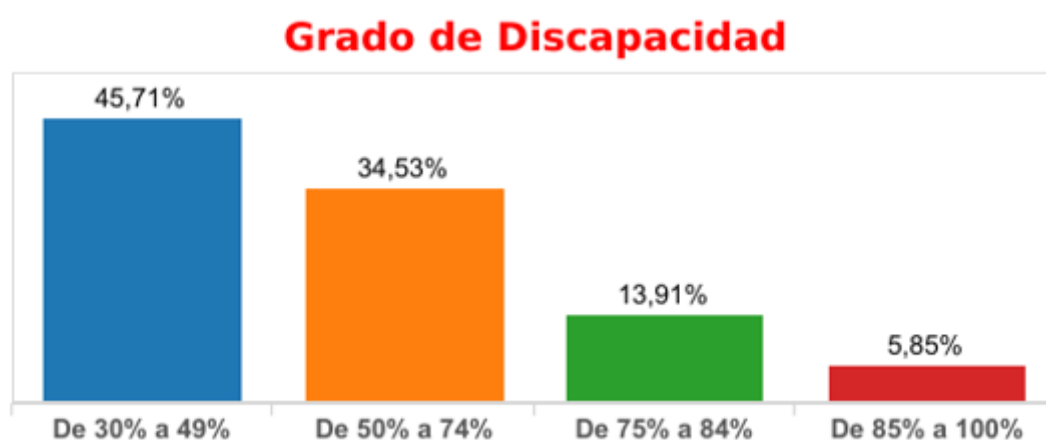
Nota. Esta figura muestra el porcentaje y tipos de discapacidades registradas en Ecuador. Tomado de (CONADIS, 2023).

#### 4.1.1.2 Grado de discapacidad

El grado de discapacidad es una medida que cuantifica la limitación funcional o la restricción de un individuo debido a una condición de discapacidad. Este grado es una

manera de expresar la magnitud del impacto que la discapacidad tiene en el día a día de la persona. Este grado se puede determinar mediante un proceso que puede incluir la revisión de evaluaciones clínicas, consideración de la capacidad de la persona para realizar actividades cotidianas y revisión de informes médicos, generalmente se determina un porcentaje que indica el grado de limitación que la discapacidad impone a la persona. En el Ecuador según estadísticas del CONADIS se observa una distribución diversa en los grados de discapacidad, el rango del 30% al 49% abarca el 45,71% del total de evaluaciones este se encuentra seguido del intervalo del 50% al 74% que representa al 34,53%. Asimismo, el rango del 75% al 84% constituye el 13,91%, mientras que el rango del 85% al 100% comprende un 5,85%.

**Figura 4** *Grado de discapacidad*



Nota. Esta figura muestra el porcentaje según el grado de discapacidad en el registro nacional. Tomado de (CONADIS, 2023).

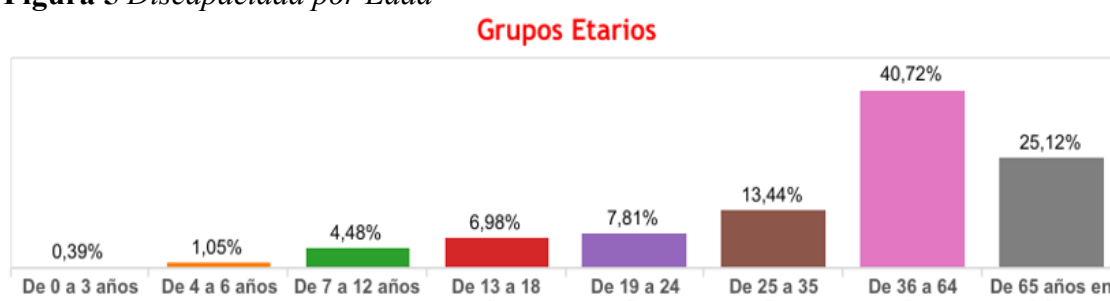
#### **4.1.1.3 Discapacidad por edad en el Ecuador.**

Según los datos proporcionados por la CONADIS en relación con la discapacidad por edad, se puede observar una distribución variada en los grupos etarios. En el segmento de 36 a 64 años se registra la mayor incidencia de discapacidad abarcando un 40,72% del



total de evaluaciones, le sigue el grupo de 65 años en adelante con un 25,12%, en lo que respecta al rango de 25 a 35 años y de 19 a 24 años se cuenta con un 13,44% y 7,81% respectivamente. En cuanto a las edades de 13 a 18 años experimentan un 6,98% de discapacidad seguida por el grupo de 7 a 12 años con un 4,48% por último se encuentran los segmentos más tempranos, de 4 a 6 años se tiene un porcentaje de 1,05% mientras que el grupo más joven de 0 a 3 años la cifra es del 0,39%. Estos resultados otorgan una visión detallada de la existencia de discapacidad por edad en diferentes etapas de la vida.

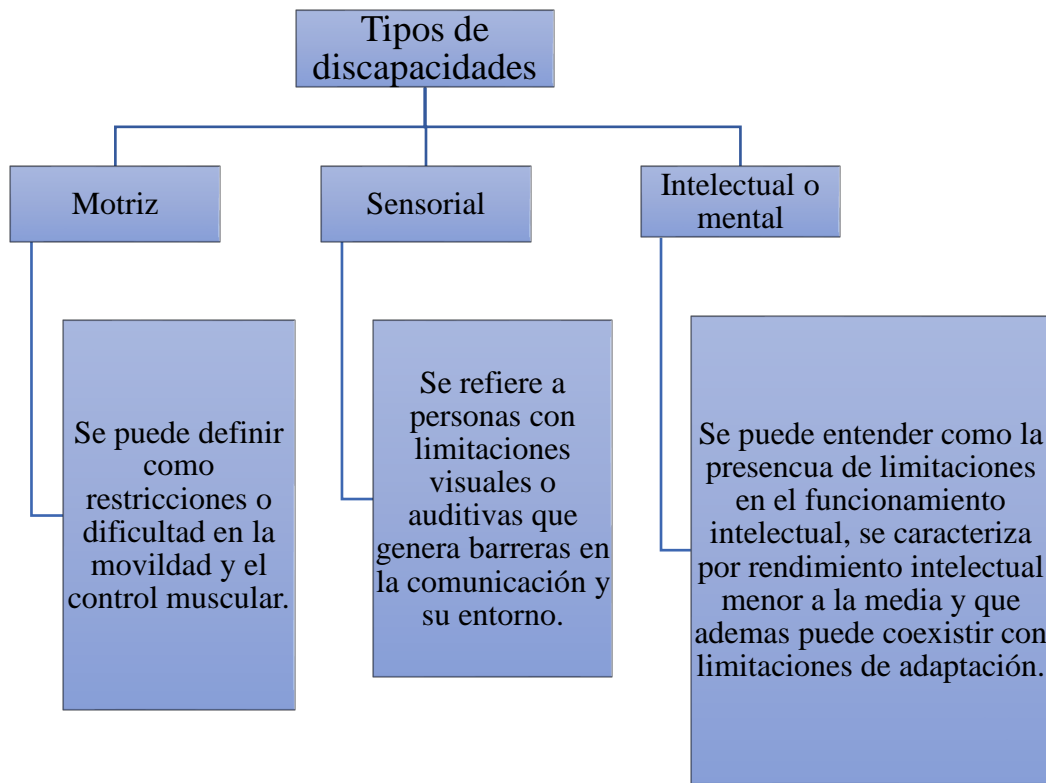
**Figura 5** *Discapacidad por Edad*



Nota. Esta figura muestra el porcentaje de discapacidad según la edad en el registro nacional. Tomado de (CONADIS, 2023).

#### 4.1.2 Tipos de discapacidades.

Figura 6 Tipos de Discapacidades



Nota. Esta figura muestra los tipos de discapacidad. Fuente. Tomado de (MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL, 2013).

#### 4.2 Medidas antropométricos para discapacitados

Ya que la naturaleza social del problema y la ausencia de información precisa al respecto, se ha generado un marcado interés en contar con la información de medidas antropométricas de la población ecuatoriana. Por consiguiente, varios autores se han enfocado en estudiar las necesidades antropométricas de este grupo el cual enfrenta desafíos únicos en términos de accesibilidad y comodidad al utilizar vehículos convencionales, por lo que el diseño de habitáculos para vehículos autónomos se presenta

como una solución ética y social promoviendo la igualdad de acceso y participación para todas las personas.

En este contexto, la inclusión de personas con discapacidad adquiere una importancia destacada. Por ende, la necesidad de medidas antropométricas adaptadas a este grupo se presenta como un componente crucial para abordar el diseño del habitáculo inclusivo. Es importante recalcar que la adaptación del diseño a estas medidas no solo será para accesibilidad física, sino que también implica consideraciones ergonómicas y funcionales que mejoren la experiencia del usuario.

Al enfocarse específicamente en individuos que dependen de sillas de ruedas para su movilidad, se evidencian desafíos únicos en términos de accesibilidad y comodidad al utilizar vehículos convencionales. Este hecho resalta la importancia de ajustar vehículos autónomos para satisfacer dichas necesidades específicas, es fundamental reconocer que esta adaptación no será únicamente de dimensiones físicas, sino que también incorporará soluciones destinadas a mejorar la interacción y autonomía de las personas con discapacidad.

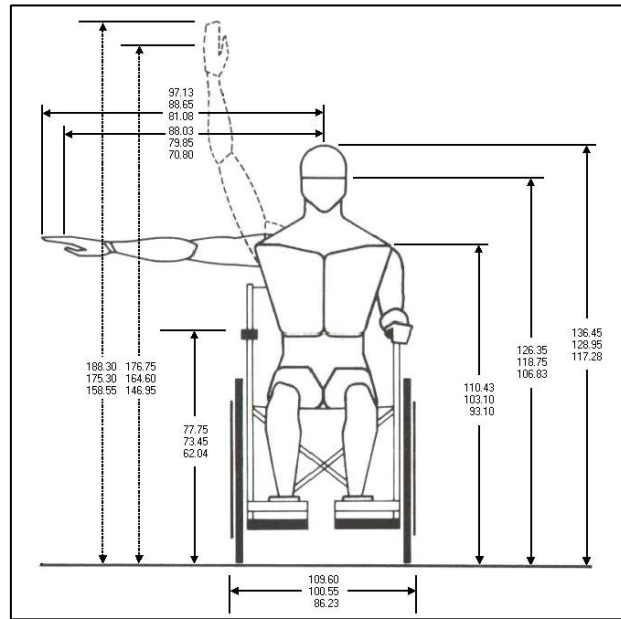
La ausencia de datos sobre la antropología de personas con discapacidad en Ecuador se agrava por la escasez de estudios en Latinoamérica. Aunque, la investigación “ANTROPOMETRÍA PARA DISCAPACITADOS” de Enrique De la Vega desarrollada con el aval de la sociedad de ergonomistas de México por lo tanto a continuación se presentaran tablas resumidas en las que se indica las medidas tanto masculinas como femeninas.

**Tabla 1 Antropometría para discapacitados de sexo masculino en silla de ruedas**

Percentil	MEDIDAS CORPORALES						
	Alcance hacia arriba		Del piso a la Cabeza	Altura al ojo	Altura al hombro	Alcance abajo	
	Dedo	Puño				Dedo	Puño
5	158.55	146.95	117.28	106.83	93.10	68.25	58.73
50	175.30	164.60	128.95	118.75	103.10	75.20	65.45
95	188.30	176.75	136.45	126.35	110.43	85.68	76.15
Promedio	174.36	164.08	128.25	118.28	102.64	75.96	66.30
Percentil	MEDIDAS CORPORALES						
	Alcance al frente		Longitud antebrazo		Alcance lateral		Profundidad del tronco
	Dedo	Puño	Dedo	Puño	Dedo	Puño	
5	80.73	71.30	27.45	19.40	81.08	70.80	27.33
50	89.60	79.25	37.80	27.45	88.65	79.85	35.45
95	98.10	87.93	51.33	41.30	97.13	88.03	43.28
Promedio	89.33	79.59	38.56	29.93	89.30	79.93	35.33

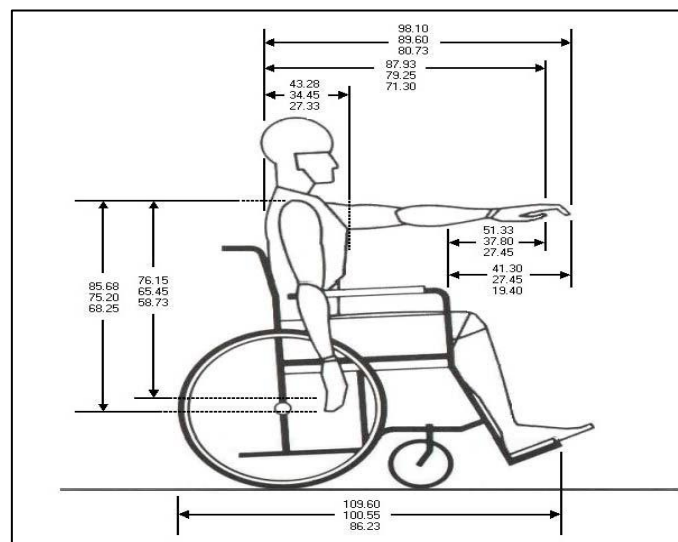
*Nota.* Esta tabla presenta las medidas antropométricas de las personas de sexo masculino en silla de ruedas. Tomado de ANTROPOMETRIA PARA DISCAPACITADOS (pag. 236), por Vega, Lopez & Soto, 2004.

**Figura 7** Carta antropométrica de personas de sexo masculino que sufren de paraplejia vista frontal



*Nota.* Esta figura presenta las medidas antropométricas de las personas de sexo masculino en silla de ruedas desde la vista frontal. Tomado de ANTROPOMETRIA PARA DISCAPACITADOS (pag. 237), por Vega, Lopez & Soto, 2004.

**Figura 8** Carta antropométrica de personas de sexo masculino que sufren de paraplejia vista lateral



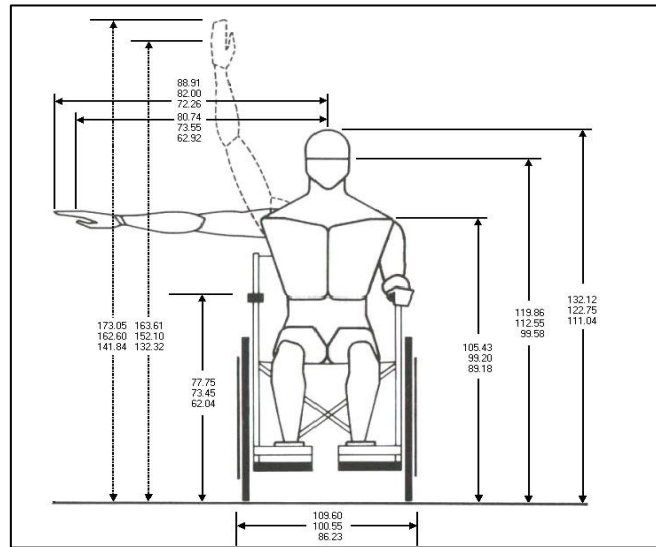
*Nota.* Esta figura presenta las medidas antropométricas de las personas de sexo masculino en silla de ruedas desde la vista lateral. Tomado de ANTROPOMETRIA PARA DISCAPACITADOS (pag. 237), por Vega, Lopez & Soto, 2004.

**Tabla 2 Antropometría para discapacitados de sexo femenino en silla de ruedas**

MEDIDAS CORPORALES								
Percentil	Alcance hacia arriba		Del piso a la Cabeza	Altura al ojo	Altura al hombro		Alcance abajo	
	Dedo	Puño			Dedo	Puño	Dedo	Puño
	5	141.84	132.32	111.04	99.58	89.18	59.14	49.64
50	162.60	152.10	122.75	112.55	99.20	66.75	58.40	
95	173.05	163.61	132.12	119.86	105.43	74.81	65.46	
Promedio	160.77	150.60	122.65	111.34	97.82	66.50	57.61	
MEDIDAS CORPORALES								
Percentil	Alcance al frente		Longitud antebrazo		Alcance lateral		Profundidad del tronco	
	Dedo	Puño	Dedo	Puño	Dedo	Puño		
5	74.76	65.66	21.61	13.00	72.26	62.92	28.06	
50	81.10	72.10	29.75	21.10	82.00	73.55	35.75	
95	88.96	79.69	43.32	34.79	88.91	80.74	48.59	
Promedio	81.22	72.25	30.60	22.24	81.12	72.65	36.43	

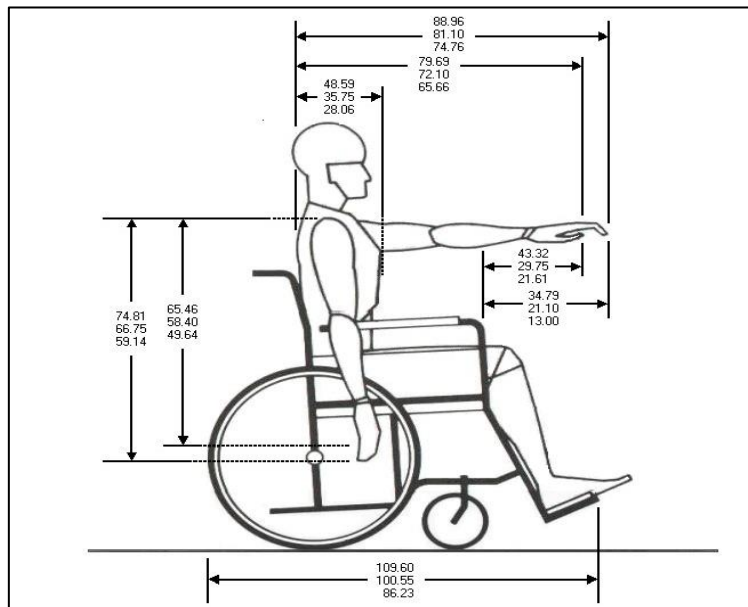
*Nota.* Esta tabla presenta las medidas antropométricas de las personas de sexo femenino en silla de ruedas. Tomado de ANTROPOMETRIA PARA DISCAPACITADOS (pag. 238), por Vega, Lopez & Soto, 2004.

**Figura 9** Carta antropométrica de personas de sexo femenino que sufren de paraplejia vista frontal



*Nota.* Esta figura presenta las medidas antropométricas de las personas de sexo femenino en silla de ruedas desde la vista frontal. Tomado de ANTROPOMETRIA PARA DISCAPACITADOS (pag. 238), por Vega, Lopez & Soto, 2004.

**Figura 10** Carta antropométrica de personas de sexo femenino que sufren de paraplejia vista lateral



*Nota.* Esta figura presenta las medidas antropométricas de las personas de sexo femenino en silla de ruedas desde la vista lateral. Tomado de ANTROPOMETRIA PARA DISCAPACITADOS (pag. 239), por Vega, Lopez & Soto, 2004.

### **4.3 Ergonomía**

La ergonomía se puede definir como el estudio de la relación existente entre un individuo y sus alrededores con el objetivo de diseñar entornos de manera que se adapten a las capacidades y limitaciones humanas. Tiene como objetivo mejorar la eficiencia, bienestar y seguridad de las personas en distintas actividades diarias.

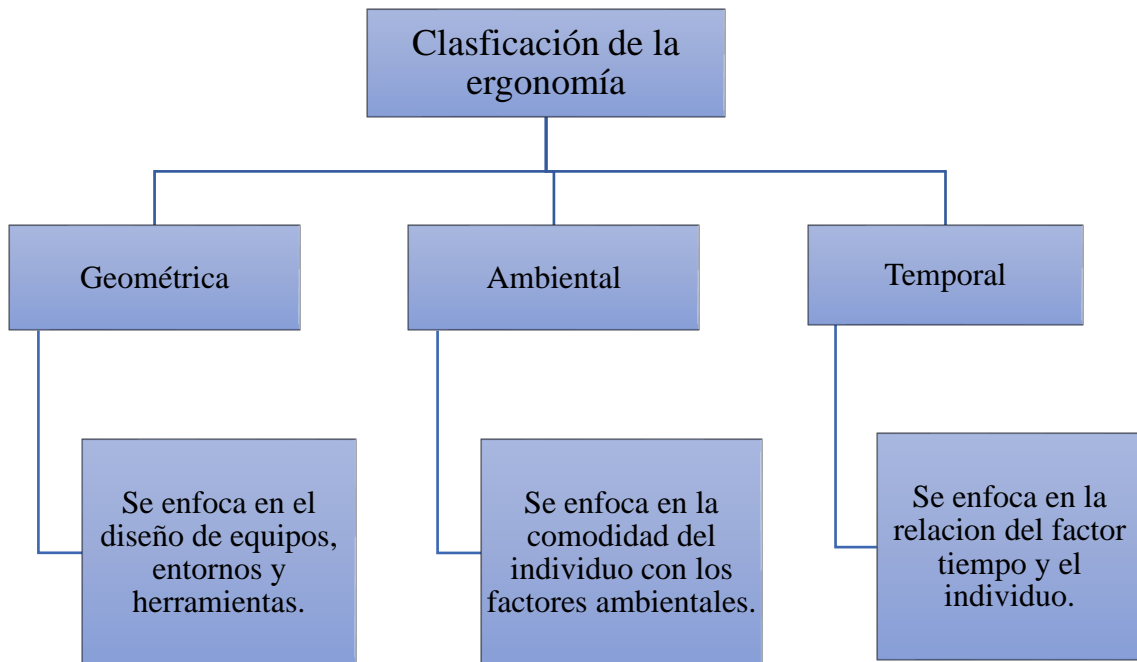
La ergonomía tiene en cuenta aspectos como el diseño de equipos, lugares, herramientas y sistemas, teniendo en cuenta la anatomía, psicología, fisiología y habilidades cognitivas de los individuos. Al aplicar principios ergonómicos se busca reducir el riesgo de lesiones, mejorar el confort y fomentar entornos más eficientes y seguros.(URRUTIA, 2016).

Entre las áreas que abarca la ergonomía se encuentra la ergonomía física, la cual se enfoca en el diseño de herramientas y lugares de trabajo que se adaptan al ser humano; la ergonomía organizacional la cual se enfoca en examinar la estructura de las organizaciones y de su influencia en el bienestar de las personas y la ergonomía cognitiva que se enfoca en la interacción entre el individuo y el sistema desde una perspectiva mental y perceptual.

La ergonomía se apoya en distintas áreas por lo que se puede clasificar según diversos criterios una de las posibles clasificaciones se puede observar en la siguiente figura.



**Figura 11** *Tipos de Ergonomía*



Nota. Esta figura muestra una clasificación de la ergonomía. Tomado de (URRUTIA, 2016).

#### **4.3.1 Ergonomía geométrica**

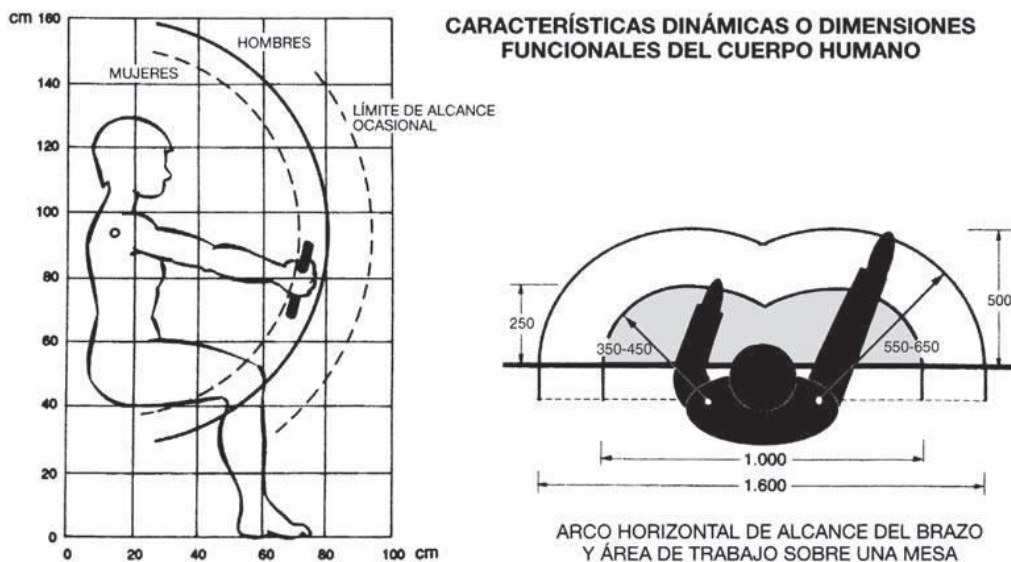
Estudia al individuo y su entorno enfocando especial atención a las dimensiones y características del puesto de trabajo, su objetivo es el de garantizar un ajuste adecuado entre el usuario y su entorno minimizando problemas debido a configuraciones inadecuadas, posición o tamaños erróneos.

Entre algunos puntos clave de la ergonomía geométrica se incluyen:

- **Herramientas y Equipos:** Se centra en diseñar herramientas y equipos laborales que puedan garantizar la seguridad y comodidad del usuario, se considera la forma, tamaño y disposición del elemento con el objetivo de lograr una interacción eficiente y sin riesgos.

- **Espacio de trabajo:** Examina la disposición del espacio de trabajo para adaptarse a las características antropométricas del usuario, aborda aspectos como la altura de sillas, mesas, estanterías y demás herramientas de trabajo, su objetivo es el de garantizar una postura saludable y cómoda.
- **Interfaces y controles:** Abarca el diseño de interfaces y controles como pueden ser teclados, pantallas, ratones, software entre otros con el objetivo de facilitar el uso, reducir el cansancio y probabilidad de cometer errores del usuario.

**Figura 12** Alcance vertical y horizontal



*Nota.* Esta figura presenta el alcance vertical y horizontal del brazo y del área de trabajo de los usuarios. Tomado de (Cortés, 2007).

#### 4.3.2 Ergonomía ambiental

La ergonomía ambiental considera la relación entre el individuo y el diseño del entorno físico, los cuales aborda aspectos como la iluminación, temperatura, acústica y otros factores ambientales que pueden influir en la experiencia y desempeño de los individuos.

Entre algunos puntos clave de la ergonomía ambiental se incluyen:

- **Iluminación:** Se enfoca en asegurar los niveles óptimos de iluminación y evitar deslumbramientos o sombras que lleguen a perjudicar la visión, mostrando una atención a la calidad de luz para reducir la fatiga visual.

**Tabla 3 NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS POR EL IES PARA DIFERENTES TAREAS**

<b>NIVELES DE ILUMINACIÓN RECOMENDADOS POR EL IES PARA DIFERENTES TAREAS</b>	
<b>SITUACIÓN Y TAREAS</b>	<b>NIVEL DE ILUMINACIÓN RECOMENDADO (LUX)</b>
<b>Montaje:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Visión fácil</b></li> <li>• <b>Visión al difícil</b></li> <li>• <b>Media</b></li> <li>• <b>Fina</b></li> <li>• <b>Extrafina</b></li> </ul>	<p>300</p> <p>500</p> <p>1000</p> <p>5000</p> <p>10000</p>
<b>Sala de máquinas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Producto bruto y trabajo de máquina</b></li> <li>• <b>Producto medio y trabajo de máquina</b></li> <li>• <b>Trabajo fino y trabajo de máquina</b></li> <li>• <b>Producto extrafino y trabajo de máquina.</b></li> </ul>	<p>500</p> <p>1000</p> <p>5000</p> <p>10000</p>

<b>Almacenes y deposito: inactivos</b>	50
<b>Oficinas:</b>	
• <b>Cartografía, diseño, dibujo en detalle</b>	2000
• <b>Contabilidad, clasificación de libros</b>	1500
• <b>Clasificación del correo</b>	1000
• <b>Pasillos, ascensores, escaleras.</b>	200
<b>Residencias:</b>	
• <b>Cocina, preparación de comida.</b>	1500
• <b>Leer, escribir</b>	700

*Nota.* Esta tabla presenta los niveles de iluminación en (lux) recomendado para las diversas situaciones o tareas de un individuo. Tomado de (Cortés, 2007).

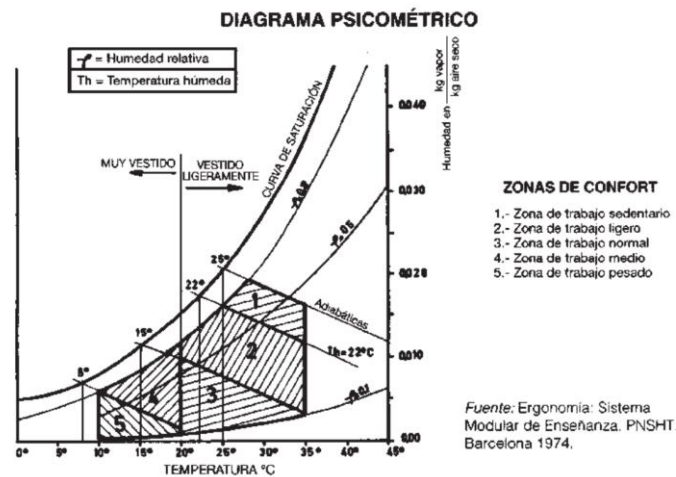
**Tabla 4 NIVELES DE ILUMINACIÓN EN LUX RECOMENDADOS EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS DETALLES**

NIVELES DE ILUMINACIÓN EN LUX RECOMENDADOS EN FUNCIÓN DEL TAMAÑO DE LOS DETALLES			
TAMAÑO DEL DETALLE	CONTRASTE		
	ELEVADO	MEDIO	BAJO
<b>MINÚSCULO &lt; 0,1 mm</b>	2500-3000	7000-10000	20000-30000
<b>PEQUEÑO &lt; 0,5 mm</b>	1000-1500	3000-4500	10000-15000
<b>MUY PEQUEÑO &lt; 1 mm</b>	500-700	1500-2000	5000-7000
<b>PEQUEÑO ≈ 1 mm</b>	200-300	700-1000	2000-3000
<b>MEDIO ≈ 2 mm</b>	100-150	300-500	1000-1500
<b>GRUESO ≈ 5 mm</b>	50-70	150-200	500-700

*Nota.* Esta tabla presenta los niveles de iluminación en (lux) recomendado para los detalles. Tomado de (Cortés, 2007).

- **Temperatura y humedad:** Se enfoca en mantener las condiciones térmicas y de humedad en los rangos óptimos para que se adapten a las preferencias y necesidades de los usuarios. Este aspecto llega a tener un gran impacto en el confort y la productividad.

**Figura 13** *Diagrama Psicométrico*



*Nota.* Esta figura presenta las zonas de temperatura confortables para distintos grados de humedad. Tomado de (CORTÉS, 2007).

- **Ventilación:** Se enfoca en otorgar un flujo de aire adecuado para evitar la acumulación de contaminantes en el entorno de trabajo, tiene el objetivo de contar con una buena calidad de aire para garantizar un ambiente saludable.
- **Acústica:** Considera la acústica del entorno, se centra en crear un ambiente tranquilo necesario para la concentración además en este se incluye la reducción del ruido.
- **Colores y diseño estético:** La elección de colores y diseño estético del entorno llega a tener un alto impacto en el estado de ánimo y la percepción de los usuarios,

por lo tanto, busca optimizar el entorno para crear espacios funcionales que contribuyan al bienestar de los usuarios.

### **4.3.3 Ergonomía Temporal**

La ergonomía temporal estudia la relación entre el individuo y su interacción con el tiempo en diversos contextos, como el laboral o el cotidiano. Se enfoca en mejorar la eficiencia, bienestar y productividad de los individuos mediante la consideración de factores temporales.

Algunos puntos clave de la ergonomía temporal son:

- **Organización del tiempo:** Abarca el cómo se organizan y distribuyen las tareas a lo largo del tiempo lo que conlleva a la planificación de actividades y la secuencia de tareas.
- **Horarios de trabajo:** Se enfoca en estudiar horarios laborales, turnos y duración de jornadas de trabajo, busca diseñar horarios que se ajusten a los ritmos del cuerpo humano promoviendo la atención durante horas de trabajo y apoyando al descanso adecuado.

## **4.4 Características de la estructura vehicular**

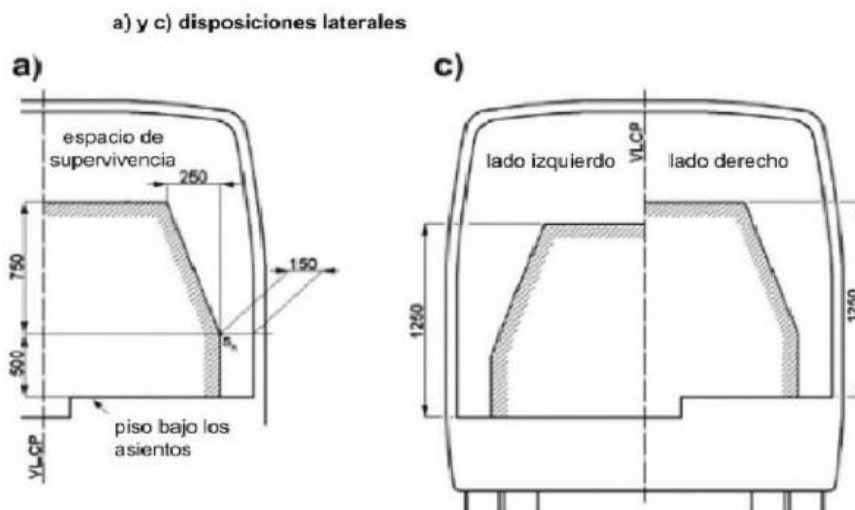
Para las características del vehículo, se ha tenido en cuenta lo establecido en la normativa RTE INEN 034, titulada "Elementos Mínimos de Seguridad en Vehículos Automotores", y la RTE INEN 043, titulada "Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial". Estas normativas especifican las características constructivas y de seguridad que deben cumplir los vehículos automotores. Al seguir las directrices establecidas en estas normativas, se garantiza que los vehículos cuenten con los elementos mínimos necesarios para la seguridad de los

pasajeros y para cumplir con los estándares requeridos para el transporte público de pasajeros.

#### 4.4.1. Dimensiones del espacio de supervivencia

El espacio de supervivencia se puede entender como el espacio dentro del vehículo destinada para los ocupantes, este espacio de supervivencia asegura el suficiente espacio y comodidad para los ocupantes, este concepto es necesario para el diseño de interiores de vehículos garantizando un espacio adecuado para las personas que viajen en él.

**Figura 14** *Espacio de supervivencia*



*Nota.* Esta figura presenta la altura del espacio de supervivencia. Tomado de (NTE INEN 1323:2009, 2009).

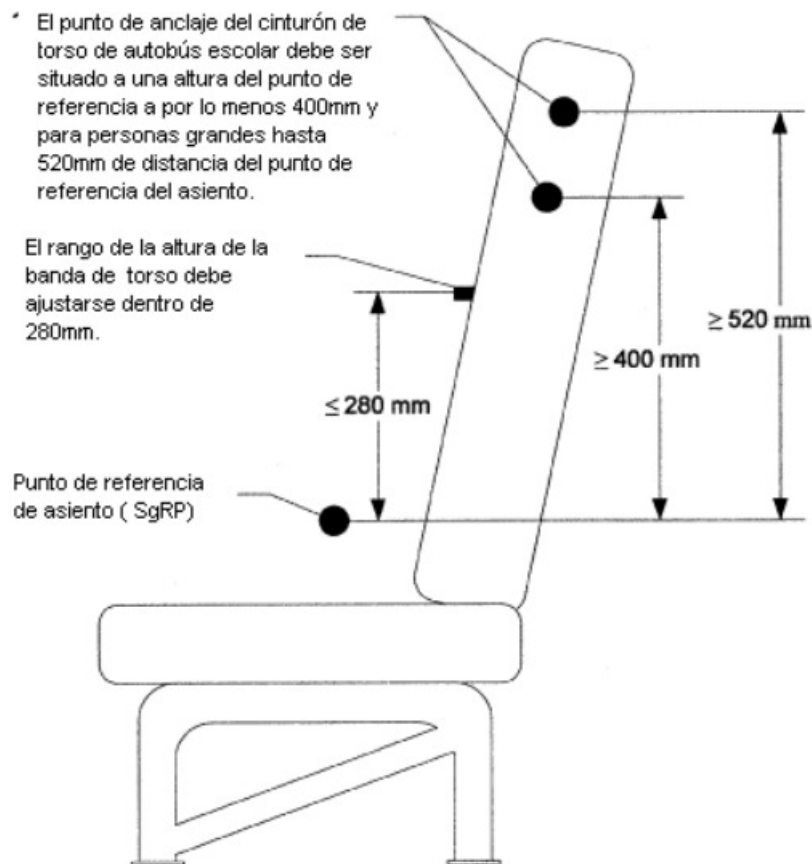
#### 4.4.2. Características del cinturón de seguridad

La normativa NTE INEN 2675, titulada "Cinturones de Seguridad: Requisitos e Inspección", también es relevante para el diseño de los cinturones de seguridad. Esta normativa define un cinturón de seguridad como un conjunto de cintas con una hebilla de seguridad que se puede anclar en el vehículo. Al considerar esta normativa, se asegura que los cinturones de seguridad cumplan con los requisitos necesarios para garantizar la

protección adecuada de los ocupantes del vehículo durante su uso. Esto contribuye a mejorar la seguridad en el transporte automotor, cumpliendo con los estándares establecidos para la protección de los pasajeros.

La normativa NTE INEN 2704, titulada "Vehículos Automotores: Anclajes del Cinturón de Seguridad para Vehículos", especifica los requisitos para los anclajes de los cinturones de seguridad. Esta normativa establece los estándares que deben cumplir los anclajes para garantizar la seguridad y efectividad de los cinturones de seguridad en los vehículos. Al seguir esta normativa, se asegura que los anclajes sean diseñados y fabricados de acuerdo con los criterios establecidos, contribuyendo así a mejorar la seguridad de los ocupantes del vehículo durante su uso.

**Figura 15** *Puntos de anclaje del cinturón de seguridad*





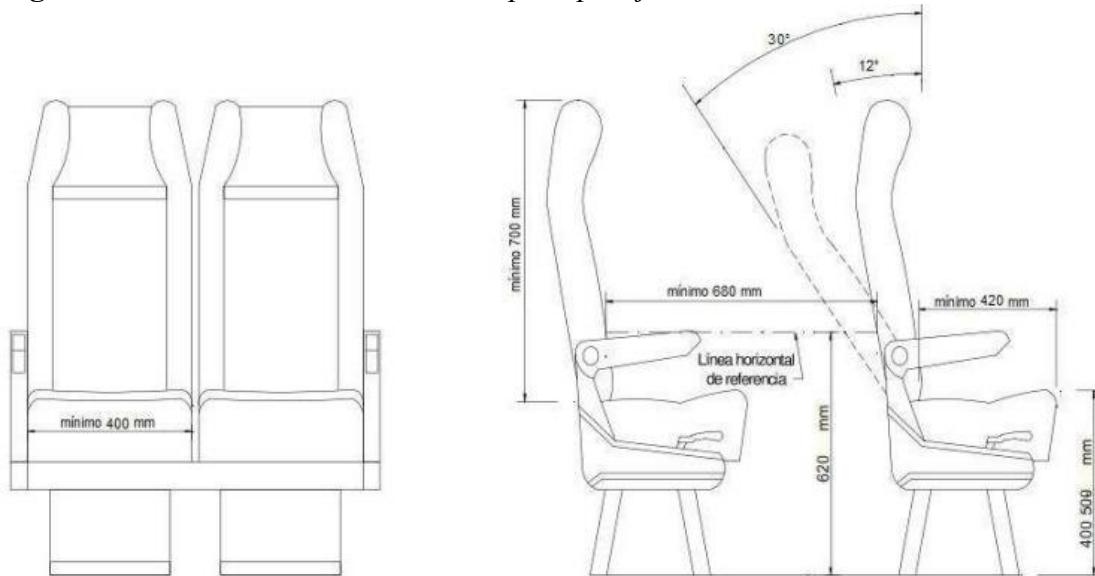
*Nota.* Esta figura presenta los diferentes puntos de anclaje del cinturón de seguridad del pasajero. Tomado de (NTE INEN 2704:2013, 2013).

La normativa NTE INEN 2708, titulada "Cinturones de Seguridad: Requisitos e Inspección", también es relevante para el diseño de los cinturones de seguridad. Esta normativa define un cinturón de seguridad como un conjunto de cintas con una hebilla de seguridad que se puede anclar en el vehículo. (NTE INEN 2708:2013, 2013).

Al considerar esta normativa, se asegura que los cinturones de seguridad cumplan con los requisitos necesarios para garantizar la protección adecuada de los ocupantes del vehículo durante su uso. Esto contribuye a mejorar la seguridad en el transporte automotor, cumpliendo con los estándares establecidos para la protección de los pasajeros.

La normativa NTE INEN 1668, titulada "Vehículos de Transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial: Requisitos", es otra referencia importante para el diseño de los asientos de vehículos. En esta normativa se detallan los requisitos relacionados con las dimensiones de los asientos, entre otros aspectos relevantes para garantizar la comodidad y seguridad de los pasajeros en los vehículos de transporte público. Al tomar en cuenta esta normativa, se asegura que los asientos cumplan con las dimensiones adecuadas para proporcionar un viaje cómodo y seguro a los pasajeros.

**Figura 16** Dimensiones de los asientos para pasajeros

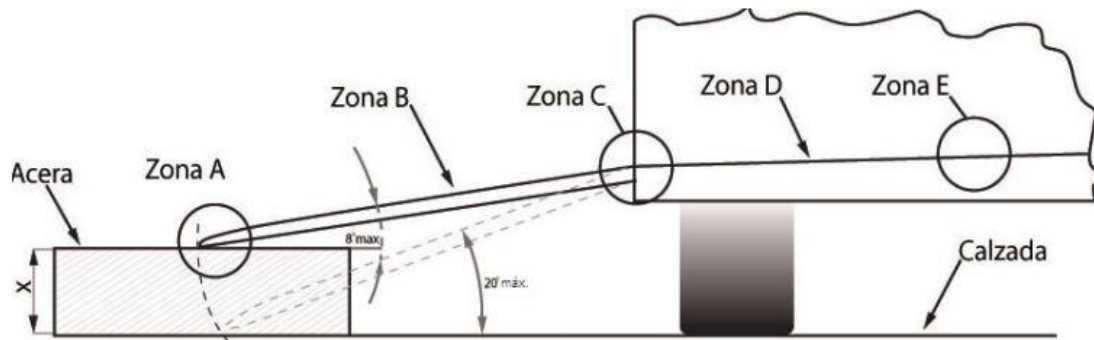


*Nota.* Esta figura presenta las dimensiones de los asientos para los pasajeros. Tomado de (NTE INEN 1668:2015, 2015).

La normativa NTE INEN 2853, titulada "Rampas para el Ingreso y Egreso de Personas con Movilidad Reducida a Vehículos para el Transporte Terrestre de Pasajeros", es necesaria para considerar en el diseño del piso del vehículo. Esta normativa establece los requisitos para la instalación de rampas que faciliten el acceso de personas con movilidad reducida a los vehículos de transporte terrestre de pasajeros. Al tomar en cuenta esta normativa, se garantiza que el diseño del piso del vehículo incluya las características necesarias para la instalación y operación efectiva de las rampas, proporcionando así un acceso seguro y cómodo para todos los pasajeros, independientemente de sus necesidades de movilidad.

#### 4.4.3 Características del piso del vehículo

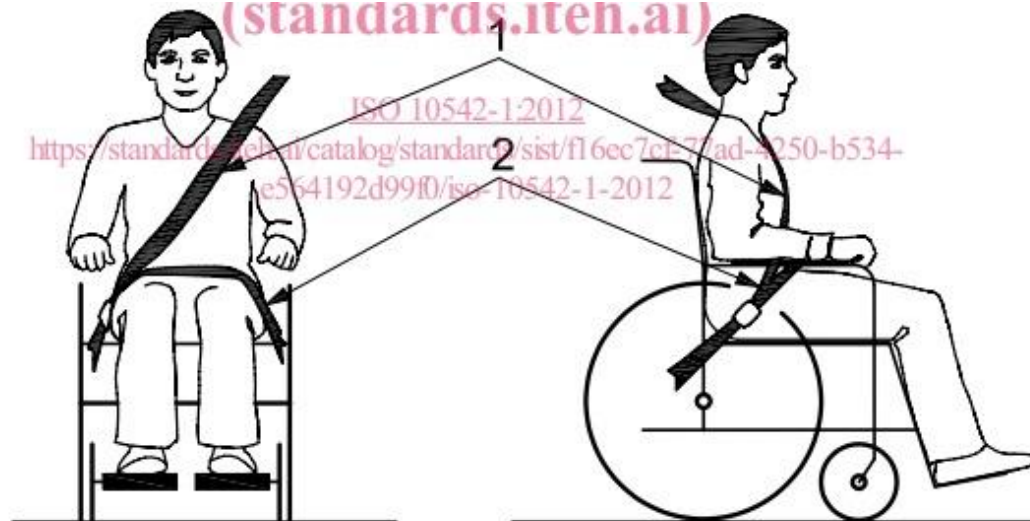
Figura 17 Zonas de pendientes para rampas



Nota. Esta figura presenta las distintas zonas que tiene la rampa para el ingreso hacia el vehículo. Tomado de (NTE INEN 2853:2014, 2014).

Para los anclajes de las sillas de ruedas, se ha tomado en cuenta lo especificado en la normativa ISO 10542, titulada "Sistemas técnicos y ayudas para personas discapacitadas o incapacitadas - Sistemas de amarre y sujeción de ocupantes para sillas de ruedas". Esta normativa establece los requisitos para los sistemas de amarre y sujeción de ocupantes que utilizan sillas de ruedas en vehículos. Al seguir los estándares definidos en la normativa ISO 10542, se garantiza la seguridad y estabilidad de las sillas de ruedas y sus ocupantes durante el transporte, asegurando así un acceso seguro y cómodo para las personas con discapacidad.

**Figura 18** Anclaje de seguridad de tres puntos para sillas de ruedas.



*Nota.* Esta figura presenta el anclaje para cinturones de seguridad de tres puntos para personas en silla de ruedas. Tomado de(ISO 10542-1:2012, 2012).

## **5. Capítulo II: DISEÑO DEL HABITÁCULO PARA UNA CARROCERÍA Y CHASIS PIXKIT**

En el segundo capítulo de la investigación, se examina el diseño del habitáculo de un vehículo, con atención a las necesidades de movilidad de las personas con discapacidad. El enfoque se centra en el desarrollo de un habitáculo accesible, ergonómico y que proporcione protección a los ocupantes.

### **5.1 Proceso de diseño**

#### **5.1.1 Generación de la idea**

En primer lugar, se definirán las características principales del vehículo, como su tipo, mercado y tecnología innovadora. Se trata de un automóvil eléctrico autónomo adaptado a las demandas de la sociedad y equipado con las últimas innovaciones tecnológicas.

### **5.1.2 Número de pasajeros y su distribución**

Una vez determinado el tipo de vehículo, se establecerán detalles básicos como la cantidad de pasajeros a transportar, su distribución en el interior del vehículo, así como el número de puertas y ruedas. El objetivo es facilitar la movilidad de personas con discapacidad, por lo que se ha decidido que el vehículo tenga 3 plazas: dos para personas y una para alguien que pueda ingresar con una silla de ruedas. Se busca diseñar un vehículo ergonómico que priorice la comodidad del usuario, por lo que se reducirá la capacidad del maletero y se maximizará la comodidad de los pasajeros, manteniendo 3 plazas.

Con la intención de crear un habitáculo más espacioso y ordenado, se seleccionará un sistema de apertura de puertas específico (aún por confirmar).

### **5.1.3 Bocetos del vehículo**

Una vez definida la idea, el siguiente paso será elaborar el boceto para definir el diseño del habitáculo. Se partirá de las medidas fijas de la carrocería y el chasis. Posteriormente, se determinarán todas las referencias posibles, incluyendo la distancia entre asientos, la postura de los ocupantes y la comodidad que se desea brindar a los pasajeros.(Dols, 2016)

### **5.1.4 Dimensiones de la carrocería y el chasis.**

En esta sección, se presentan las dimensiones precisas de la carrocería diseñada en el proyecto titulado "DISEÑO DE LA CARROCERIA PARA UN CHASIS AUTONOMO PIXKIT PARA LA MOVILIZACION DE PERSONAS CON PARAPLEJIA", así como las medidas exactas del chasis. Estas dimensiones fueron

obtenidas a través de un proceso de medición y desempeñan un papel fundamental en el proceso de diseño.

**Tabla 5 Dimensiones del chasis**

<b>Dimensiones</b>	<b>Medidas(mm)</b>
<b>Largo</b>	3255
<b>Ancho</b>	1705
<b>Alto</b>	1610

*Nota.* Esta tabla presenta las dimensiones principales del chasis. Tomado de (BUESTAN & MATUTE, 2023).

**Tabla 6 Dimensiones de la carrocería**

<b>Dimensiones</b>	<b>Medidas(mm)</b>
<b>Largo</b>	2980
<b>Ancho</b>	1420
<b>Alto</b>	1530

*Nota.* Esta tabla presenta las dimensiones principales del chasis. Tomado de Autores.

### **5.1.5 Medidas interiores**

Al enfrentar la planificación del habitáculo del vehículo, se torna crucial considerar las medidas internas que garanticen la comodidad y seguridad de los ocupantes. Este proceso implica no solo evaluar los ángulos de visión de los pasajeros, sino también aplicar principios ergonómicos para asegurar la accesibilidad fácil de los controles. Además, es importante tener presente las dimensiones del habitáculo, como la altura del piso al techo, el ancho del habitáculo y otros aspectos antropométricos

relevantes para asegurar un espacio interior adecuado. El análisis ergonómico del diseño del habitáculo se centra en la disposición del asiento y en el espacio destinado a los pasajeros, con el propósito de proporcionar un entorno cómodo y funcional.

Además, el diseño del habitáculo debe considerar aspectos como el ángulo del respaldo de los asientos, la ubicación del reposacabezas y la disposición de los sistemas de retención, para garantizar la seguridad y el confort de todos los ocupantes. (César & Christian, 2017)

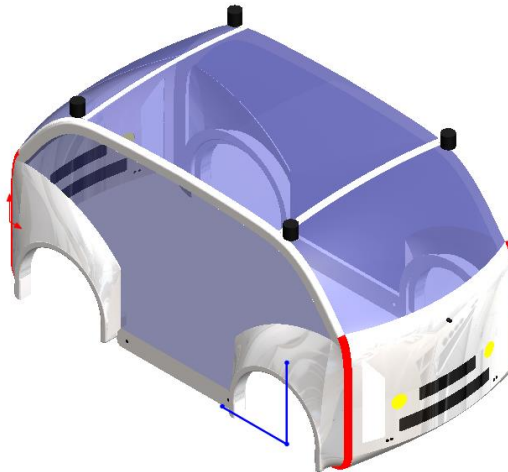
En este punto del proceso de diseño de los asientos para los pasajeros y sus anclajes, se hace referencia a la normativa NTE INEN 2708 como guía para garantizar que cumplan con los requisitos establecidos en dicha normativa. De manera similar, para los cinturones de seguridad, se asegura la conformidad con lo establecido en las normativas NTE INEN 2675 y NTE INEN 2704. Además, se busca mejorar el confort teniendo en cuenta aspectos como la altura desde el piso hasta la base del asiento, la reclinación del respaldo y otros puntos mencionados en la normativa NTE INEN 1668.

Estos elementos son fundamentales para crear un habitáculo interior que cumpla con los estándares de ergonomía y brinde una experiencia cómoda y segura a los usuarios.

### **5.1.6 Construcción del prototipo de la carrocería**

Antes de iniciar el proceso de diseño, con el objetivo de obtener medidas precisas de los componentes internos que el vehículo podría albergar en su habitáculo y realizar una simulación más realista, se decidió llevar a cabo la construcción de un prototipo de la carrocería para el vehículo autónomo PIXKIT. Para ello, se comenzó con un modelado 3D en un programa CAD, a partir del cual se extrajeron los planos necesarios para proceder con la construcción de la carrocería.

**Figura 19** *Prototipo de carrocería para el vehículo*



*Nota.* Esta figura representa el prototipo de carrocería para el vehículo. Tomado de (BUESTAN & MATUTE, 2023).

Para la elaboración del prototipo de la carrocería, se contempló la utilización de madera como material base. Se optó por utilizar melánica madera de 15 mm para la estructura principal, mientras que para las demás partes de la carrocería se seleccionó MDF de 3 mm, este último material se escogió por su notable maleabilidad y flexibilidad, lo que facilitaría el proceso de modelado y construcción del prototipo.

Para llevar a cabo la construcción, se optó por dos procesos de corte para la madera: corte CNC y corte láser. Estas técnicas fueron seleccionadas por su precisión y eficiencia en la producción de piezas con formas complejas y detalles minuciosos, garantizando así un acabado de alta calidad en el prototipo de la carrocería.

Para el corte láser, se realizó una investigación exhaustiva sobre diferentes patrones de corte con el objetivo de otorgar una mayor flexibilidad a la madera, permitiendo así que pudiera adoptar formas complejas sin riesgo de romperse. Tras evaluar varias opciones, se decidió utilizar el patrón de corte "cross". Esta elección se



basó en su capacidad para proporcionar la flexibilidad necesaria a la madera, asegurando un resultado final óptimo en la construcción del prototipo de la carrocería.

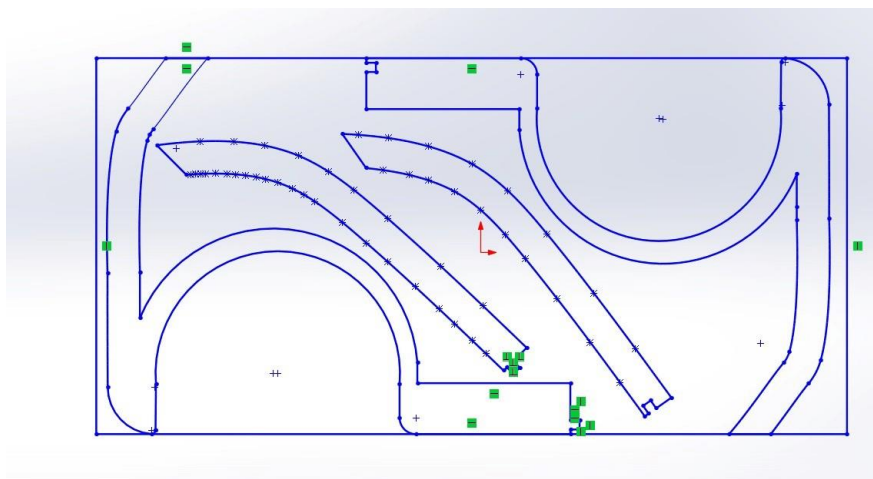
**Figura 20** Patrón de corte laser



*Nota.* Esta figura representa el patrón de corte laser tipo Cross. Tomado de (Porterfield, 2017).

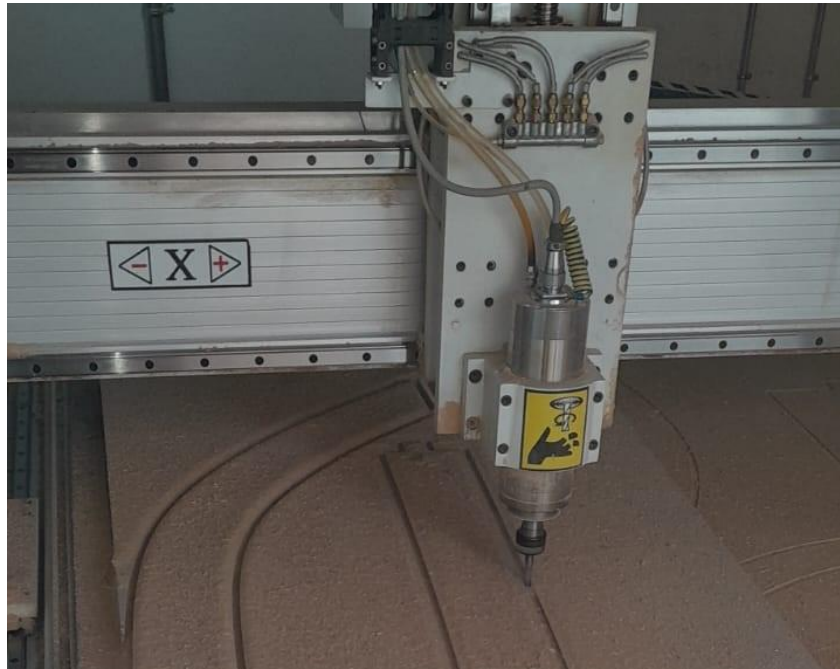
Para la estructura principal, únicamente se elaboraron los planos correspondientes, los cuales fueron enviados para que se llevara a cabo el corte en CNC. Este enfoque permitió garantizar la precisión requerida en la fabricación de las piezas, asegurando que se ajustaran perfectamente al diseño previsto para la carrocería del vehículo.

**Figura 21** Plano 2d de la carrocería



*Nota.* Esta figura representa los planos para el corte en CNC. Tomado de Autores.

**Figura 22** *Corte CNC*



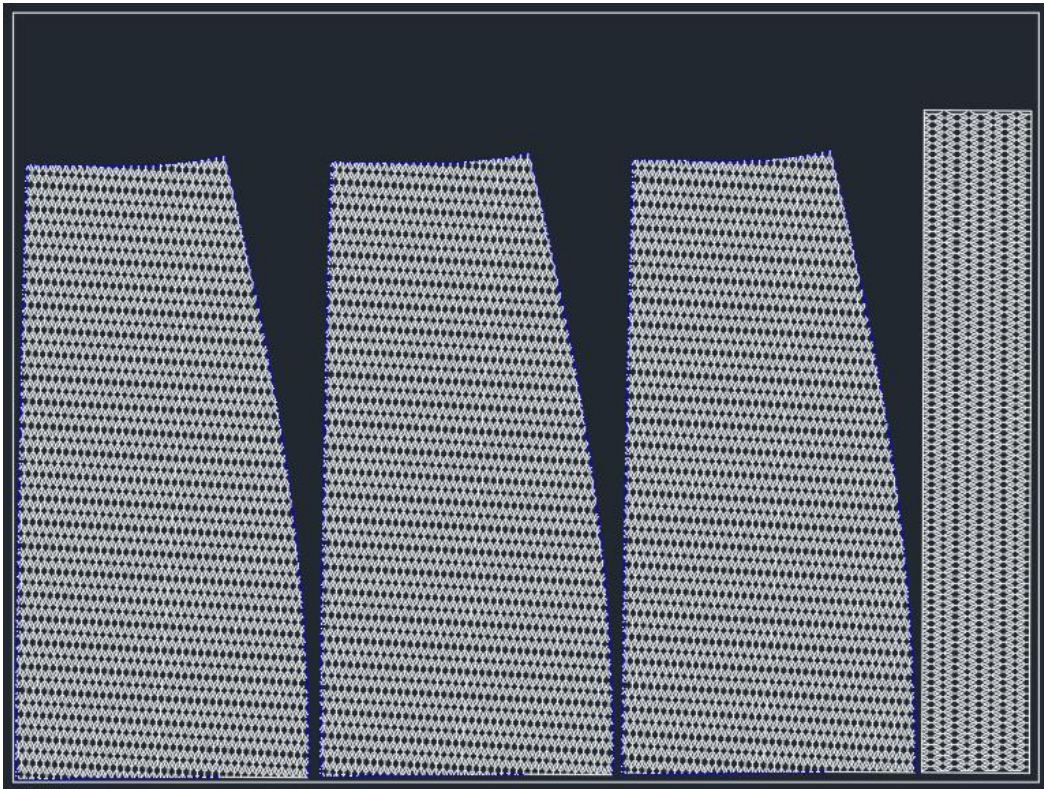
*Nota.* Esta figura representa el mecanizado de la estructura principal. Tomado de Autores.

#### **5.1.6.1 Planos para el mecanizado de piezas**

El proceso de corte de madera con láser empieza con la selección del material en este punto se debe de tener en consideración la textura, densidad y calidad del material, después en un programa CAD se realiza el diseño y el patrón de corte en la pieza teniendo en cuenta las medidas de las piezas y de la plancha del material de corte. Posterior a esto se programa la máquina de corte laser ajustando parámetros como velocidad y potencia de igual manera a la plancha del material seleccionado se la fija y alinea en la maquina asegurando estabilidad durante el corte para obtener cortes limpios.

Al momento cuando se termina el corte laser se procede a desmontar las piezas de la plancha con mucho cuidado sin dañar la estructura de las piezas, al mismo tiempo se verifica que el corte sea preciso y de alta calidad.

**Figura 23** *Diseño de la pieza en programa CAD*



*Nota.* Esta figura presenta el diseño de las piezas y el patrón de corte a realizar con la ayuda de un programa CAD. Tomado de Autores.

**Figura 24** *Maquina de corte*



*Nota.* Esta figura presenta a la máquina que realiza el corte por láser de las piezas. Tomado de Autores.

**Figura 25** *Mecanizado de la pieza*



*Nota.* Esta figura presenta el proceso de corte de la pieza. Tomado de Autores.

**Figura 26** *Piezas mecanizadas*



*Nota.* Esta figura presenta las piezas luego de ser desmontadas de la plancha. Tomado de Autores.

Una vez obtenidas las piezas cortadas, se procedió con el proceso de ensamblaje. Este proceso implicó un cuidadoso montaje de las piezas según los planos previamente diseñados. Se aplicaron técnicas de unión adecuadas para asegurar la estabilidad y resistencia estructural del prototipo de la carrocería. El ensamblaje se realizó meticulosamente, garantizando que cada componente se integrara correctamente para lograr la forma y funcionalidad deseada en el vehículo autónomo PIXKIT.

**Figura 27** *Carrocería ensamblada*



*Nota.* Esta figura presenta la carrocería ensamblada antes de ser montada en el chasis del vehículo. Tomado de Autores.

#### **5.1.6.2 Consideraciones de diseño**

Tras la fase de mecanizado y ensamblaje de las piezas que componen el prototipo del chasis del vehículo autónomo PIXKIT, se ha llevado a cabo una evaluación de las medidas durante el montaje del prototipo en la carrocería, durante este proceso se identificaron consideraciones específicas las cuales requieren ajusten en las medidas del

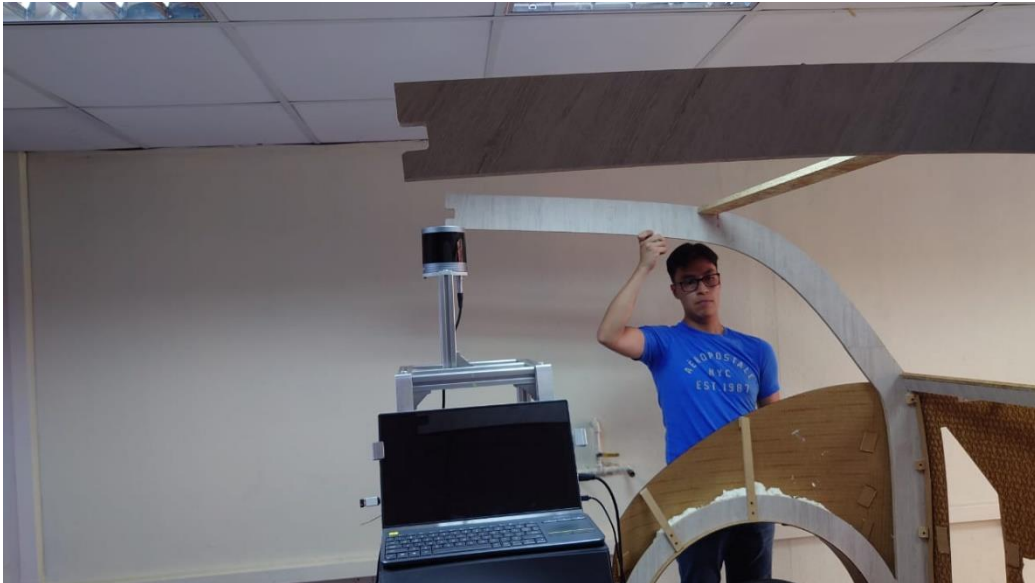
chasis en las cuales la más necesaria de cambiar es la altura esto con el objetivo de otorgar confort a los usuarios y seguridad a los elementos electrónicos del vehículo.

**Figura 28** Montaje frontal del prototipo del chasis



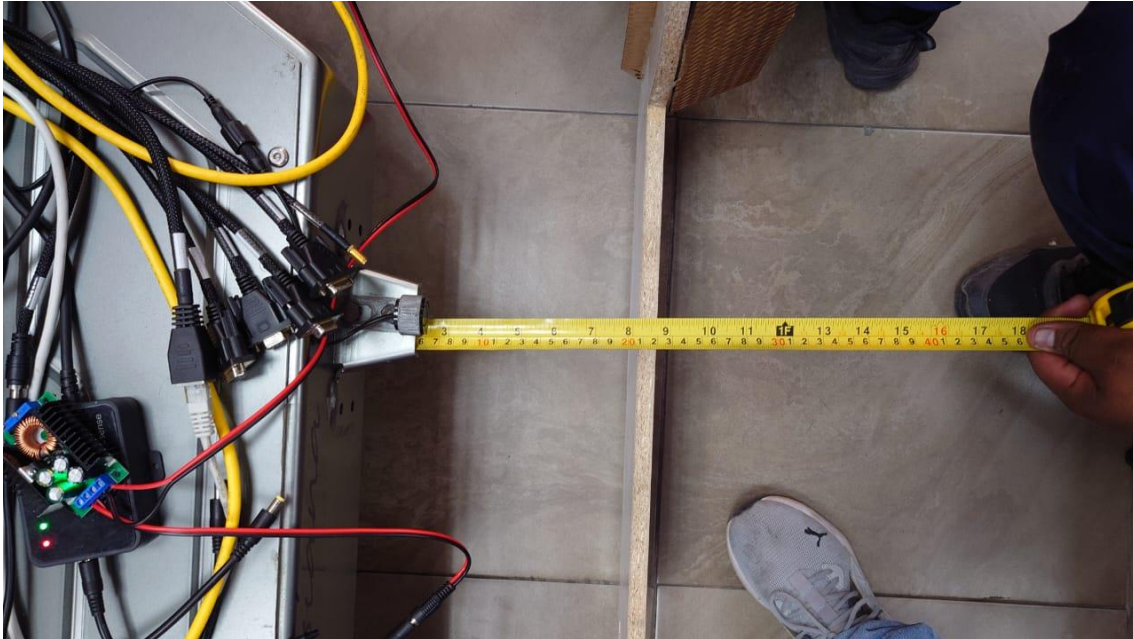
*Nota.* Esta figura presenta el montaje frontal del prototipo del chasis en el vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores.

**Figura 29** Vista lateral del montaje frontal del prototipo del chasis



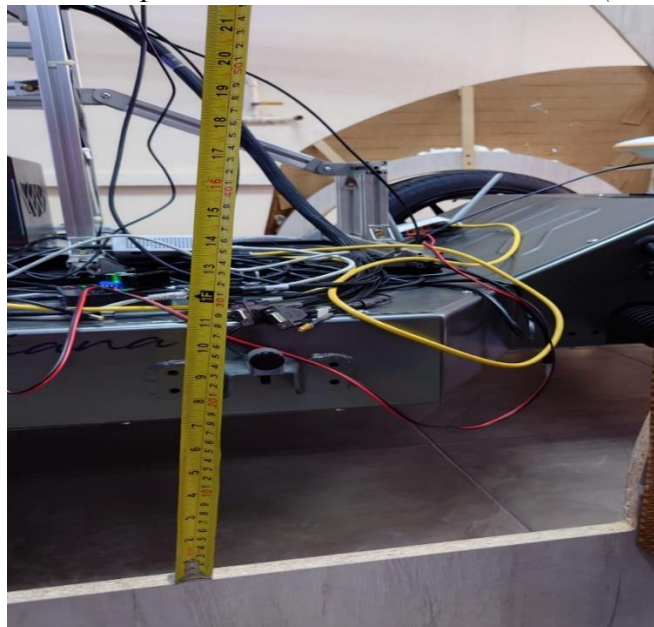
*Nota.* Esta figura presenta la vista lateral del montaje frontal del prototipo del chasis en el vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores.

**Figura 30** Toma de medidas para las consideraciones de diseño (soporte)



*Nota.* Esta figura presenta la toma de medidas para los futuros cambios en el prototipo del chasis en el vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores.

**Figura 31** Toma de medidas para las consideraciones de diseño (altura)

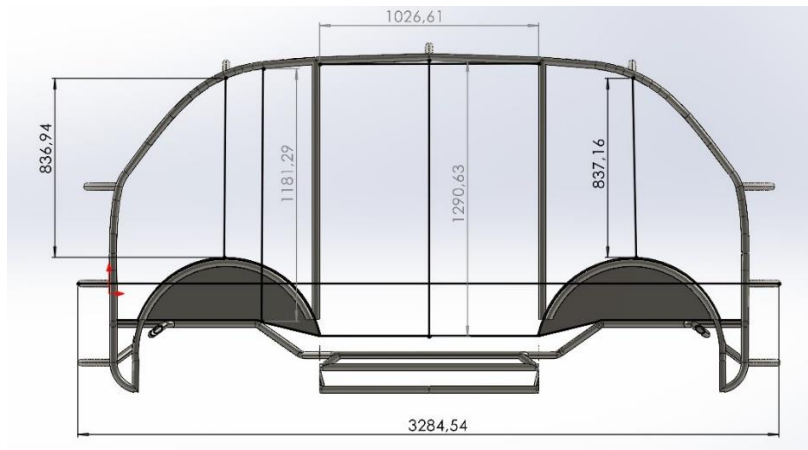


*Nota.* Esta figura presenta la toma de medidas en lo que respecta a la altura para los futuros cambios en el prototipo del chasis en el vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores.

### 5.1.6.3. Dimensiones interiores del habitáculo

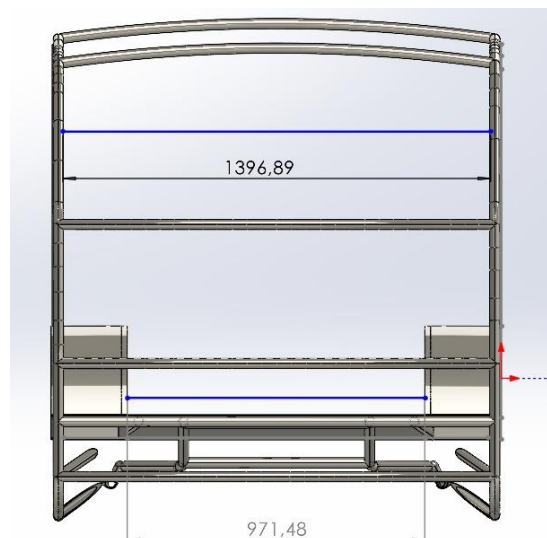
A continuación, se presentan imágenes con las dimensiones interiores necesarias a tener en cuenta para el diseño del habitáculo del vehículo. Estas dimensiones son de importancia para garantizar la comodidad, la seguridad y la funcionalidad del espacio interior del vehículo.

**Figura 32** *Vista lateral de las dimensiones interiores*



*Nota.* Esta figura presenta la vista lateral de las dimensiones interiores para el habitáculo del vehículo. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

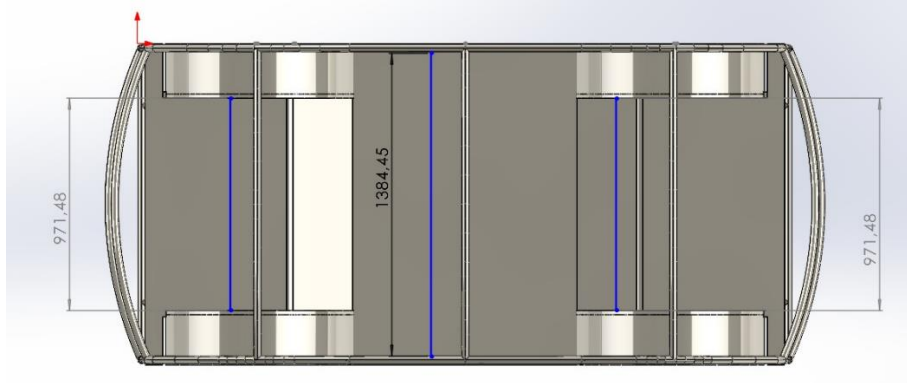
**Figura 33** *Vista frontal de las dimensiones interiores*



*Nota.* Esta figura presenta la vista frontal de las dimensiones interiores para el habitáculo del vehículo. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

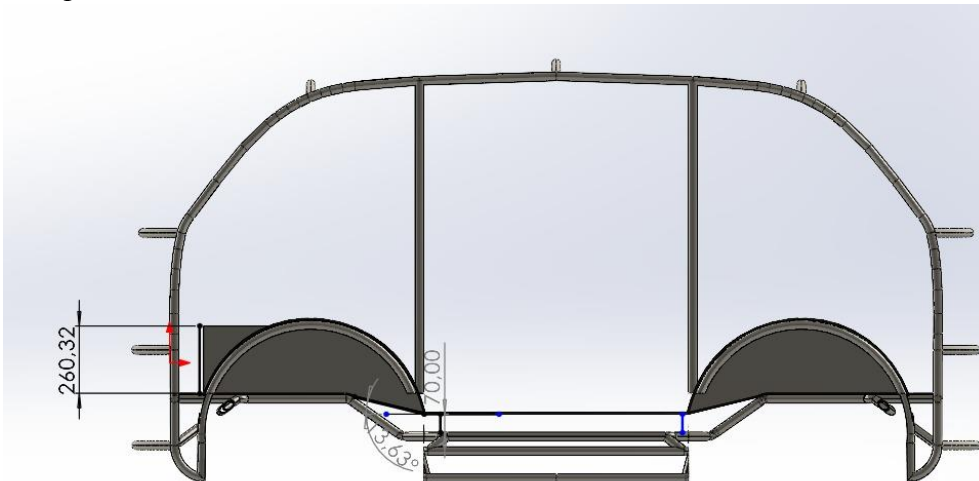


**Figura 34** Vista superior de las dimensiones interiores



*Nota.* Esta figura presenta la vista superior de las dimensiones interiores para el habitáculo del vehículo. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

**Figura 35** Dimensiones de la protección de componentes electrónicos y ángulo de la rampa del piso del vehículo



*Nota.* Esta figura presenta las dimensiones interiores de la protección de componentes electrónicos y la rampa del piso para el habitáculo del vehículo. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

## 5.1.7 Tipos de cinturones de seguridad y sistemas de anclaje en el transporte de personas con movilidad reducida

### 5.1.7.1 Definición de seguridad

Se define como la ausencia de riesgo. Al enfocarnos en el ámbito del transporte, se resalta la importancia de tener la seguridad presente en todos los medios, proyectándola con consideración hacia todos los usuarios. Es un derecho fundamental que todos compartimos: viajar en condiciones de seguridad óptimas, sin importar la movilidad o las necesidades específicas de cada individuo. Este enfoque garantiza un entorno seguro y accesible para todos los viajeros, consolidando así un estándar equitativo en la experiencia de transporte.

### 5.1.7.2 Cinturones de seguridad

La correcta ubicación del cinturón de seguridad es esencial para asegurar su eficacia y resguardo. Para lograr un ajuste adecuado, es necesario cumplir con ciertos requisitos.

**Figura 36** *Cinturones de seguridad*



*Nota.* Esta figura representa un cinturón de 3 puntos. Tomado de (Martínez, 2016).

Cinturón de seguridad de dos puntos. Este va sobre las caderas del ocupante. Aunque aún se utilizan en autobuses y aviones, es importante señalar que este tipo de

cinturones no es el más seguro, ya que en situaciones de colisión puede ocasionar la separación de la espina dorsal.(Piquer, 2020).

**Figura 37** Cinturón de seguridad de dos puntos



*Nota.* Esta Figura representan un cinturón de seguridad de 2 puntos. Tomado de (Martínez, 2016).

Cinturón de seguridad de tres puntos. Tiene un tercer punto de anclaje más que el de dos puntos, situado por encima de uno de los hombros del ocupante, evitando que la espalda del ocupante se separe del asiento. Es considerado el sistema de cinturón de seguridad más seguros y fácil de instalar.(Piquer, 2020).

**Figura 38** cinturón de seguridad de 3 puntos



*Nota.* Esta figura representa un cinturón de seguridad de 3 puntos. Tomado de (Martínez, 2016).

- **Elementos del cinturón de seguridad**

Pretensor: Ubicado en la columna vertical del auto. Ayuda a que el cinturón de seguridad se mantenga firme.

**Figura 39** Pretensor cinturón de seguridad



*Nota.* Esta figura representa un pretensor del cinturón de seguridad. Tomado de (Martínez, 2016).

Extensor: Tiene la función de aumentar la longitud de alcance del cinturón de seguridad.

**Figura 40** Extensor del cinturón de seguridad



*Nota.* Esta figura representa un extensor del cinturón de seguridad. Tomado de (Piquer, 2020).

Enganche: Acoplado con una pieza metaliza, va ubicado en el piso del vehículo, anclado por un extremo y n el otro se encuentra el enganche el cual se acopla con la hebilla.

**Figura 41** *Enganche del cinturón de seguridad*



*Nota.* Esta figura representa el enganche del cinturón de seguridad. Tomado de (Martínez, 2016).

Hebilla: Es un elemento que tiene la función de unir la correa del cinturón con el enganche.

**Figura 42** *Hebilla del cinturón de seguridad*

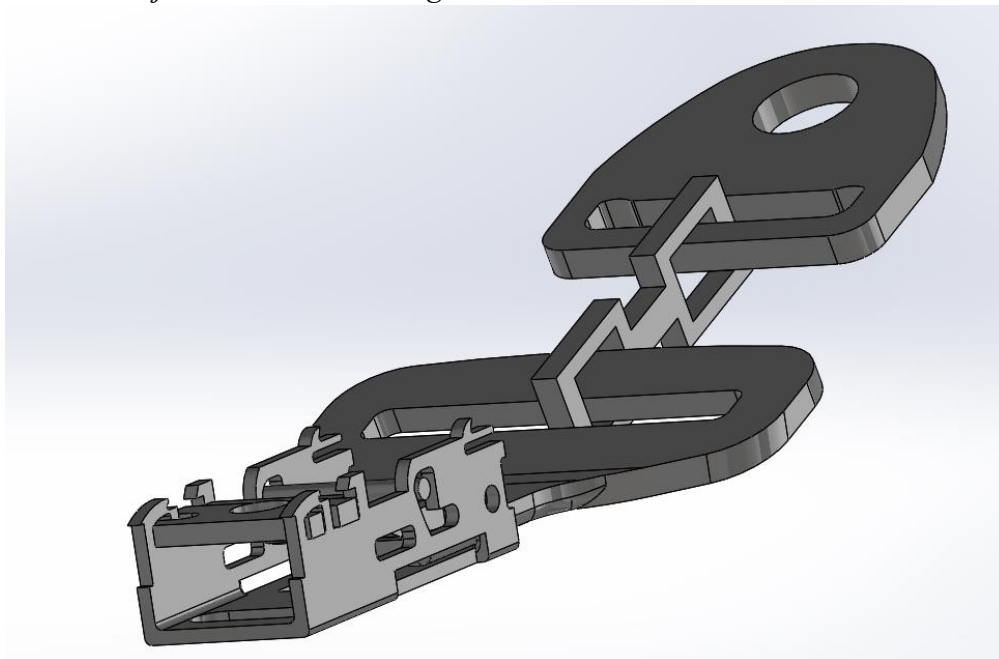


*Nota.* Esta figura representa una hebilla del cinturón de seguridad. Tomado de (Piquer, 2020).

Sistema de bloqueo por sensibilidad de cinta: Este sistema tiene la función de bloquear la correa del cinturón de seguridad cuando el ocupante se mueve de forma violenta hacia adelante.

El sistema de cinturones de seguridad seleccionado fue el de tres puntos, el cual se diseñó y se observa en la figura 14.

**Figura 43** Anclajes del cinturón de seguridad



*Nota.* Esta figura representa el sistema de anclajes del cinturón de seguridad de 3 puntos.

Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

### **5.1.7.3 sistemas de anclaje en el transporte de personas con movilidad reducida**

El desarrollo normativo vinculado al transporte de usuarios en sillas de ruedas es llevado a cabo por el comité técnico ISO TC173 "Sistemas Técnicos y Ayudas para Personas con Discapacidad", subcomité SC1 "Sillas de Ruedas", grupo de trabajo 6, WG-6 "Seguridad en el Transporte de Sillas de Ruedas". Este comité ha sido responsable de la elaboración de todas las normativas referentes a la seguridad en el transporte de personas discapacitadas en sillas de ruedas. Este enfoque meticuloso garantiza estándares rigurosos y específicos para asegurar la seguridad de aquellos que utilizan sillas de ruedas durante el transporte.

Se hace referencia a la normativa ISO 10542 (ISO, 2001a), la cual otorga especial atención a los requisitos de diseño, procedimientos de prueba y criterios específicos que deben ser considerados en el desempeño de los sistemas de retención de sillas de ruedas y sus ocupantes frente a impactos frontales. Este enfoque se centra en la situación considerada más desfavorable en condiciones de uso, especialmente en vehículos de tipo M1 o M2. Se define un pulso de deceleración equiparable a un impacto frontal contra una barrera fija a 50 km/h, estableciendo así estándares rigurosos para asegurar la seguridad en estas circunstancias.

- **Clasificación de los sistemas de anclaje**

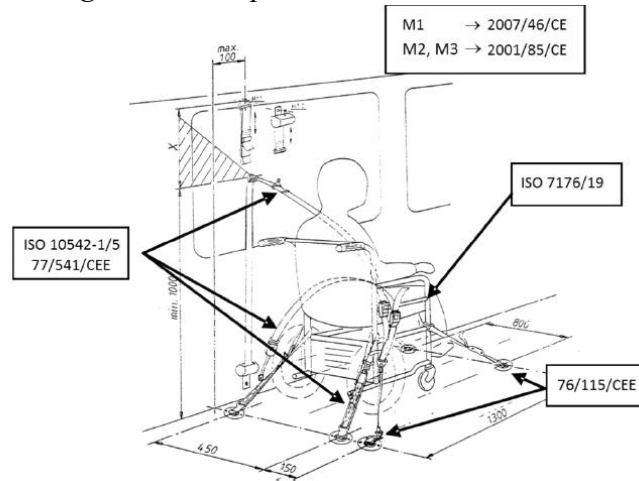
Se llevó a cabo un análisis del estado actual de las opciones de sujeción de sillas de ruedas al vehículo de transporte y a sus ocupantes. Este estudio implica la categorización de las diversas tipologías, siguiendo criterios específicos que facilitan la identificación del diseño más apropiado para cada tipo de vehículo, estableciendo así la configuración óptima en cada situación. Considerando estos factores clave, los sistemas de retención de la silla de ruedas y su ocupante pueden clasificarse de manera práctica en función del material utilizado en el sistema de seguridad, la cantidad de puntos de anclaje a la carrocería y a la silla de ruedas, el tipo de anclaje del sistema de retención a la silla de ruedas, así como la ubicación del anclaje del cinturón de seguridad del pasajero en la carrocería del vehículo.

A. Sistema de retención basado en cinturones de seguridad.

Se aborda una de las categorías más prevalentes en la actualidad como sistemas de retención versátiles para sillas de ruedas, destacándose por su uso universal que permite la adaptación a cualquier modelo de silla de ruedas. Estos sistemas constan de 4

cinturones de seguridad que aseguran la silla de ruedas desde cada uno de sus extremos fijando el otro extremo al piso del vehículo.

**Figura 44** Cinturón de seguridad de 4 puntos



*Nota.* Esta figura representa un cinturón de seguridad de 4 puntos para el anclaje de la silla de ruedas. Tomado de (Dols & Vázquez, 2016).

Ventajas:

Diseñados para adaptarse a distintos tamaños y estructuras de sillas de ruedas, ya sean manuales o eléctricas, entre otros. Demostrando capacidad para resistir las cargas generadas en un impacto a 48 km/h y 20 g contra una barrera rígida, siempre que se utilicen de manera adecuada. Ofrecen una notable estabilidad a la silla de ruedas tanto en condiciones normales de uso como en situaciones de emergencia, como frenazos bruscos o curvas cerradas. Son altamente versátiles y adecuados para su empleo en una amplia variedad de vehículos, ya sea de uso privado o público, incluyendo taxis (M1), transporte especializado puerta a puerta (M2), y sistemas de transporte público de pasajeros, tanto urbano como interurbano (M3).



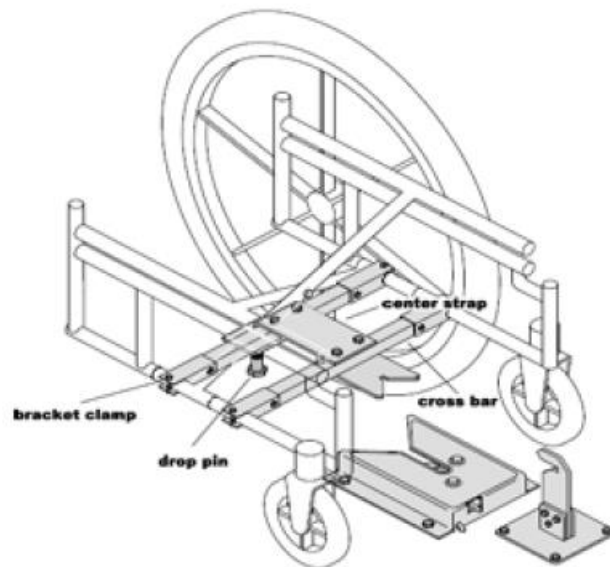
Desventajas: Se investigó la practicidad y la necesidad de tiempo para la sujeción, destacando la dependencia del usuario de la silla de ruedas de un acompañante para utilizar eficazmente el sistema de retención. Se identificaron dificultades en algunas estructuras de sillas de ruedas para encontrar puntos de sujeción apropiados, complicando el anclaje de cada cinturón. En el ámbito del transporte público, se observó una baja utilización de estos sistemas debido al tiempo consumido en su instalación y la requerida asistencia de un acompañante para el anclaje. La vulnerabilidad de los cinturones, susceptibles al robo, pérdida o daño, lleva en ocasiones a utilizar menos de los 4 puntos de anclaje recomendados en la silla de ruedas.

#### B. Sistema de retención basados en dispositivos de auto enclavamiento

El sistema de enclavamiento puede ser ejecutado tanto desde la parte inferior como desde la posterior de la silla, requiriendo la adaptación de la silla de ruedas a la tipología específica del sistema mediante la instalación de un interfaz que facilita el anclaje.

En situaciones donde el usuario conduce el vehículo desde la silla de ruedas, el sistema de auto enclavamiento se instala típicamente en la parte inferior de la silla. Por otro lado, cuando el pasajero viaja en un vehículo de transporte sin conducir, el sistema de auto enclavamiento suele fijarse en la parte posterior de la silla de ruedas, con la ayuda de una mampara o panel posterior.

**Figura 45** Sistema de Auto enclavamiento



*Nota.* Esta figura representa un sistema de auto enclavamiento para el anclaje de la silla de ruedas. Tomado de (Dols & Vázquez, 2016).

**Ventajas:** Se brinda la posibilidad al pasajero de la silla de ruedas de utilizar el sistema de manera autónoma, prescindiendo de asistencia externa. El tiempo necesario para accionar el dispositivo de anclaje/des anclaje es mínimo. Capacidad para resistir cargas generadas durante impactos a 48 km/h y 20g contra una barrera rígida, siempre que se utilicen de manera adecuada. Aportan una notable estabilidad a la silla de ruedas, tanto en situaciones normales como en casos de emergencia. Aptos para su utilización en una variedad de vehículos: de uso privado (M1), transporte especializado puerta a puerta (M2), y sistemas de transporte público de pasajeros, tanto urbanos como interurbanos (M3).

**Desventajas:** Diversos modelos de estructuras de sillas de ruedas requieren una adaptación del anclaje mediante el uso de un interfaz especial para sujetar la silla. La incorporación del interfaz puede resultar en un aumento del peso de la silla de ruedas. El

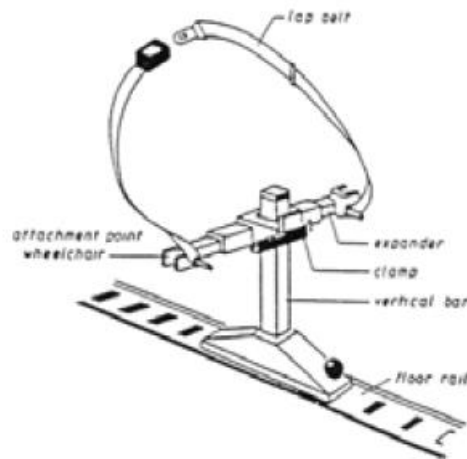
usuario de la silla de ruedas depende de un acompañante para utilizar el sistema de retención en caso de fallo eléctrico. Cuando se instalan en la parte inferior de la silla, hay poco espacio libre debajo, dificultando su desplazamiento en otras superficies. Al montarse en la parte posterior de la silla, el espacio total ocupado por el sistema de retención y la silla es mayor que en otras alternativas, requiriendo un espacio reservado más grande en el vehículo de transporte. Este sistema de retención es más costoso de adquirir y mantener en comparación con sistemas de cinturones de 4 puntos de anclaje a la silla.

### C. Sistemas de retención basados en barras rígidas

Este tipo de sistemas, antes prevalentes en Europa, ha experimentado un marcado declive en la actualidad, llegando incluso a caer en desuso. Estos sistemas se distinguen por su capacidad para asegurar la silla de ruedas desde la parte inferior de su estructura mediante un elemento rígido, como una garra, abrazadera o gancho ajustado con una rosca. Esta configuración obliga a la silla a adherirse al suelo del vehículo. En el extremo opuesto de la barra rígida, se ancla a una guía encastrada en el vehículo, permitiendo una fijación variable en el suelo, con la posibilidad de anclar la silla de ruedas en diversas posiciones de la barra encastrada. Normalmente, se utilizan dos barras para asegurar la silla, una en cada lado.

Sistema de barras rígidas

**Figura 46** Sistema de barras rígidas



*Nota.* Esta figura representa un sistema de barras rígidas para el anclaje de la silla de ruedas. Tomado de (Dols & Vázquez, 2016).

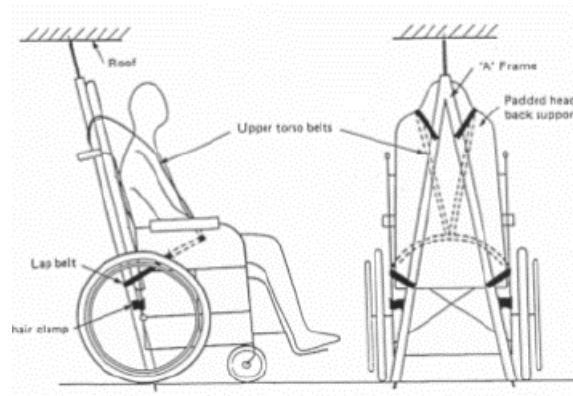
**Ventajas:** Adaptables a diversos diseños y estructuras de sillas de ruedas. Costo significativamente inferior en comparación con otros sistemas de retención de sillas de ruedas. Brindan estabilidad a la silla durante el uso cotidiano y en situaciones de emergencia (frenazos bruscos, curvas cerradas, etc.), aunque no en condiciones de impacto. Apropriados para su empleo en vehículos de transporte especializado (M2) o en vehículos privados de pasajeros de gran masa (M3).

**Desventajas:** Requieren cierto tiempo y habilidad por parte del acompañante para su instalación y sujeción. El usuario de la silla de ruedas depende de otro acompañante para utilizar el sistema de retención. No pueden soportar las cargas generadas durante un impacto a 48 km/h y 20g contra una barrera rígida, incluso cuando se utilizan correctamente. Su uso en vehículos de transporte público es limitado debido al tiempo consumido en la instalación y a la necesidad de la asistencia de un acompañante, que no puede ser el conductor del autobús.

#### D. Sistema de seguridad para el ocupante

Los sistemas de seguridad para los ocupantes de sillas de ruedas deben someterse a rigurosas pruebas de seguridad dinámica en situaciones de impacto. Entre las opciones más comunes en el mercado, destacan los cinturones de 2 o 3 puntos de anclaje, los cuales pueden conectarse al suelo del vehículo o a los cinturones traseros del sistema de retención de la silla de ruedas. Los sistemas de 3 puntos de anclaje son los preferidos, incorporando un cinturón pélvico con dos puntos de anclaje en el suelo del vehículo y un cinturón abdominal cuyo tercer punto se fija a la estructura lateral del vehículo. Es crucial garantizar la correcta sujeción del cinturón pélvico y abdominal al cuerpo del pasajero de la silla. Algunos modelos más recientes de cinturones han adoptado pretensores y retractores similares a los instalados en los asientos estándar de los vehículos convencionales. También se contempla la opción de utilizar cinturones de seguridad de 4 o 5 puntos.

**Figura 47** Cinturones de seguridad de 4 y 5 puntos



*Nota.* Esta figura representa un sistema de cinturones de seguridad para el anclaje de la silla de ruedas. Tomado de (Dols & Vázquez, 2016).

Ventajas: Capaces de resistir las fuerzas generadas durante un impacto a 48 km/h y 20g contra una barrera rígida, siempre que se utilicen correctamente. Ajustables para adaptarse a una amplia variedad de usuarios y sillas de ruedas. Utilizables en vehículos privados y públicos, como taxis (M1), transporte especializado (M2) y transporte público urbano e interurbano de pasajeros (M3). En ciertas configuraciones de transporte, como conducir desde la propia silla de ruedas, se pueden emplear los mismos cinturones de seguridad homologados originalmente para el vehículo.

Desventajas: Requieren tiempo para una correcta sujeción en el anclaje. El usuario de la silla de ruedas depende de otro acompañante para utilizar el sistema de seguridad.

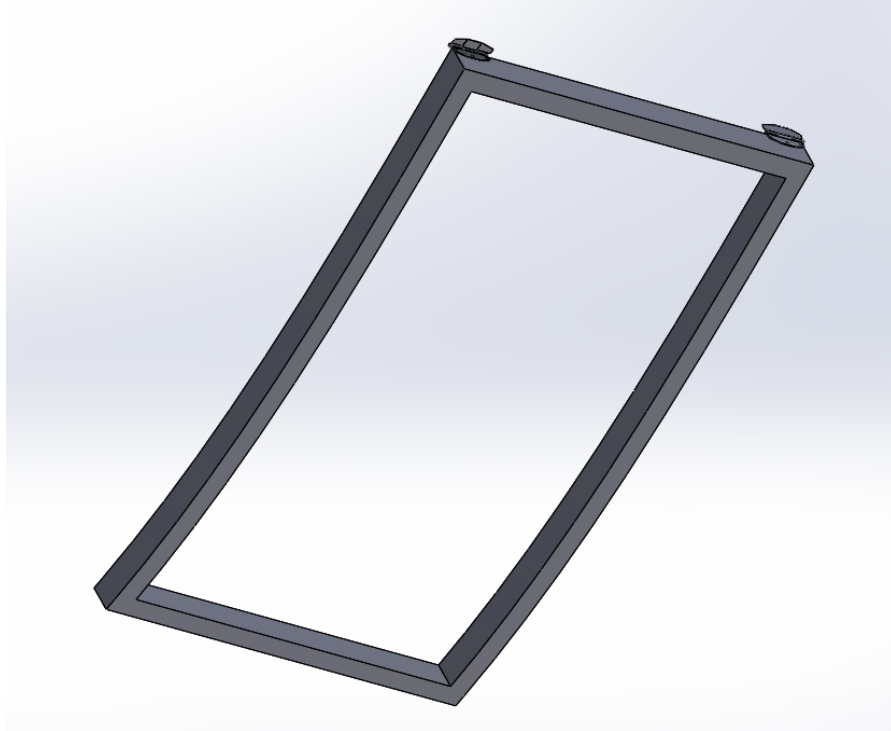
En algunos tipos de sillas de ruedas, la estructura puede interferir con el ajuste adecuado del sistema de seguridad del ocupante. En determinadas situaciones, el cinturón postural del usuario puede ser confundido con el cinturón de seguridad utilizado en el transporte.

#### **5.1.7.4. Sistema de Puertas**

Puertas tipo gaviota

Las puertas de ala de gaviota son reconocidas a nivel mundial. Aunque no son tan comunes, algunos vehículos como el Mercedes SLS y el Tesla Model X las adoptan. Su principal ventaja radica en que, al abrirse hacia arriba con un punto de sujeción en el techo, se gana considerable espacio en el interior del vehículo. A pesar de necesitar cierto espacio a los lados para abrirse, este espacio no suele ser excesivo, minimizando posibles inconvenientes.

**Figura 48** Puerta tipo gaviota

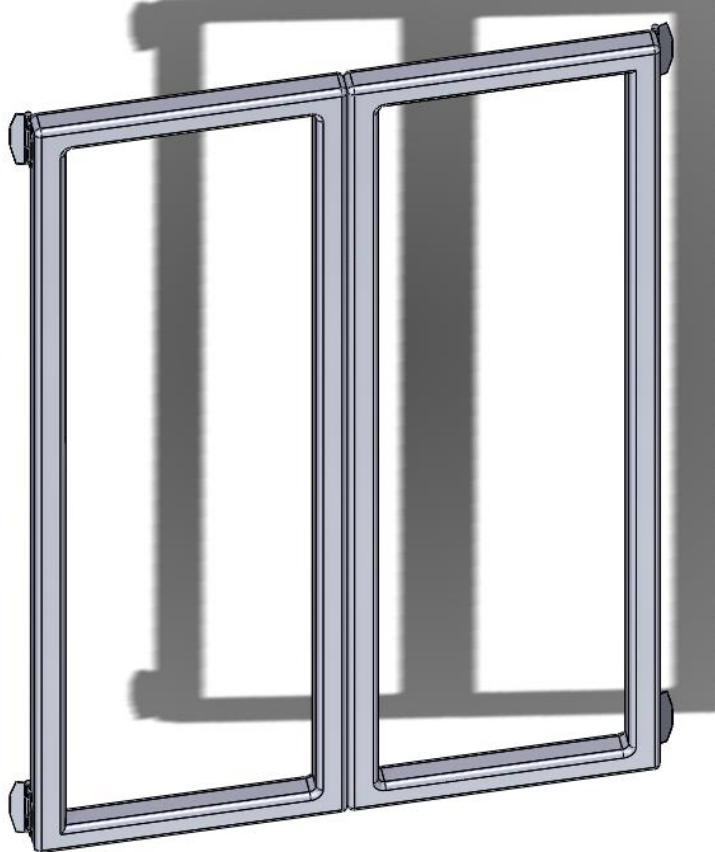


*Nota.* Esta figura representa la puerta tipo gaviota. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

#### Puertas corredizas

Las puertas correderas son tan frecuentes en los automóviles como en las viviendas. En muchos vehículos, especialmente en aquellos de uso industrial pequeños y medianos, como las furgonetas, se incorporan puertas traseras correderas para proporcionar un amplio espacio de carga o acceso, siendo especialmente útiles en monovolúmenes al no requerir apenas espacio entre el vehículo y una posible pared. Este sistema es simple: la puerta se desliza a lo largo de un carril en el lateral del coche para permitir el acceso.

**Figura 49** Puerta corrediza



*Nota.* Esta figura representa la puerta corrediza. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

#### **5.1.7.5. Asientos del Vehículo**

Según el reglamento técnico ecuatoriano RTE INEN 043 el asiento es una estructura que puede anclarse a la carrocería del vehículo, que incluye la tapicería y los elementos de fijación, destinados a ser utilizados en un vehículo y diseñado ergonómicamente para la comodidad del pasajero (RTE INEN 043:2015, 2015).

Asiento compacto: Diseñado meticulosamente para aprovechar al máximo el espacio en el habitáculo del vehículo, este tipo de asientos coloca la comodidad del conductor en segundo plano, priorizando la optimización del espacio en la cabina.



**Asiento deportivo:** Con contornos inferiores que se adaptan al conductor, respaldo alto con reposacabezas y zonas acolchadas estratégicamente ubicadas en los lados del asiento y respaldo, este asiento garantiza que el conductor mantenga una posición de conducción óptima.

### **Componentes del asiento:**

**Apoya cabezas:** Un componente esencial diseñado para reducir el movimiento hacia atrás y mitigar el riesgo de lesiones en el cuello.

**Espaldar:** Responsable de proporcionar un soporte firme a la espalda del conductor.

**Banqueta:** Encargada de sostener prácticamente todo el peso del pasajero, brindando comodidad sin compromisos.

**Mecanismo de inclinación:** Permite ajustar la inclinación del respaldo, adaptándose a las preferencias individuales del usuario.

**Mecanismo de elevación:** Facilita la regulación de la altura del asiento de acuerdo con la estatura del usuario.

**Mecanismo de desplazamiento horizontal:** Posibilita desplazar el asiento horizontalmente, permitiendo ajustar la distancia entre el asiento y el volante de manera personalizada.

**Anclaje:** La parte crucial que une el asiento de manera segura a la carrocería del autobús, garantizando estabilidad y seguridad durante el trayecto.

Con base a lo antes mencionado y siguiendo lo mencionado en la normativa RTE INEN 043 se realizó el diseño visualizado en la Figura 22.

**Figura 50** *Asientos del vehículo*

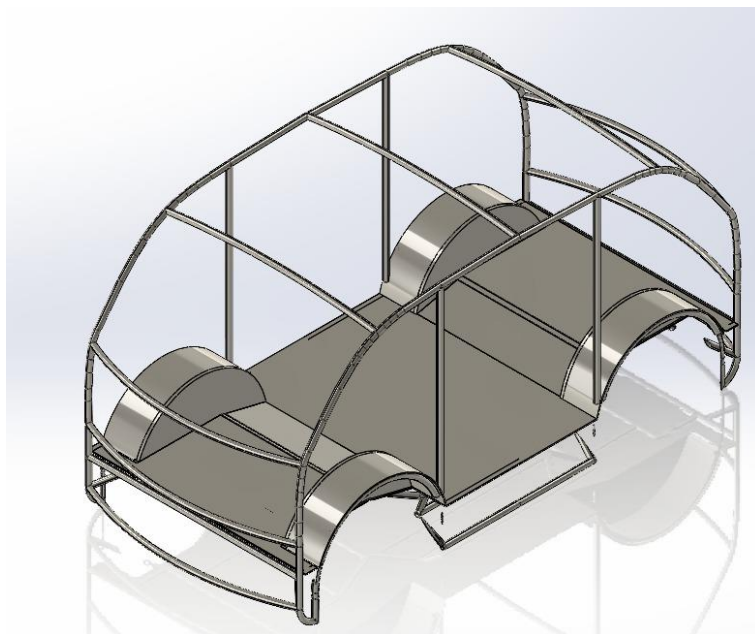


*Nota.* Esta figura representa Los asientos del vehículo. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

#### **5.1.7.6. Piso del vehículo**

El suelo de los autobuses, por lo general, hace referencia a la superficie interior del vehículo, destinada para que los pasajeros caminen y se sienten. En la mayoría de los casos, se eleva para posibilitar la instalación de sistemas mecánicos, como el motor y la transmisión, debajo de la plataforma principal. El diseño del suelo puede variar según el tipo de autobús, ya sea con suelos nivelados en buses urbanos o suelos más altos en autobuses de dos pisos. El material utilizado para el revestimiento del suelo suele ser robusto y fácil de limpiar, garantizando la higiene y la seguridad a bordo.

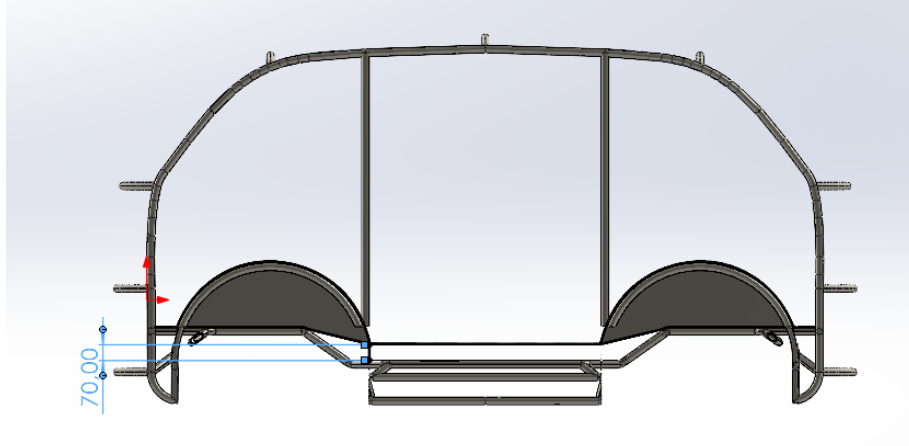
**Figura 51** *Suelo del vehículo*



*Nota.* Esta figura representa el piso del vehículo. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

La normativa técnica ecuatoriana NTE INEN 2853, titulada "Rampas para el ingreso y egreso de personas con movilidad reducida a vehículos para el transporte terrestre de pasajeros", establece de manera precisa los requisitos para la instalación, mantenimiento y utilización de las rampas destinadas al acceso asistido de personas con movilidad reducida, especialmente aquellas que utilizan sillas de ruedas, a los vehículos de transporte terrestre de pasajeros. La norma comienza definiendo la rampa como un dispositivo conformado por un plano inclinado, diseñado para conectar el piso del compartimiento de pasajeros del vehículo con la acera o la calzada. Este plano inclinado presenta una pendiente adecuada, asegurando la comodidad en su uso para todas las personas, en particular para aquellas con movilidad reducida.

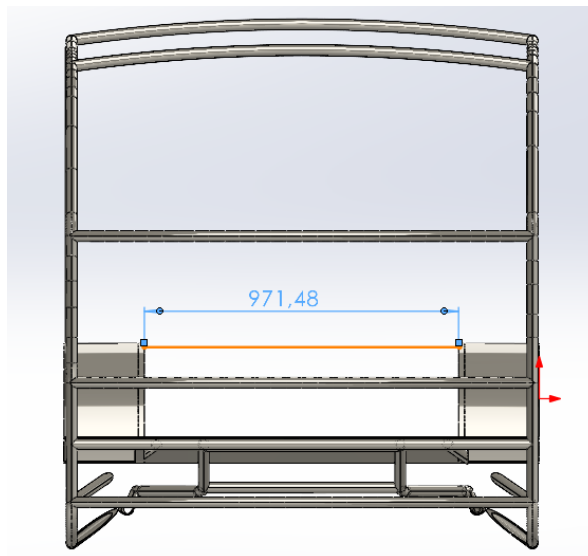
**Figura 52** *Piso del vehículo*



*Nota.* Esta figura representa la medida prevista para la instalación de la rampa en el vehículo autónomo. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

En la figura 52 se puede apreciar que del chasis al piso del vehículo hay una apertura de 7 cm, la cual está diseñada para que en ese lugar se coloque un sistema de rampas para facilitar el ingreso al vehículo a personas con discapacidad.

**Figura 53** *Espacio previsto para la colocación de una caja de protección para componentes electrónicos*



*Nota.* Esta figura representa la medida prevista para la colocación de una caja de protección para componentes electrónicos. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

## 5.2 Disposición de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT

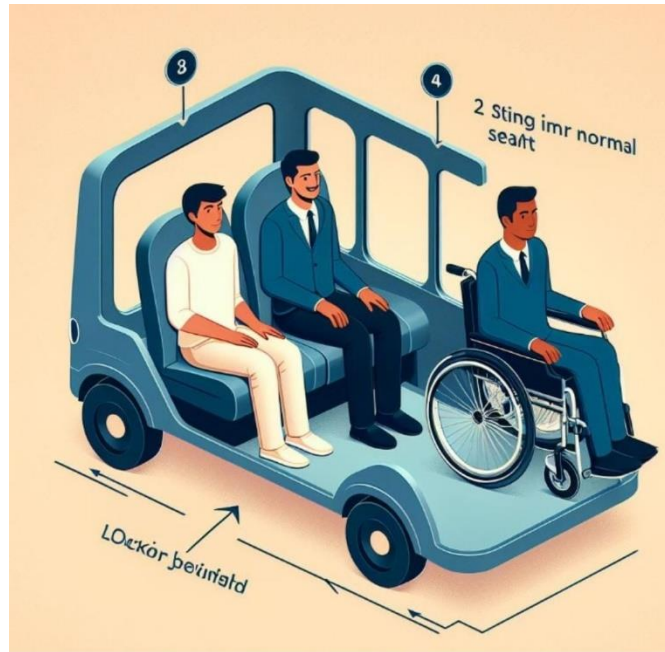
Para obtener una idea de la disposición de los elementos en el interior del habitáculo, se empleó la asistencia de la inteligencia artificial. Con esta colaboración, se definió la ubicación de los componentes. Una vez establecida la idea, se consideraron los elementos diseñados, y a continuación se muestra su disposición dentro del vehículo, ofreciendo así una representación de cómo se organizarían en el habitáculo.

**Figura 54** *Concepto número uno de la disposición de los elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT*



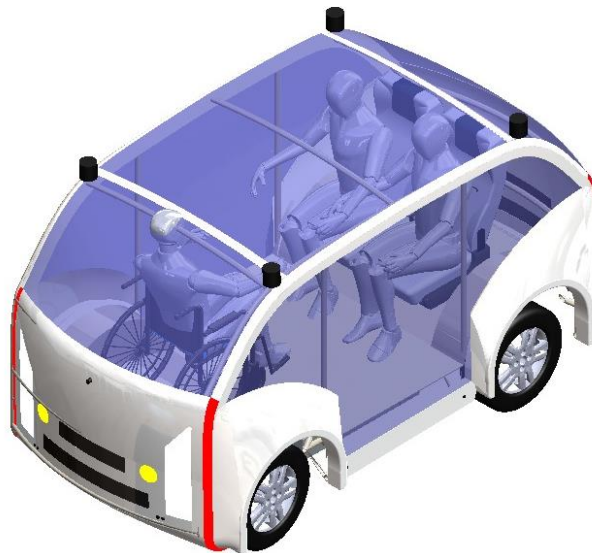
*Nota.* Esta figura presenta un concepto de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores, generado por IA.

**Figura 55** Concepto número dos de la disposición de los elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT



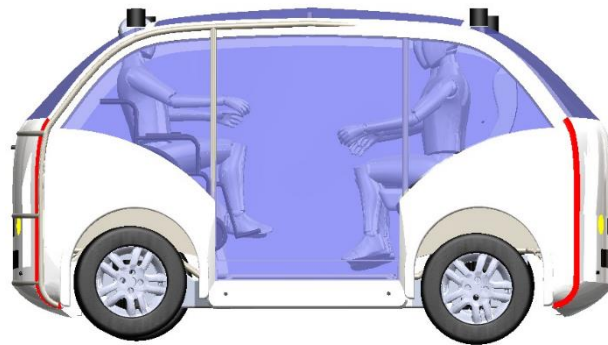
*Nota.* Esta figura presenta un segundo concepto de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores, generado por IA.

**Figura 56** Disposición número uno de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT



*Nota.* Esta figura presenta la disposición de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

**Figura 57** Vista isométrica de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT



*Nota.* Esta figura presenta una vista isométrica disposición de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

Una vez realizada la distribución dentro del habitáculo del vehículo, se observó que ciertas partes del cuerpo de los ocupantes interferían con la carrocería. Por este motivo, se recomienda aumentar la altura de toda la estructura con el fin de precautelar el confort y la seguridad de los ocupantes dentro del vehículo, para ello se tomara en cuenta los resultados obtenidos en el análisis de la estructura en el capítulo III.

## **6. Capítulo III: ANALISIS DE LA ESTRUCTURA POR MEDIO DE ELEMENTOS FINITOS**

En este capítulo se llevará a cabo la evaluación de las cargas que se aplicaran sobre el vehículo con el propósito de obtener valores que permitan validar y examinar el comportamiento de la estructura propuesta. Para ello, se utilizarán simulaciones mediante el Método de Elementos Finitos (FEM), lo que es un método computarizado especializado que permite simular el comportamiento de una pieza mecánica ante diferentes influencias físicas, tales como vibraciones, temperaturas, flujo de fluidos y otras interacciones.

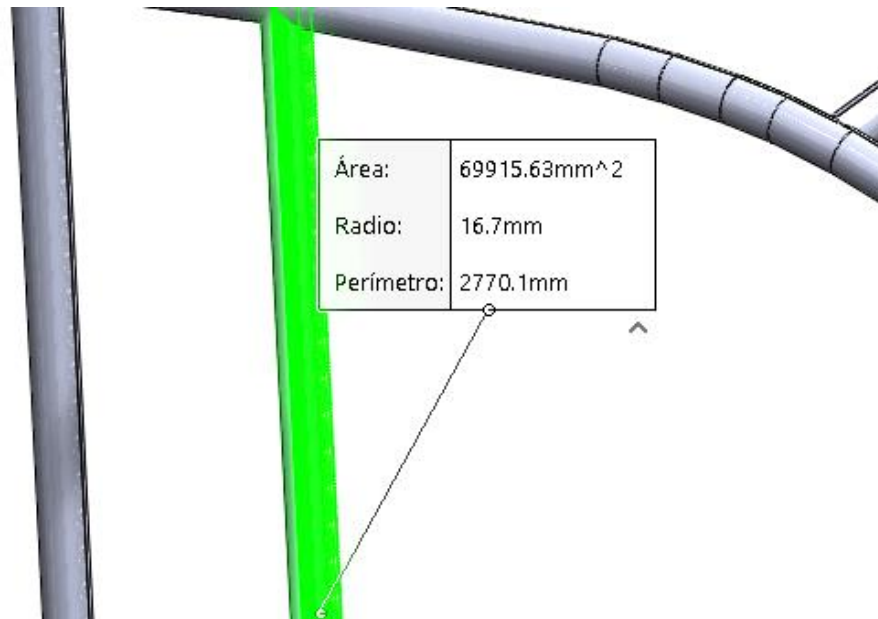
Para la elaboración del modelo de la estructura se utilizó el software SolidWorks con las medidas reales del PIXKIT lo que permite que el ensayo virtual del modelo ofrezca confiabilidad en los resultados a obtener. Los elementos estructurales de la carrocería del modelo son de perfiles.

Este método proporcionara una comprensión más detallada y profunda de las fuerzas y cargas a las que se encuentra sometida la estructura durante su operación habitual. De igual manera, posibilitara analizar el comportamiento en que la estructura reacciona ante las cargas y comprobar si cumple con los estándares requeridos en cuanto a seguridad y rendimiento.

### 6.1 Dimensiones de la estructura tubular

En esta sección se detallan las características dimensionales y geométricas de la estructura tubular diseñada a través de un CAD. El radio de los tubos se ha fijado en 16,7 mm, la altura total de la estructura se ha establecido en 1638,76 mm y el ancho total de la estructura se estableció en 1458,4 mm.

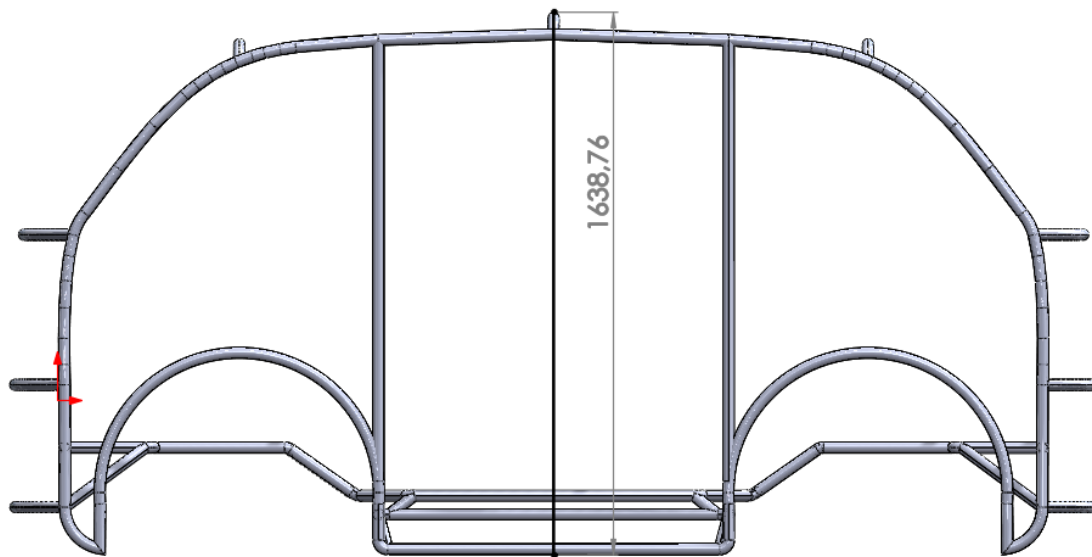
**Figura 58** Diámetro de los tubos de la estructura tubular



*Nota.* Esta figura presenta el radio de los tubos de la estructura tubular. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

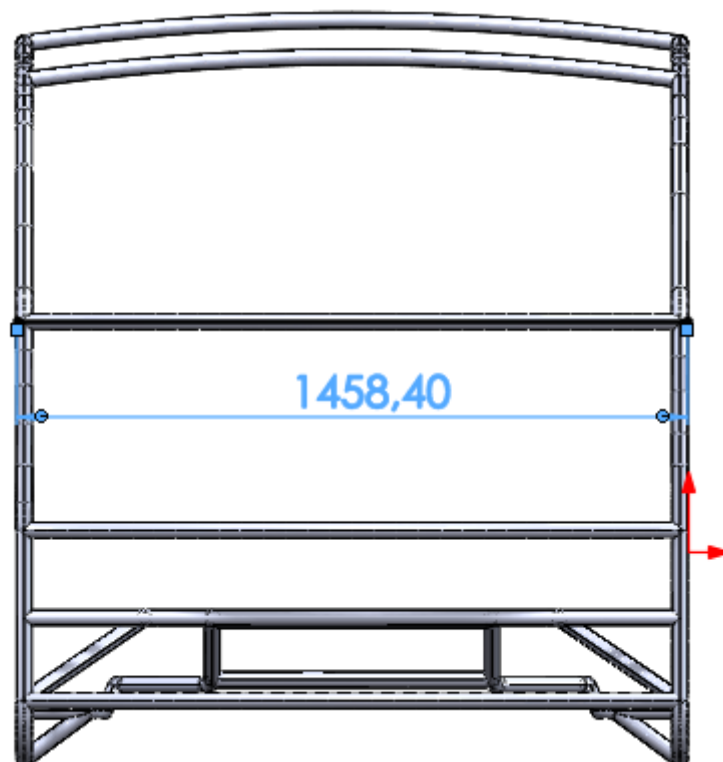


**Figura 59** *Alto total de la estructura tubular*



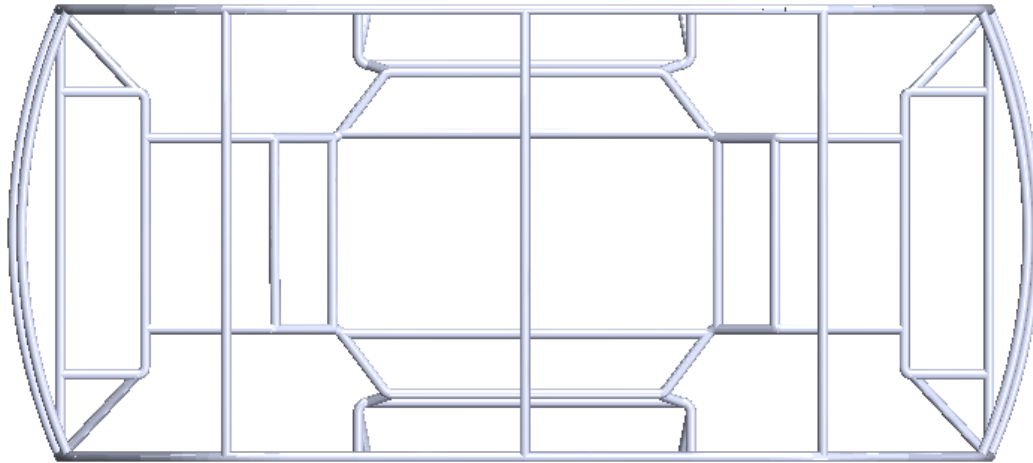
*Nota.* Esta figura presenta la altura total de la estructura tubular. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

**Figura 60** *Ancho total de la estructura tubular*



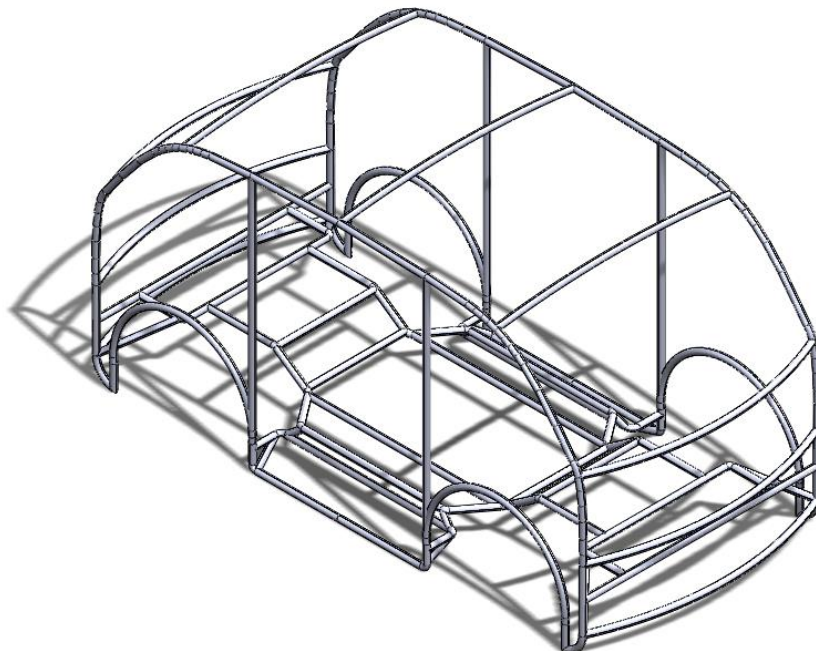
*Nota.* Esta figura presenta el ancho total de la estructura tubular. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

**Figura 61** *Vista superior de la estructura tubular*



*Nota.* Esta figura presenta la vista superior de la estructura tubular. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

**Figura 62** *Vista isométrica de la estructura tubular*

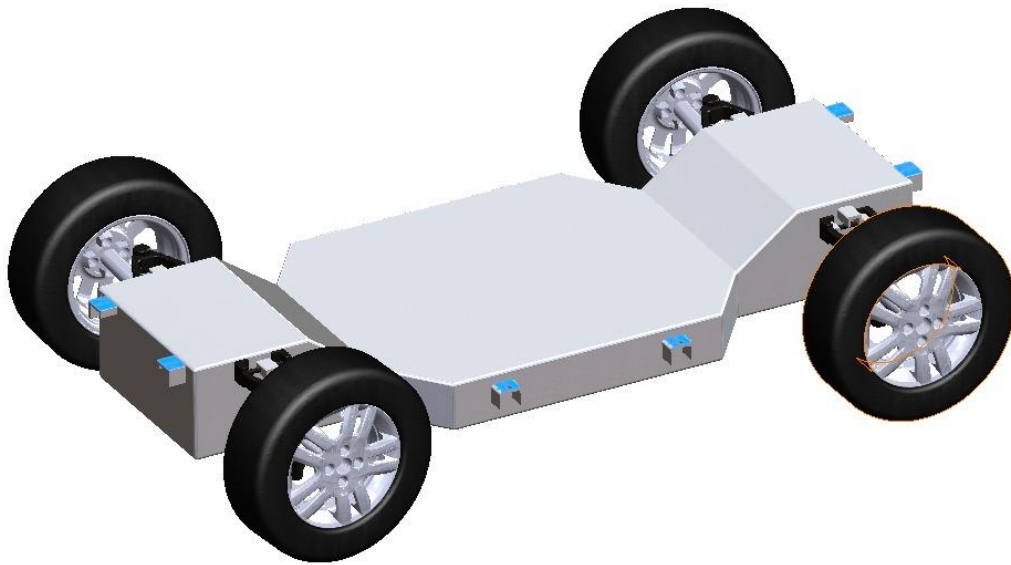


*Nota.* Esta figura presenta la vista isométrica de la estructura tubular. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

### 6.1.1 Puntos de acople de la carrocería al chasis

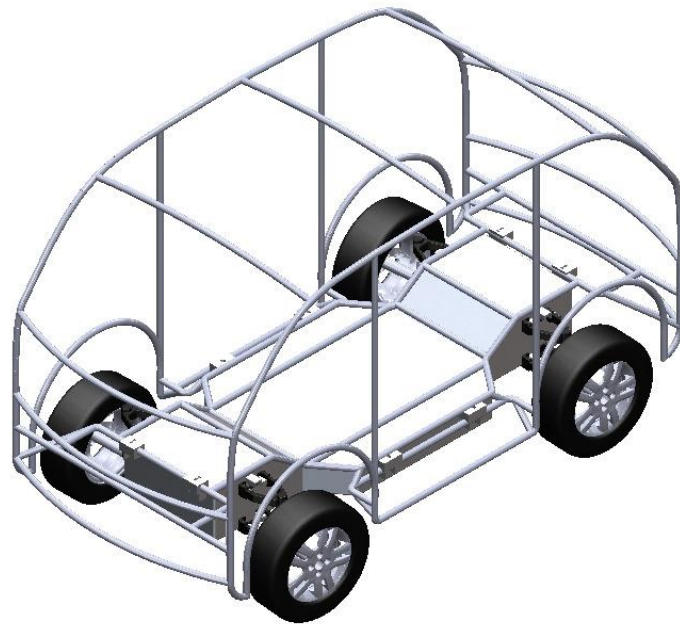
Para determinar la ubicación de los puntos de anclaje, se llevó a cabo un análisis del chasis, el cual contaba con puntos de apoyo específicos que podrían utilizarse para fijarlos a la carrocería. Esta fijación se realizaría mediante pernos y tuercas, totalizando 8 puntos de anclaje.

**Figura 63** *Puntos de acople en el chasis del vehículo autónomo PIXKIT*



*Nota.* Esta figura presenta los diferentes puntos de acople en el chasis del vehículo autónomo. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

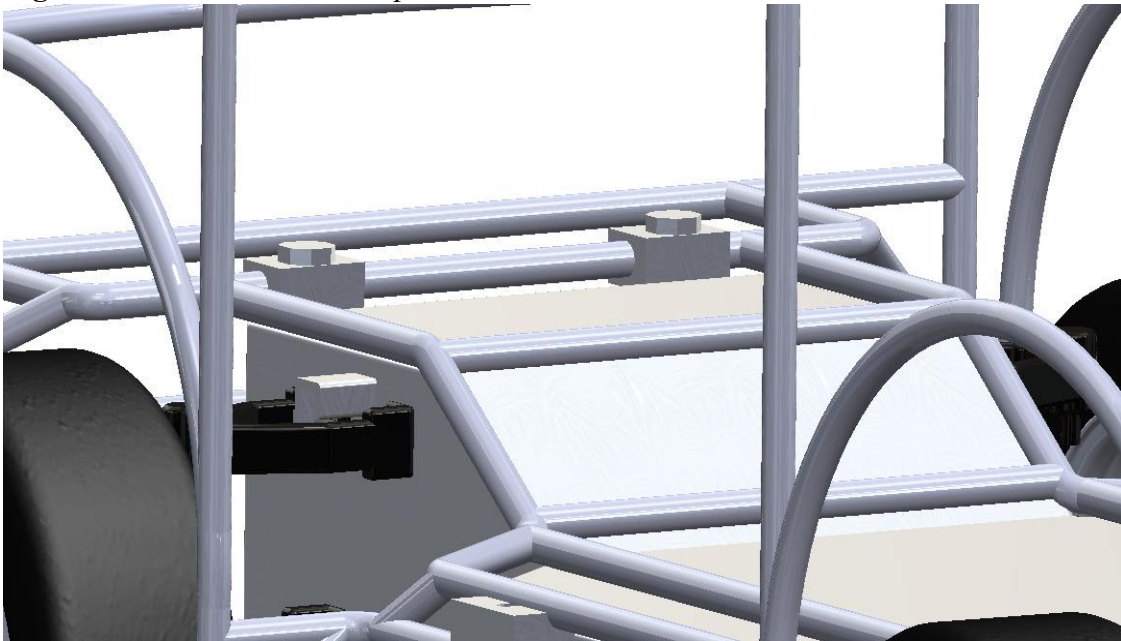
**Figura 64** *Vista del acople del chasis con la estructura tubular*



*Nota.* Esta figura presenta el acople del vehículo autónomo con la estructura tubular.

Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

**Figura 65** *Mecanismos de acople en el chasis*



*Nota.* Esta figura presenta los mecanismos de acople del vehículo autónomo con la estructura tubular. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

## 6.2 Perfiles empleados para la fabricación de carrocerías

Es necesario destacar que cada fabricante de carrocerías mantiene en confidencialidad sus diseños y la selección de los materiales empleados en la construcción. La normativa de construcción NTE INEN 1323:2009, establece que el material empleado en la carrocería debe consistir en perfiles estructurales protegidos contra la corrosión que cumplan con las normas NTE INEN aplicables.

En la tabla 7, se indican los tipos de perfiles y materiales utilizados por empresas constructoras para la fabricación de carrocerías de vehículos para el transporte público.

**Tabla 7 Perfiles y materiales empleados en carrocerías**

Perfil	Material	Parte de la carrocería
Canal U 100x50x20	Acero galvanizado	Piso
Canal U 25x50x20	Acero galvanizado	Lat. Izq. + Lat. Der. + Techo (Refuerzo)
Perfil Omega 2mm	Acero galvanizado	Refuerzo del techo
Plancha 1.5 mm	Acero galvanizado	Lat. Izq. + Lat. Der. (Refuerzo)
Tubo cuadrado 40x40x2 mm	Acero galvanizado	Piso
Tubo cuadrado 40x40x2 mm	Acero galvanizado	Plataforma + Frente + Respaldo + Techo
Tubo cuadrado 50x50x2 mm	Acero galvanizado	Lat. Izq. + Lat. Der. + Techo (Principal)
Tubo cuadrado 50x50x2 mm	Acero galvanizado	Contravientos
Tubo cuadrado 50x50x3 mm	Acero galvanizado	Piso + Apoyos
Angulo 50x50x2 mm	Acero galvanizado	Lat. Izq. + Lat. Der. (Faldón)

Curva R 80 mm	Acero galvanizado	Piso + Lat. Izq. + Lat. Der. (Vértice)
Perfil 290x85x5mm	Acero galvanizado	Placas – Chasis
Perfil 30x50x255x50x2mm	Acero galvanizado	Lat. Izq. + Lat. Der. (Refuerzo)
Tubo rectangular 100x50x2mm	Acero galvanizado	Piso

*Nota.* Esta tabla presenta los materiales empleados en carrocerías. Tomado de (MANJARRÉS & SANTILLÁN, 2016).

### 6.2.1 Material seleccionado para el análisis de la carrocería.

En las carrocerías se emplean comúnmente el acero que cuenta con la denominación: ASTM 500 galvanizado por lo que este será el acero que se tendrá en cuenta al momento de realizar el análisis en el software de diseño. Las propiedades del acero ASTM 500 se señalan a continuación.

**Tabla 8 Propiedades del Acero ASTM 500**

Composición química	Valor	Unidad
C (Carbón)	0.25 - 0.29	%
Mn (Magnesio)	0.60 - 1.20	%
Si (Silicio)	0.15 – 0.40	%
P (Fosforo)	0.04	%
S (Azufre)	0.05	%
Fe (Hierro)	98	%

*Nota.* Esta tabla presenta la composición química del acero ASTM 500. Tomado de (ORELLANA & ORELLANA, 2020).

**Tabla 9 Propiedades del acero ASTM 500**

Propiedades Mecánicas	Valor	Unidad
Limite elástico	250	MPa
Densidad	7.85	g/cc
Módulo de Poisson	0.30	-
Módulo de Young	200	GPa
Espesor	6.8	mm
Esfuerzo de ruptura	400	MPa

*Nota.* Esta tabla presenta la composición química del acero ASTM 500. Tomado de (MONCADA & PEÑALOZA, 2022).

### 6.3 Cargas vivas.

Las cargas vivas se entienden como las fuerzas o cargas que se generan debido a la presencia de personas o animales que ocupan espacio en una estructura, esta carga por ocupación se considera distribuida de manera uniforme en los elementos estructurales.

En el vehículo autónomo PIXKIT las cargas vivas serán de tres pasajeros, para realizar los cálculos nos basaremos en la siguiente tabla.

**Tabla 10 Cargas vivas**

Tipo de servicio	Masa de un ocupante (kg)	Masa mínima de equipaje mano por pasajero (kg)	Masa mínima de equipaje a transportarse en bodegas porta equipajes	Espacio necesario por pasajero de pie (m <sup>2</sup> )
Urbano	70	-	-	0,16

Urbano (Escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

*Nota.* Esta tabla presenta datos que se usan para los cálculos de cargas vivas. Tomado de (NTE INEN 1323:2009, 2009).

Gracias a los datos de la tabla 10 se puede realizar el cálculo de las cargas vivas de los tres pasajeros.

**Datos:**

$$\text{Masa por pasajero} = 70\text{kg}$$

$$\text{Pasajeros} = 3$$

$$\text{Gravedad} = 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Formulas:

$$P = M * G$$

$$Pt = P * N$$

Donde:

$$M = \text{Masa del pasajero (kg)}$$

$$G = \text{Aceleración de la gravedad } \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$



$$P = \text{Peso del pasajero (N)}$$

$$Pt = \text{Peso total de los pasajeros (N)}$$

$$N = \text{numero de pasajeros}$$

Desarrollo:

$$M = 70 \text{ kg y } G = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 70 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$P = 686,7 \text{ N}$$

$$Pt = 686,7 \text{ N} * 3$$

$$Pt = 2060,1 \text{ N}$$

#### **6.4. Cargas muertas**

A las cargas muertas se las puede entender como cargas permanentes o cargas estáticas, estas actúan de manera constante y permanente sobre una estructura, estas cargas no se modifican con el tiempo y principalmente son el peso propio de los elementos constructivos y otros elementos permanentes de la estructura.

Algunos ejemplos comunes de cargas muertas incluyen:

- 1. Peso propio de la carrocería.**
- 2. Peso de la estructura.**
- 3. Peso del piso.**
- 4. Peso de los asientos.**

**5. Peso de los vidrios.**

**6. Peso de accesorios de seguridad.**

En la tabla que se presenta a continuación se muestran las cargas muertas presentes en la estructura.

**Tabla 11 Resultados de las cargas muertas**

Resultado de las cargas muertas			
Pesos	Carga muerta (N)	Nodos seleccionados	Carga por nodo
Carrocería	554,3631	7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33	25,19 N
Silla de ruedas	151,074	1,4,5,8,17,18,20,21,24,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70	3,28 N
Piso	532,0944	1,4,5,8,17,18,20,21,24,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59,60,61,62,63,64,65,66,67,68,69,70	11,56 N
Vidrios	343,35	7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33	15,60 N
Total	1580,8815		55,63 N

*Nota.* Esta tabla presenta los resultados de las cargas muertas en la estructura. Tomado de(BUESTAN & PERALTA, 2023).

Aun con estos datos obtenido se va a agregar algunos pesos muertos adicionales los cuales son el peso de los asientos y el peso de los elementos de seguridad.

En este caso los asientos tienen una masa de 20 kilogramos cada uno y los elementos de seguridad cuentan con un peso de 9.5 kilogramos.

**Datos:**

$$Masa\ de\ asiento = 20kg$$

$$Masa\ de\ elementos\ de\ seguridad = 9,5\ kg$$

$$Asientos = 2$$

$$Gravedad = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

Formulas:

$$Pa = Na * Ma * G$$

$$Pb = Mb * G$$

$$P1 = Pa + Pb$$

Donde:

$$Ma = \text{Masa del asiento (kg)}$$

$$Mb = \text{Masa de los elementos de seguridad (kg)}$$

$$G = \text{Aceleración de la gravedad } \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

$$Pa = \text{Peso de los asientos (N)}$$

$$Pb = \text{Peso de los elementos de seguridad (N)}$$

$$Na = \text{numero de asientos}$$

$$P1 = \text{Peso muerto adicional}$$

Desarrollo:

$$Ma = 20 \text{ kg}, G = 9,81 \frac{m}{s^2} \text{ y } Na = 2, Mb = 9,5 \text{ kg}$$

$$Pa = 2 * 20 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Pa = 392,4 \text{ N}$$

$$Pb = Mb * G$$

$$Pb = 9,5 \text{ kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$Pb = 93,195 \text{ N}$$

$$P1 = Pa + Pb$$

$$P1 = 392,4 \text{ N} + 93,195 \text{ N}$$

$$P1 = 485,595 \text{ N}$$

**Tabla 12 Resultados de cargas muertas adicionales**

RESULTADOS DE CARGAS MUERTAS	
Pesos	Carga muerta (N)
Asientos	392,4
Elementos de seguridad	93,195
Total	485,595

Tomado de Autores.

### 6.5. Análisis mediante simulaciones FEM.

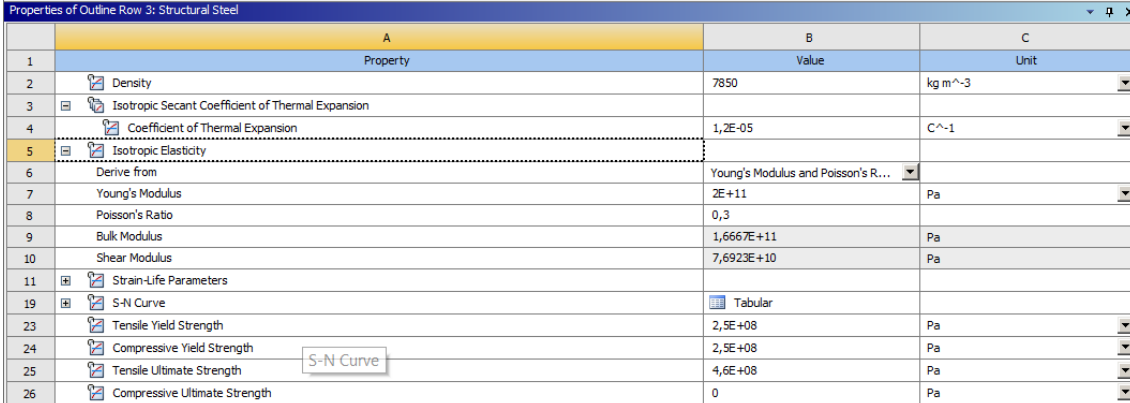
La simulación FEM, también conocida como método de elementos finitos, es una técnica computacional utilizada en campos como la ingeniería y ciencias aplicadas. Esta metodología consiste en descomponer una estructura en elementos finitos para representar su comportamiento físico mediante ecuaciones matemáticas. La resolución de estas ecuaciones proporciona resultados sobre deformaciones, tensiones, desplazamiento, entre otros parámetros.

### 6.5.1 Especificación de las propiedades del material.

Una vez realizado el modelo de la carrocería en el software SolidWorks, y preparar la geometría se asigna el material que se va a emplear que para este caso es acero galvanizado ASTM 36.

En la figura 27, se muestran las propiedades mecánicas del acero galvanizado, además se asigna propiedades específicas del acero ASTM 36 que se va a utilizar para la carrocería.

**Figura 66** Propiedades seleccionadas en ANSYS para la carrocería



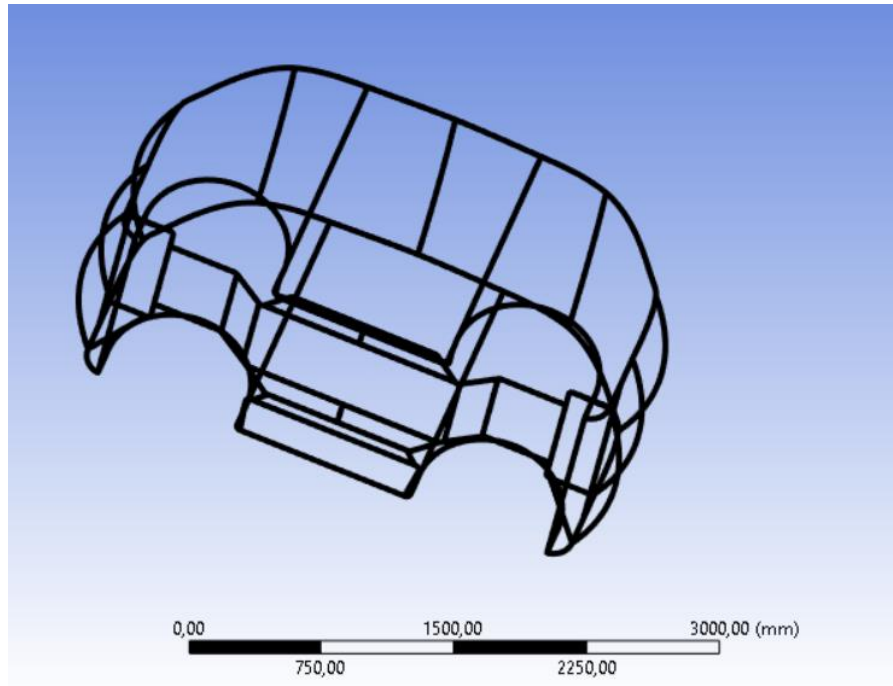
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m <sup>-3</sup>
3	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion		
4	Coefficient of Thermal Expansion	1,2E-05	C <sup>-1</sup>
5	Isotropic Elasticity		
6	Derive from	Young's Modulus and Poisson's R...	
7	Young's Modulus	2E+11	Pa
8	Poisson's Ratio	0,3	
9	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
10	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
11	Strain-Life Parameters		
19	S-N Curve	Tabular	
23	Tensile Yield Strength	2,5E+08	Pa
24	Compressive Yield Strength	2,5E+08	Pa
25	Tensile Ultimate Strength	4,6E+08	Pa
26	Compressive Ultimate Strength	0	Pa

*Nota.* Esta figura representa las propiedades del material seleccionado para la estructura tubular del vehículo. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

### 6.5.2 Mallado de la estructura tubular en el software ANSYS 2023.

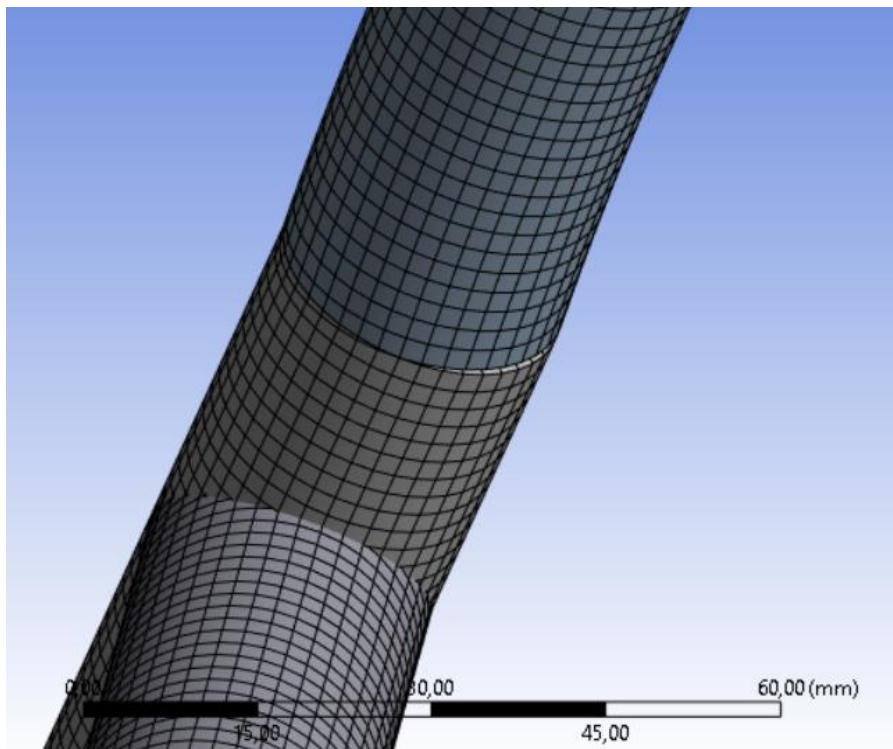
En el mallado de la estructura tubular se pretende alcanzar una calidad de malla que supere el 80% con el propósito de obtener resultados más precisos y confiables sobre el comportamiento de la estructura en condiciones de carga.

**Figura 67** *Mallado de la estructura*



*Nota.* Esta figura representa el mallado de la estructura tubular del vehículo. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

**Figura 68** *Mallado de una sección de la estructura tubular*



*Nota.* Esta figura representa el mallado de la estructura tubular del vehículo. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

**Figura 69** Calidad de malla

+ Sizing	
- Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
<input type="checkbox"/> Target Skewness	Default (0,9)
<input type="checkbox"/> Target Jacobian R...	Default (4, e-002)
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,35096
<input type="checkbox"/> Max	0,99953
<input type="checkbox"/> Average	0,87747
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	9,9839e-002
+ Inflation	
+ Advanced	
+ Statistics	

*Nota.* Esta figura representa la calidad del mallado de la estructura tubular del vehículo.

Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

El análisis con una malla del 87% anticipa que este nivel de detalle resultara apropiado para nuestro caso, ya que es superior al porcentaje esperado del 80%. Esta calidad de malla promete otorgar una representación precisa de la estructura tubular de la carrocería, mantener este porcentaje nos asegura que los resultados obtenidos mediante la simulación FEM serán comparables a la realidad.

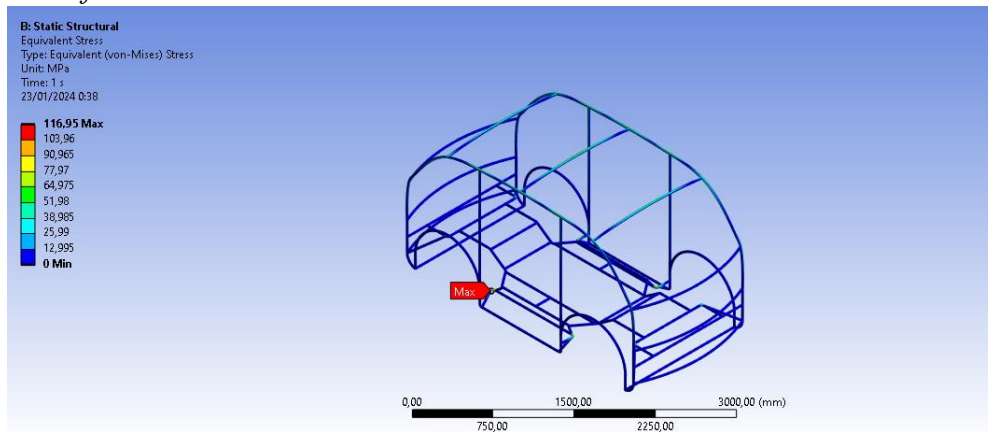
### **6.5.3 Resistencia de la estructura.**

Según la norma NTE INEN 1323:2009 menciona que “Debe resistir una carga estática sobre el techo equivalente al cincuenta por ciento (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). (NTE INEN 1323:2009, 2009).

### 6.5.3.1 Análisis de los esfuerzos.

El análisis de esfuerzos desempeña un papel importante en la elaboración de proyectos que abordan estructuras tubulares, estas brindan una mejor comprensión sobre el funcionamiento mecánico y la capacidad de carga del sistema.

**Figura 70** *Esfuerzos en la estructura*



*Nota.* Esta figura representa el esfuerzo al que la estructura tubular del vehículo está sometida para el análisis. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

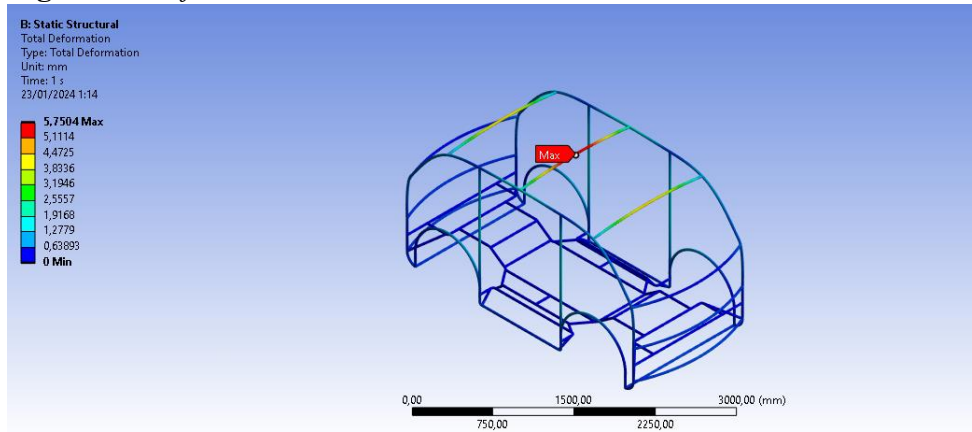
El valor obtenido en la simulación sugiere que la estructura está funcionando dentro de un rango elástico y no ha alcanzado la región plástica del acero A36. Es decir, el material conservará su capacidad de recuperación tras la aplicación de las cargas y no experimentará deformación permanente.

#### Análisis de deformación.

El análisis de deformación es esencial para comprender el comportamiento mecánico y estructural de la carrocería tubular diseñada. Este análisis proporciona datos valiosos sobre cómo la estructura responderá a las diversas cargas a las que se encuentra sometida, permitiendo así garantizar un comportamiento óptimo y seguridad integral de los ocupantes.



**Figura 71** Deformación en la estructura



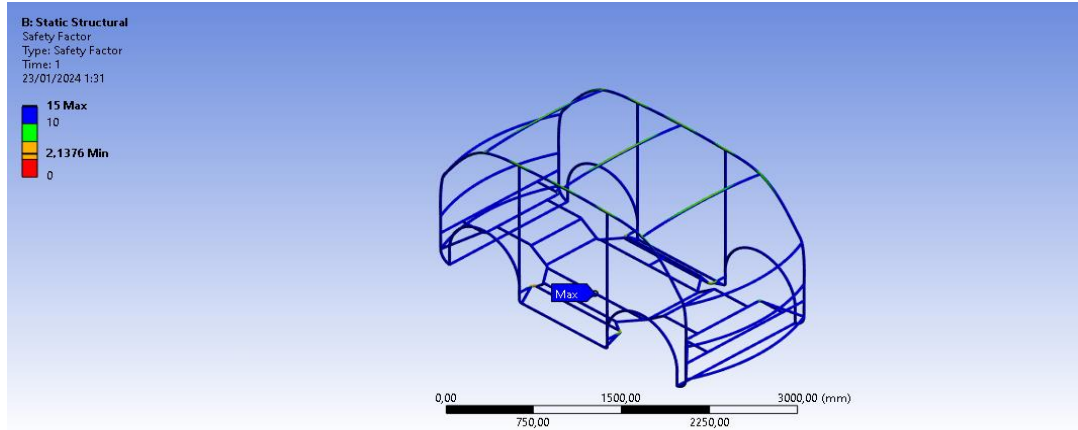
*Nota.* Esta figura representa la deformación total de la estructura tubular del vehículo. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

A partir del análisis de la deformación máxima de 5,75 mm obtenida mediante el método de elementos finitos (FEM), se puede concluir que la deformación es pequeña y no representa riesgos para la seguridad de los ocupantes, es importante mencionar que la deformación se encuentra dentro de los límites permitidos mencionados anteriormente.

### **6.5.3.2 Análisis del factor de seguridad.**

El factor de seguridad es un componente esencial en el diseño y análisis de estructuras, siendo su valor directamente proporcional a la confiabilidad y seguridad del sistema. El factor de seguridad refleja el margen de resistencia adicional de una estructura para hacer frente a posibles variaciones en las condiciones de carga y otras variables. A medida que el factor de seguridad aumenta el margen de resistencia es más amplio lo que permite contrarrestar situaciones imprevistas asegurando una mayor confiabilidad y durabilidad de la estructura.

**Figura 72** Factor de seguridad



*Nota.* Esta figura representa el factor de seguridad de la estructura tubular del vehículo. Tomade de Autores, realizado en ANSYS 2023.

Al considerar un rango para el factor de seguridad de la estructura de la carrocería, con un valor mínimo de 2.13 y un máximo de 15 se puede deducir lo siguiente:

Con un factor de seguridad mínimo de 2.13, se infiere que la estructura puede soportar al menos 2.13 veces la carga máxima durante la utilización. Esto indica que la estructura puede soportar la carga de manera segura.

Con un factor máximo de seguridad de 15 indica que la estructura posee una capacidad de carga considerablemente superior a las cargas aplicadas. Esto sugiere que la estructura tiene un amplio margen de seguridad, ofreciendo una resistencia adicional más allá de los requisitos necesarios.

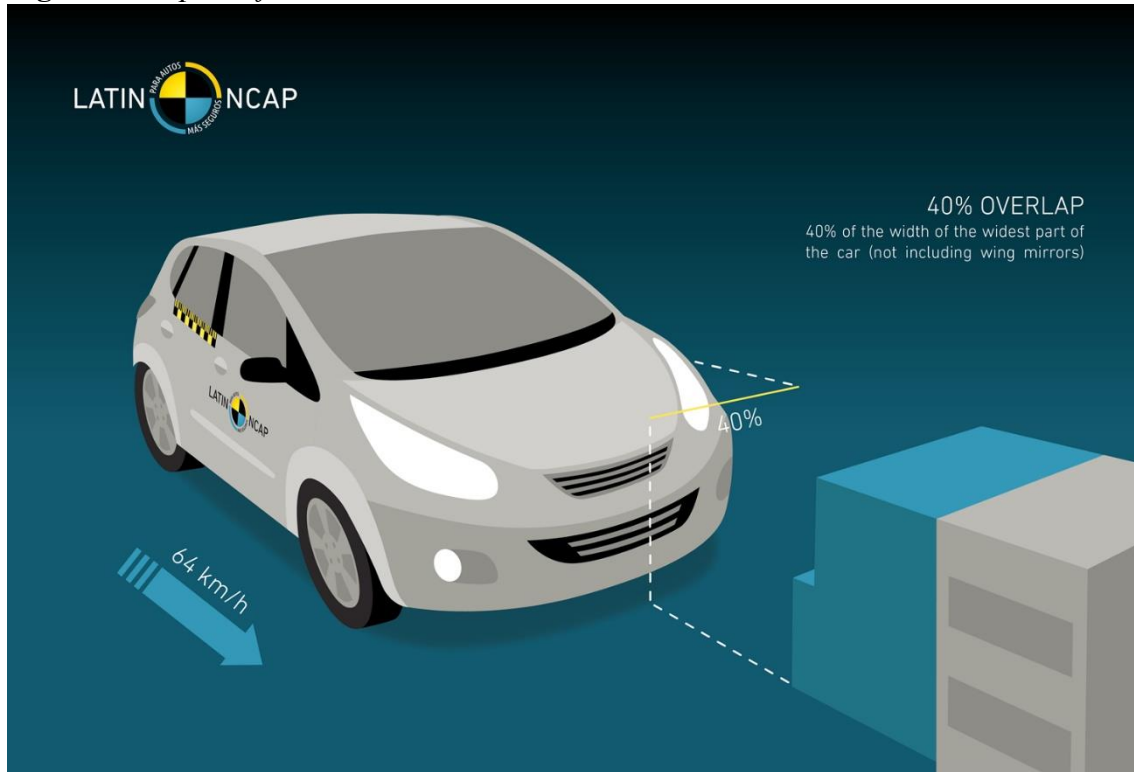
#### **6.5.4 Impacto frontal**

La prueba de impacto frontal está destinada a evaluar la resistencia de una cabina en accidente de impacto frontal.

El análisis de impacto frontal se ejecuta a una velocidad de 64 km/h, donde el vehículo colisiona frontalmente contra una barrera deformable descentrada. Cada

vehículo se somete a un impacto contra un bloque fijo de dimensiones, el cual está firmemente sujeto a una barrera construida con aluminio alveolar hexagonal deformable.(Latin NCAP, 2011)

**Figura 73** Impacto frontal a 64 km/h



*Nota.* Esta figura representa El impacto frontal de un vehículo según LATINNCAP. Tomade de (Latin NCAP, 2011).

La simulación de este impacto tiene como objetivo emular la colisión más común en carretera, la cual resulta en lesiones graves y tasas significativas de siniestralidad o mortalidad. Este enfoque busca reproducir las condiciones que suelen dar lugar a consecuencias de mayor magnitud en términos de daños y riesgos para la seguridad vial.

La calibración precisa del ensayo se logra al replicar el impacto entre dos vehículos de masa idéntica, asegurando así la representación fiel de las condiciones de choque más realistas y relevantes en el contexto de evaluación de seguridad vehicular. Este proceso permite obtener datos y resultados que reflejen de manera precisa las

respuestas y comportamientos de los vehículos ante escenarios típicos de colisión frontal en carretera.

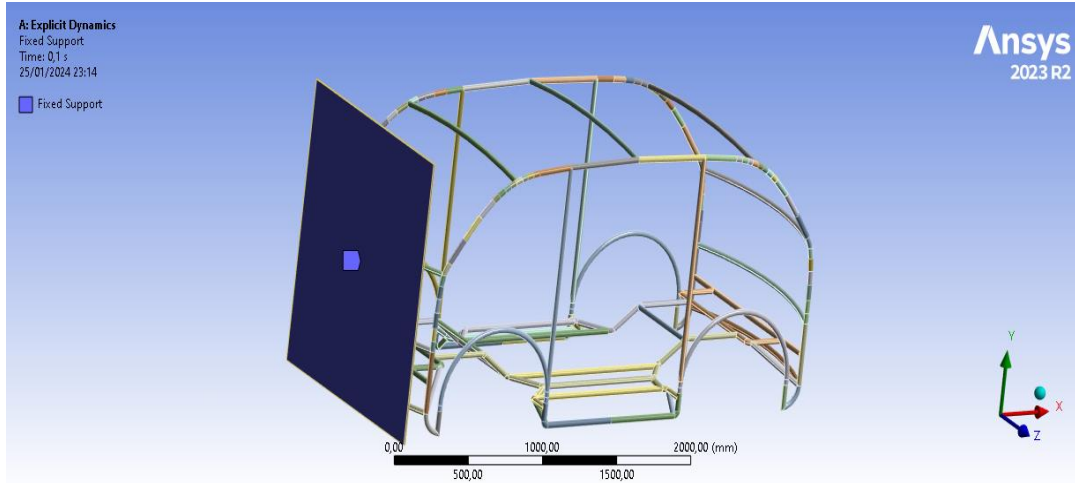
En el estudio llevado a cabo mediante ANSYS, se siguió el protocolo establecido por la norma INEN 2713 "VEHÍCULOS AUTOMOTORES. PROTECCIÓN DE SUS OCUPANTES EN CHOQUE FRONTAL. REQUISITOS Y MÉTODO DE ENSAYO". Esta normativa especifica la necesidad de emplear una barrera orientada de manera que el primer contacto del vehículo con ella ocurra en el lado de la columna de dirección.

La velocidad de ensayo prescrita por la norma es de 56 km/h  $\pm$  1 km/h. Según la normativa, si el ensayo se lleva a cabo a una velocidad de impacto superior y el vehículo satisface los requisitos, la prueba se considerará válida. Además, se realizaron ensayos adicionales a velocidades de 40 km/h, que corresponde a la velocidad máxima alcanzada por el vehículo autónomo PIXKIT, y a 20 km/h, que representa la velocidad de funcionamiento estándar del vehículo.

Para realizar la simulación se contará con la estructura tubular del vehículo vista anteriormente y además se adicionará un cuerpo rectangular el cual será rígido y funcionara como pared en la cual va a impactar la estructura, esta pared será indeformable ya que se tomará con un soporte rígido en el CAD ANSYS y la estructura de la carrocería tendrá diferentes velocidades que se mencionaron anteriormente.

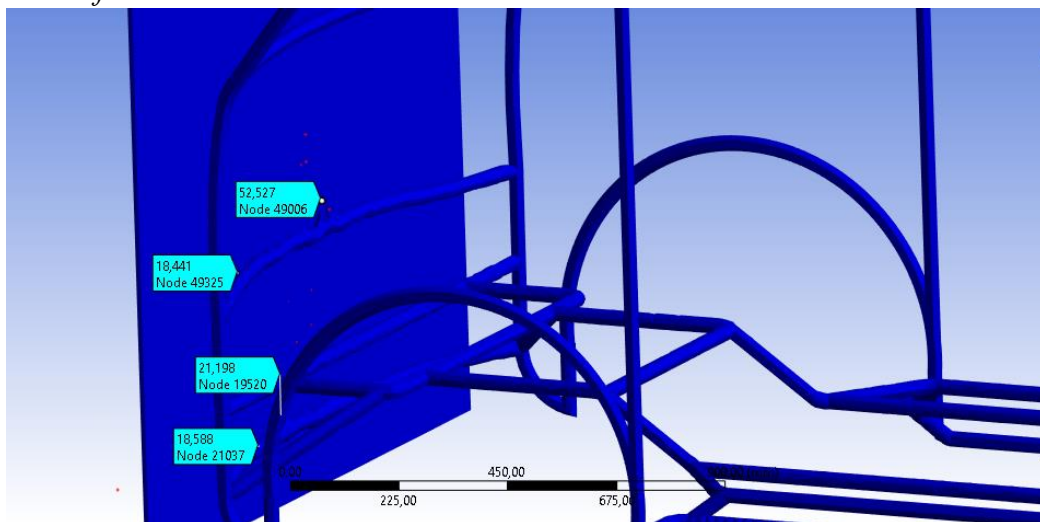
Este enfoque metodológico garantiza que la evaluación de impacto frontal se ajuste a los estándares establecidos por la normativa, abarcando una gama de velocidades que representan diversas condiciones de operación del vehículo. Al seguir estas directrices, se busca obtener resultados significativos y representativos que contribuyan a la comprensión integral de la seguridad y rendimiento del vehículo en situaciones de colisión frontal.

**Figura 74** *Condiciones iniciales*



*Nota.* Esta figura representa las condiciones iniciales de la simulación del choque frontal de la estructura. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

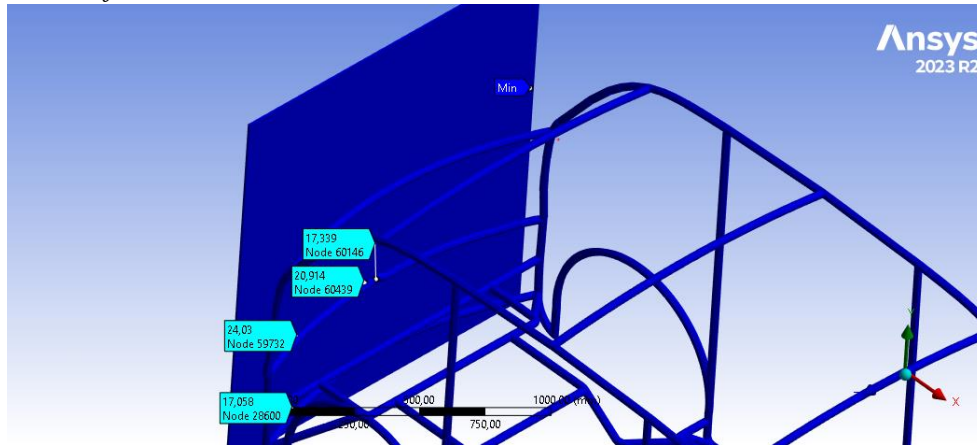
**Figura 75** *Deformación a 60 km/h*



*Nota.* Esta figura representa la deformación de la estructura a 60 km/h. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

Basándonos en la evaluación de la deformación máxima de 52,52 mm obtenida a través del método de elementos finitos (FEM), podemos inferir que dicha deformación es baja y no conlleva riesgos para la seguridad de los ocupantes.

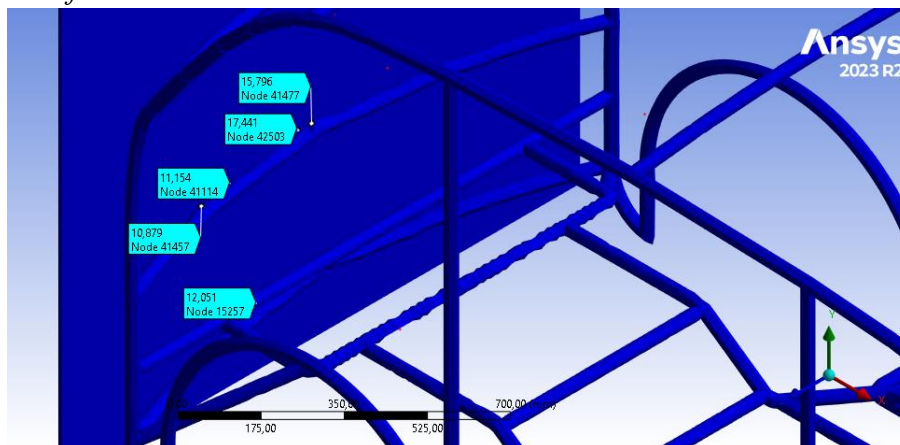
**Figura 76** Deformación a 40 km/h



*Nota.* Esta figura representa la deformación de la estructura a 40 km/h. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

Tras analizar la deformación máxima de 24,03 mm obtenida mediante el método de elementos finitos (FEM), se concluye que dicha deformación es mínima y no presenta riesgos para la seguridad de los ocupantes.

**Figura 77** Deformación a 20 km/h

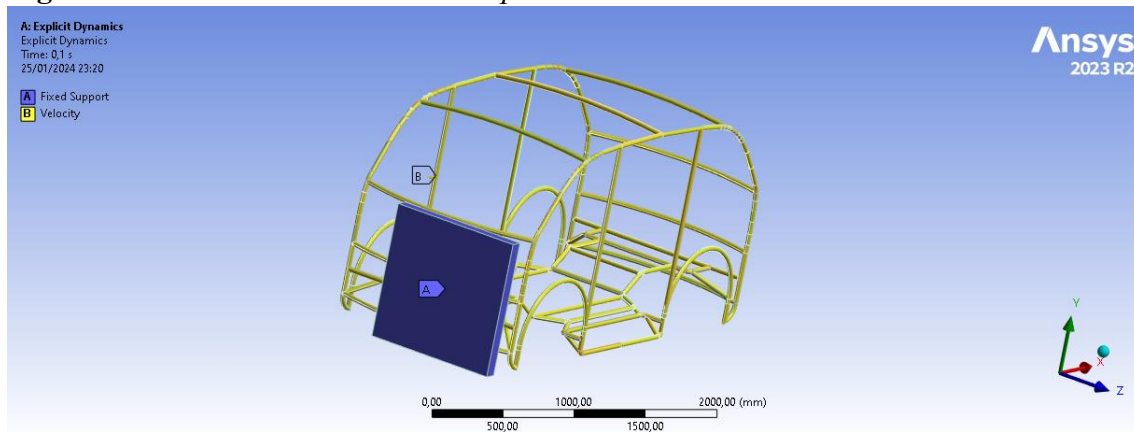


*Nota.* Esta figura representa la deformación de la estructura a 20 km/h. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

Tras examinar la deformación máxima de 17,44 mm obtenida mediante el método de elementos finitos (FEM), se puede inferir que dicha deformación es mínima y no implica riesgos para la seguridad de los ocupantes.

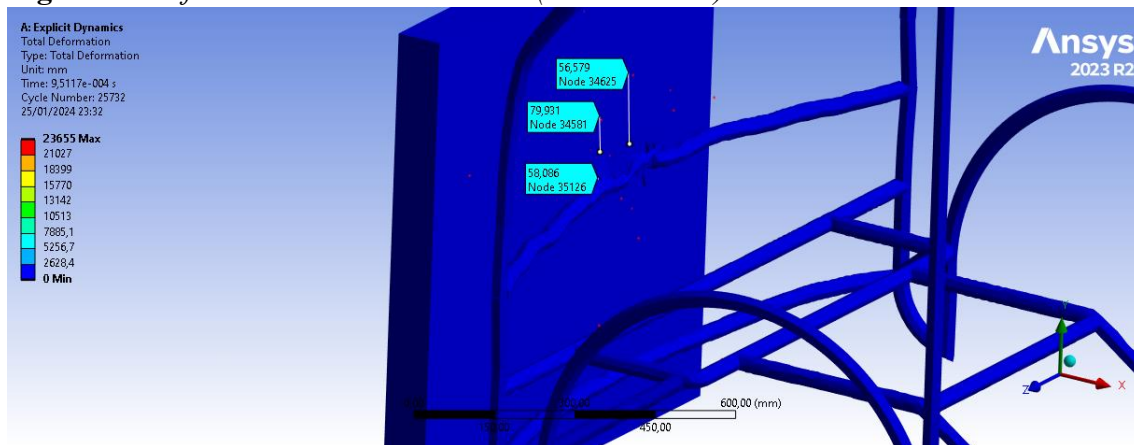
Ahora para realizar la simulación de impacto frontal según LATINNCAP se tiene distintas condiciones iniciales, en este caso la pared contra la que va a impactar la estructura será del 40% del total del área frontal de la estructura tubular y esta a su vez será descentrada, la velocidad de la estructura tubular será de 64 km/h.

**Figura 78** Condiciones iniciales de impacto LATINNCAP



*Nota.* Esta figura representa las condiciones iniciales de la simulación del impacto frontal de la estructura según LATINNCAP. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

**Figura 79** Deformación de la estructura (LATINNCAP)



*Nota.* Esta figura presenta la deformación de la estructura en la simulación mediante el método de LATINNCAP. Tomado de Autores, realizado en ANSYS 2023.

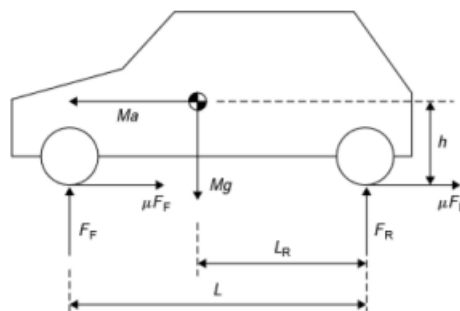
Tras el análisis de la deformación máxima de 79,93 mm obtenida mediante el método de elementos finitos (FEM), se deduce que dicha deformación es considerable y puede representar riesgos para la seguridad de los ocupantes.

### 6.5.5 Carga de frenado

En el contexto del análisis realizado con ANSYS, es esencial considerar la carga de frenado, la cual desempeña un papel crucial en la dinámica del vehículo durante el impacto frontal. La fuerza de frenado en los puntos de contacto con el suelo se contrarresta mediante una distancia vertical desde el centro de gravedad del automóvil. Esta interacción resulta en una transferencia de peso desde la parte trasera hacia las ruedas, un fenómeno de importancia fundamental en la evaluación de la estabilidad y el rendimiento del vehículo.

La compensación de la fuerza de frenado, junto con la transferencia de carga, añade una capa adicional de complejidad al análisis, pero es esencial para comprender de manera completa y precisa la capacidad del vehículo para enfrentar situaciones de choque frontal. La integración de estos aspectos en el estudio contribuye a una evaluación más exhaustiva y detallada de la seguridad y el rendimiento del vehículo en escenarios de colisión realistas.

**Figura 80** *Transferencia de peso en el frenado*





*Nota.* Esta figura representa un DLC de la transferencia de peso en el frenado. Tomado de (Lizano, 2017).

Reacción en el eje delantero

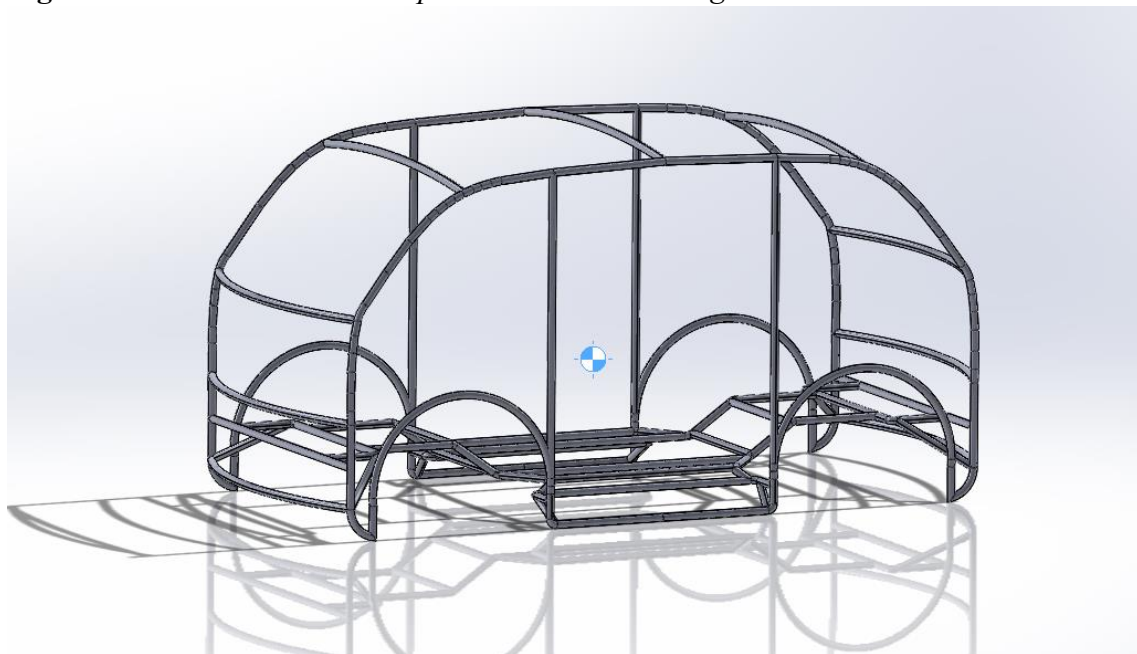
$$F_F = Mg(L_F + \mu h)/L$$

Reacción en el eje posterior

$$F_R = Mg(L_R + \mu h)/L$$

Determinación del centro de masas con la herramienta SolidWorks.

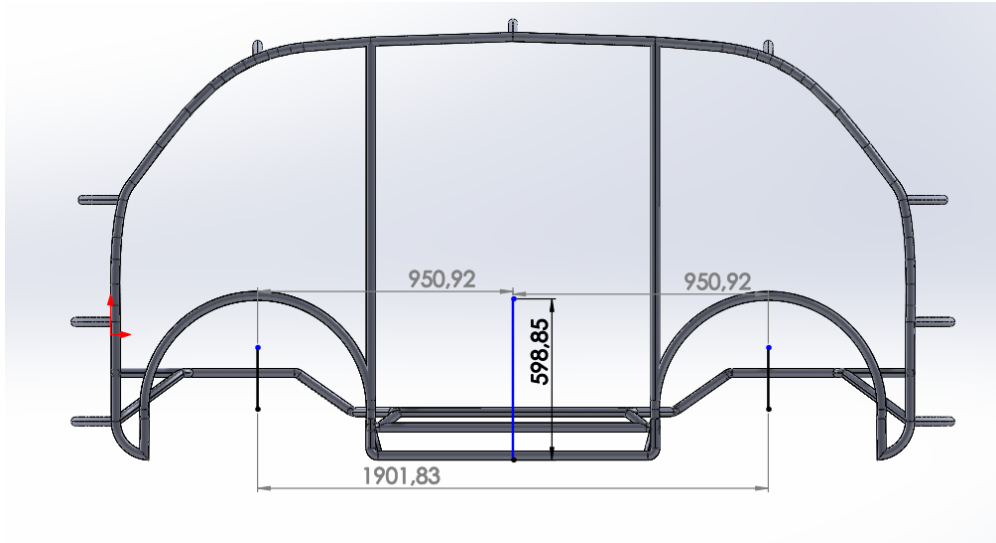
**Figura 81** *Determinación de la posición del centro de gravedad.*



*Nota.* Esta figura presenta el centro de gravedad de la estructura utilizando la herramienta SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

Ahora con el centro de gravedad determinado se procederá a realizar distintas mediciones de este con respecto a puntos de interés para la simulación.

**Figura 82** Medidas necesarias para la simulación.



*Nota.* Esta figura presenta medidas necesarias para la simulación utilizando la herramienta SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

Para las siguientes fórmulas de:

Reacción en el eje delantero

$$F_F = Mg(L_F + \mu h)/L$$

Donde:

$$F_F = \text{Fuerza de frenado del eje delantero (N)}$$

$$Mg = \text{Peso del vehículo, sumatoria de todas las cargas muertas y vivas (N)}$$

$$L_F = \text{Distancia del centro de gravedad al eje delantero (m)}$$

$$h = \text{Altura del centro de gravedad (m)}$$

$$\mu = \text{Coeficiente de fricción del neumático}$$

$$L = \text{Distancia entre ejes (m)}$$

Datos:

$$Mg = 4126,57 \text{ N}$$

$$L_F = 0,951 \text{ m}$$

$$h = 0,6$$

$$\mu = 0,67 \text{ (Usado generalmente)}$$

$$L = 1,902 \text{ m}$$

Desarrollo:

$$F_F = Mg(L_F + \mu h)/L$$

$$F_F = 4126,57 \text{ N}(0,951 \text{ m} + 0,67 * 0,6\text{m})/1,902 \text{ m}$$

$$F_F = 2935,46 \text{ N}$$

Reacción en el eje posterior

Dado que los valores para el eje delantero y trasero son similares entonces

$$F_F = F_R$$

$$F_R = 2935,46 \text{ N}$$

La carga de frenado se determina con la siguiente formula:

$$Ma = \mu F_F + \mu F_R$$

Donde:

$Ma =$  Carga de frenado.

$F_F =$  Fuerza de frenado eje delantero

$F_R =$  Fuerza de frenado eje posterior

Desarrollo:

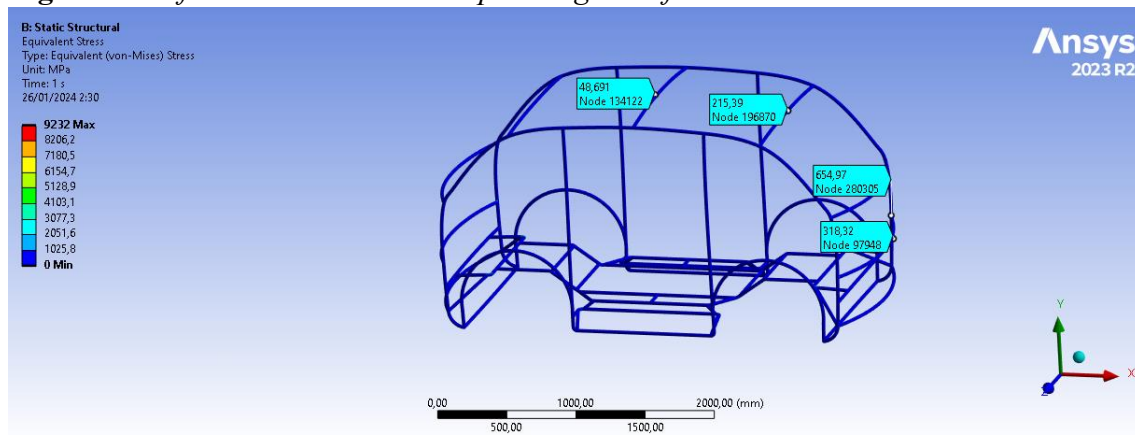
$$Ma = \mu F_F + \mu F_R$$

$$Ma = 0,67 * 2935,46 \text{ N} + 0,67 * 2935,46\text{N}$$

$$Ma = 3933,51 \text{ N}$$

Simulación de la carga en la herramienta ANSYS.

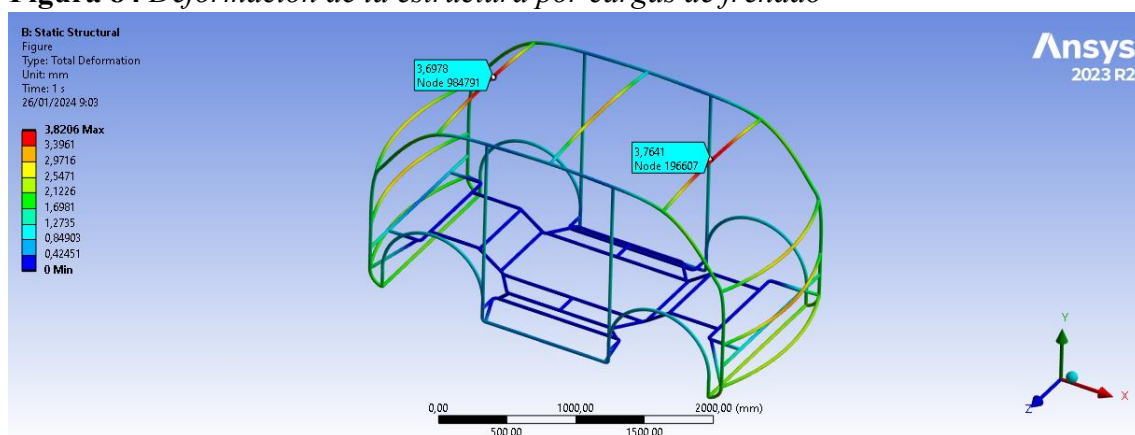
**Figura 83** Esfuerzo en la estructura por cargas de frenado



*Nota.* Esta figura presenta el esfuerzo al que se encuentra sometido la estructura al momento del frenado. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

El resultado obtenido en la simulación indica que la estructura está operando dentro de un rango elástico y no ha alcanzado la zona plástica del acero A36. Esto implica que el material mantendrá su capacidad de recuperación después de la aplicación de las cargas y no sufrirá deformación permanente.

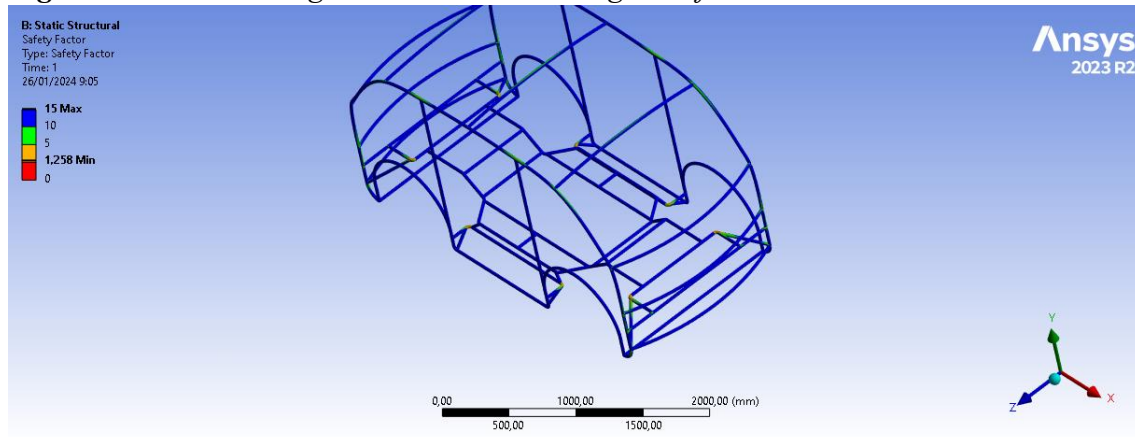
**Figura 84** Deformación de la estructura por cargas de frenado



*Nota.* Esta figura presenta el esfuerzo al que se encuentra sometido la estructura al momento del frenado. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

Después de evaluar la deformación máxima de 3,82 mm utilizando el método de elementos finitos (FEM), se determina que esta deformación es mínima y no representa riesgos significativos para la seguridad de los ocupantes. Es importante señalar que este valor de deformación se mantiene dentro de los límites permitidos previamente establecidos, lo que indica que no se requieren medidas correctivas adicionales para garantizar la seguridad del vehículo.

**Figura 85** Factor de seguridad sometido a cargas de frenado



*Nota.* Esta figura presenta el factor de seguridad presente en la estructura al momento del frenado. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

Al considerar un rango para el factor de seguridad de la estructura de la carrocería, con un valor mínimo de 1.25 y un máximo de 15, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Con un factor de seguridad mínimo de 1.25, se infiere que la estructura es capaz de soportar al menos 1.25 veces la carga máxima esperada durante su utilización. Esto indica que la estructura cumple con los estándares mínimos de seguridad y es capaz de resistir la carga de manera adecuada.

En cuanto al factor de seguridad máximo de 15, se destaca que la estructura presenta una capacidad de carga considerablemente superior a las cargas aplicadas. Esto

sugiere que la estructura cuenta con un amplio margen de seguridad, proporcionando una robustez excepcional y superando ampliamente los requisitos mínimos de resistencia.

#### **6.5.6 Carga de Aceleración**

En el contexto de la dinámica vehicular, cuando el vehículo experimenta un aumento de velocidad, se origina una fuerza que actúa en dirección contraria al movimiento. Esta fuerza puede tener repercusiones significativas en la forma en que se distribuye el peso sobre las ruedas del vehículo.

Para contrarrestar la fuerza de aceleración, se emplea una medida similar a la utilizada para la carga de frenado. Se ajusta la carga vertical desde el centro de gravedad del vehículo, de modo análogo al procedimiento aplicado al manejar la carga de frenado. Esta compensación resulta crucial para preservar el equilibrio del vehículo durante la aceleración y asegurar una distribución equitativa de la carga entre las ruedas. En consecuencia, el cálculo de la fuerza de aceleración sigue un enfoque semejante al utilizado para la carga de frenado, si bien en sentido opuesto.

#### **6.5.7 Cargas laterales**

Las cargas laterales en el vehículo están sujetas a diversas influencias que pueden afectar su comportamiento. Factores como el deslizamiento de las llantas al tomar una curva y el empujón de acera son determinantes en esta dinámica.

**Figura 86** *Radio de Curvatura en la carretera*

Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

*Nota.* Esta figura representa la velocidad máxima permisible para cada radio de curvatura. Tomado de (NTE INEN 1323:2009, 2009).

A continuación de muestra la fórmula para realizar el cálculo de la aceleración centrípeta:

$$a_c = \frac{v^2}{r_c}$$

*Donde:*

$a_c$  = Aceleracion centripeta

$V$  = Velcoidad del vehiculo

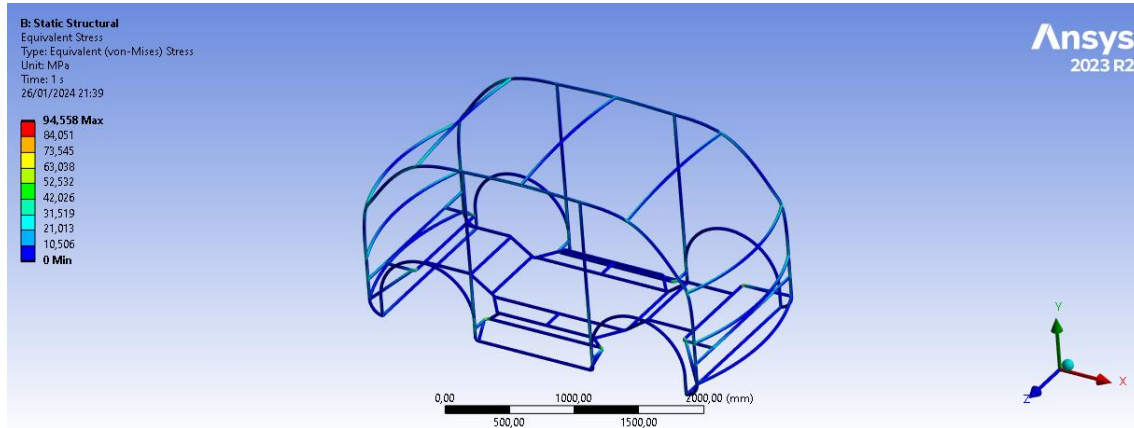
$r_c$  = Radio de cuvatura de la carretera

Otra condición en tomar es la carga de giro, la cual corresponde a la fuerza producida por el giro del vehículo. (NTE INEN 1323:2009, 2009).

Para el cálculo de la carga de giro de utiliza la siguiente ecuación:

$$CG = m_T * a_c$$

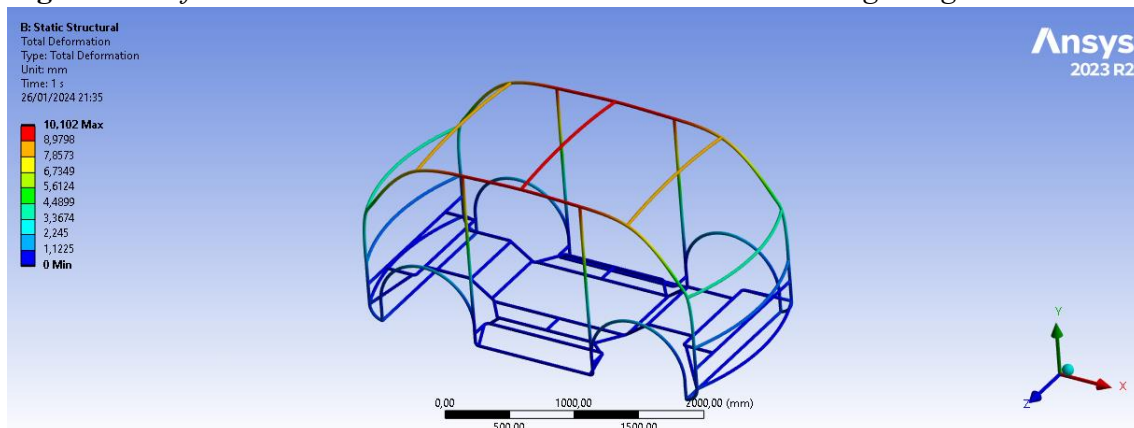
**Figura 87** Esfuerzo de la estructura al estar sometida a la carga de giro



*Nota.* Esta figura presenta el esfuerzo de estructura al estar sometido a la carga de giro. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

El resultado obtenido en la simulación indica que la estructura está operando dentro de un rango elástico y aún no ha ingresado a la región plástica del acero A36. Esto significa que el material retendrá su capacidad de recuperación después de la aplicación de las cargas y no sufrirá deformación permanente.

**Figura 88** Deformación de la estructura al estar sometida a la carga de giro

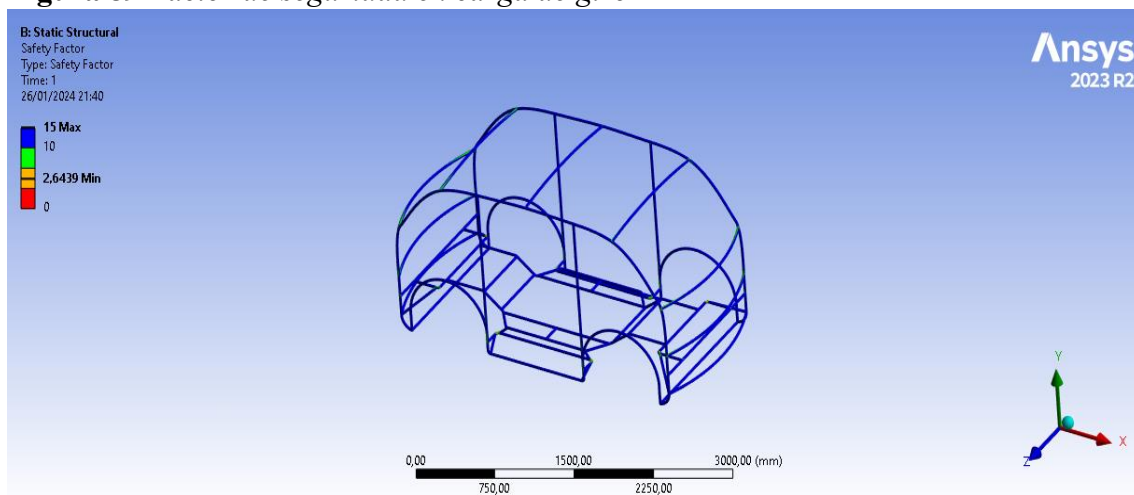


*Nota.* Esta figura presenta la deformación de la estructura al estar sometido a la carga de giro. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.



Después de evaluar la deformación máxima de 10,10 mm utilizando el método de elementos finitos (FEM), se determina que esta deformación es moderada y no representa riesgos significativos para la seguridad de los ocupantes. Es importante señalar que, aunque este valor de deformación excede ligeramente los límites permitidos previamente establecidos, aún se encuentra dentro de un rango aceptable. No obstante, se debe monitorear de cerca cualquier tendencia hacia un aumento de la deformación y considerar medidas correctivas si es necesario para garantizar la seguridad continua del vehículo.

**Figura 89** Factor de seguridad en carga de giro



*Nota.* Esta figura presenta el factor de seguridad presente en la estructura al aplicar la carga de giro. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

Al considerar un rango para el factor de seguridad de la estructura de la carrocería, con un valor mínimo de 2.65, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Con un factor de seguridad mínimo de 2.65, se infiere que la estructura es capaz de soportar al menos 2.65 veces la carga máxima esperada durante su utilización. Esto indica que la estructura cumple con estándares de seguridad sólidos y tiene una capacidad adecuada para resistir la carga de manera eficiente.

Respecto al factor de seguridad máximo, se evidencia que la estructura presenta una capacidad de carga que supera ampliamente las cargas aplicadas. Esto sugiere que la estructura cuenta con un amplio margen de seguridad, proporcionando una resistencia adicional que garantiza la seguridad y durabilidad del vehículo.

### 6.5.8 Carga aerodinámica

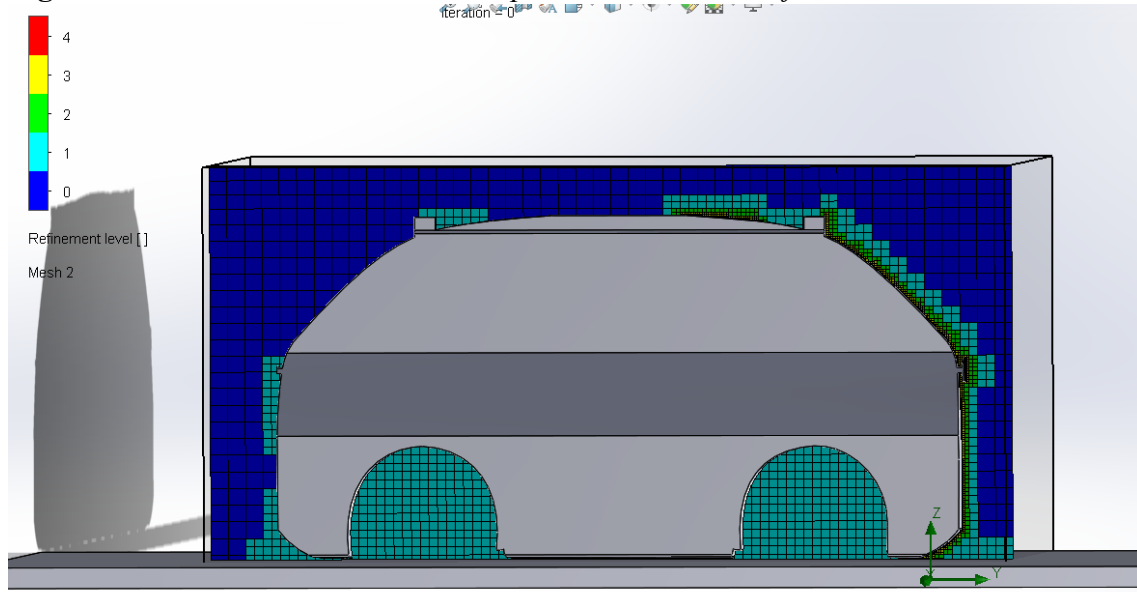
En este apartado se encuentra el cálculo de la fuerza que se ejerce sobre la superficie frontal del vehículo autónomo PIXKIT debido a la resistencia del aire frontal; para determinar esta fuerza se estableció valores típicos sobre las condiciones normales de funcionamiento del vehículo, estas condiciones se introdujeron al software de simulación de fluidos de SolidWorks (Flow Simulation) para determinar la fuerza de oposición que se genera al desplazamiento de este.

**Tabla 13 Constantes ambientales normales en el funcionamiento del vehículo**

ITEM	VALOR
Temperatura del aire	25 °C
Densidad del aire	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Velocidad del vehículo	40 km/h
Presión atmosférica	101,325 kPa

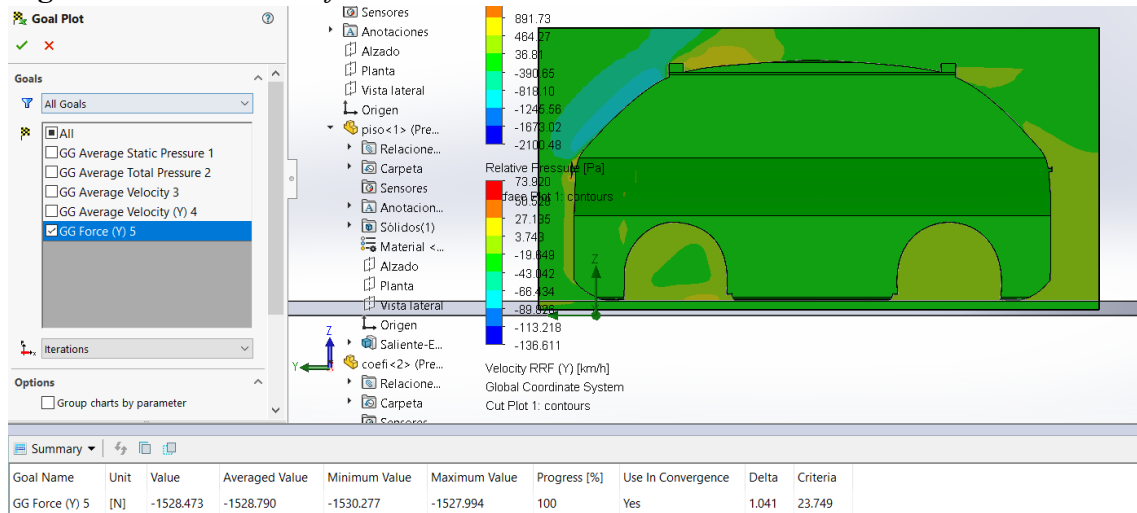
*Nota.* Esta tabla presenta las condiciones ambientales en la que se va a simular el funcionamiento del vehículo autónomo PIXKIT. Tomado de Autores.

**Figura 90** Enmallado de la carrocería para el cálculo de la fuerza aerodinámica



*Nota.* Esta figura presenta el enmallado de la carrocería del vehículo autónomo PIXKIT para obtener el valor de la resistencia aerodinámica. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

**Figura 91** Calculo de la fuerza aerodinámica



*Nota.* Esta figura presenta el cálculo de la fuerza aerodinámica en la carrocería del vehículo autónomo PIXKIT. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

El valor de la resistencia aerodinámica calculado por el CAD SolidWorks es de 1529 N.

## 6.6 Cargas combinadas

Según la norma NTE INEN 1323 las estructuras de las carrocerías deben de resistir los esfuerzos en base a combinaciones básicas de cargas para las cuales se presentan dos métodos el método ASD (Allowable strength design) y el método LRFD (Load resistance factor design) de los cuales se ha seleccionado el método ASD ya que cuenta con varios valores de cargas las cuales pueden afectar altamente la estructura de la carrocería.

### 6.6.1 Según método ASD (Allowable strength design)

En la siguiente figura se encuentran las distintas formas de combinación de cargas en la estructura según el método ASD.

**Figura 92** *Combinaciones de cargas según método ASD*

#### 5.1.2.1 Según método ASD (Allowable strength design)

- 1: M
- 2: M + V
- 3: M + V + G
- 4: M + V + F
- 5: M + V + F +  $R_{af}$
- 6: M + V +  $R_{af}$
- 7: M + V +  $A_b$
- 8: M + V +  $A_b$  +  $R_{af}$

*Nota.* Esta figura presenta las distintas combinaciones de cargas para el análisis de la estructura de la carrocería según el método ASD. Tomado de (NTE INEN 1323:2009, 2009).

La combinación de carga seleccionada es la numero 8 donde:

$$M + V + A_b + R_{af}$$

M: Carga muerta

V: Carga viva

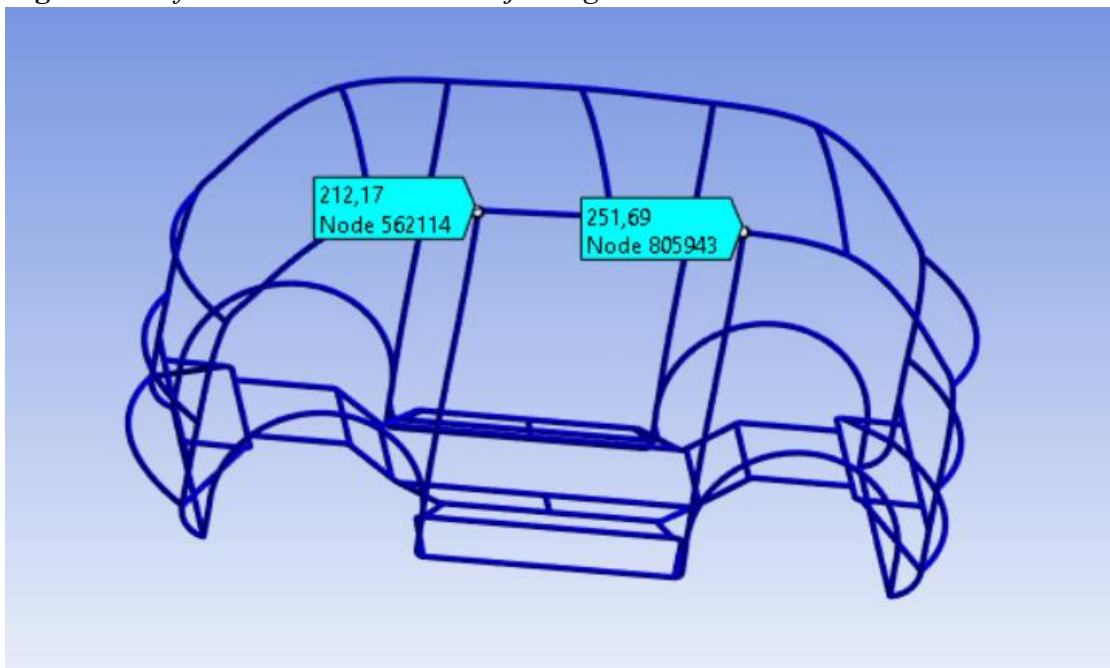
Ab: Carga por aceleración brusca

Raf: Carga por resistencia al aire frontal

ITEM	VALOR
M (Carga muerta)	2066,48 N
V (Carga viva)	2060,1 N
Ab (Carga por aceleración brusca)	3933,51 N
Raf (Carga por resistencia al aire frontal)	1529 N
Total	9589,1 N

Por lo tanto, el valor de la fuerza combinada que se distribuirá en la estructura es de 9589,1 N.

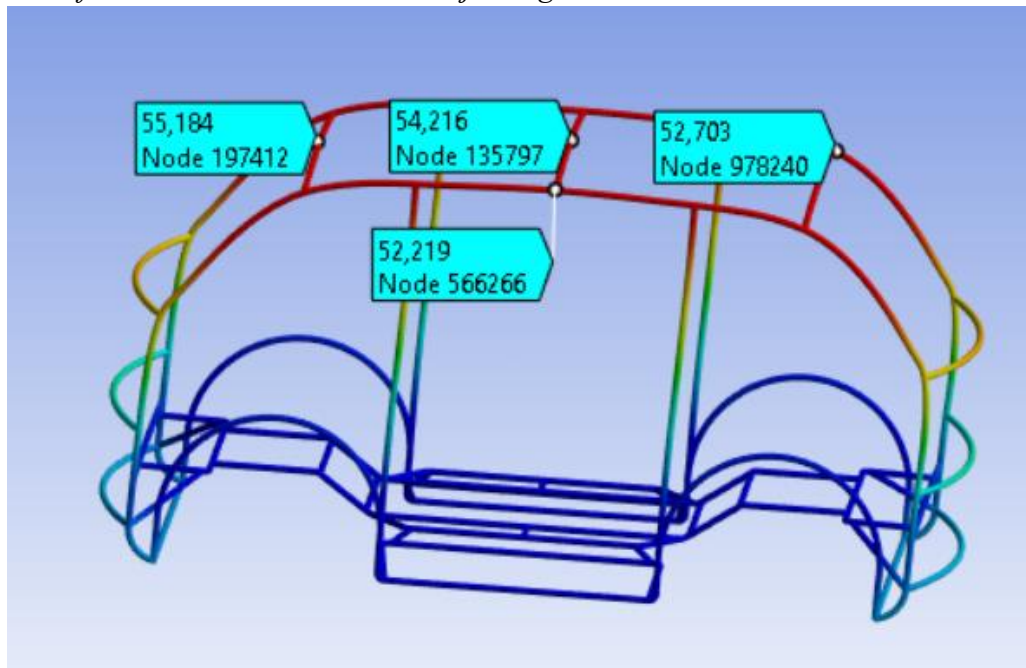
**Figura 93** Esfuerzo de la estructura bajo carga combinadas



*Nota.* Esta figura presenta el esfuerzo de estructura al estar sometido bajo cargas combinadas. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

El resultado obtenido en la simulación indica que la estructura en su mayoría se encuentra en la zona elástica sin embargo en puntos específicos como las intersecciones de los tubos se llega a la región plástica del acero A36. Esto significa que la deformación de la estructura en las uniones de los tubos será permanente mientras que en otras zonas esta deformación será elástica es decir recuperara su forma.

**Figura 94** Deformación de la estructura bajo cargas combinadas



*Nota.* Esta figura presenta la deformación de la estructura al estar sometido bajo cargas combinadas. SolidWorks. Tomado de Autores, realizado en SolidWorks 2023.

La deformación máxima en la estructura es de alrededor de 55 mm.

Según la norma NTE INEN 1323 los valores de deformación para las cargas combinadas sobre los componentes de la estructura de la carrocería deben ser iguales o menores a  $1/240$  veces su longitud sin embargo esta deformación tiene que ser elástica. En la simulación realizada en el CAD SolidWorks se determinó que la deformación en algunos puntos es plástica por lo que esta no cumple con el requisito establecido de deformación elástica.

## 7. CONCLUSIONES

En conclusión, el análisis detallado de las normativas, estadísticas de discapacidad y medidas antropométricas en Ecuador, junto con la exploración de principios ergonómicos, proporciona una base sólida para el diseño del habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT. Estos datos subrayan la importancia de crear un espacio inclusivo y seguro que se adapte a las diversas necesidades de los ocupantes, asegurando una experiencia de movilidad cómoda y accesible para todos.

El diseño del habitáculo para el vehículo autónomo PIXKIT, destinado al transporte de personas con discapacidad, se basa en un enfoque integral que prioriza la accesibilidad, la seguridad y la comodidad de los ocupantes. Desde la generación de la idea hasta la selección de sistemas de retención y puertas, cada aspecto se aborda con meticulosidad y consideración hacia las necesidades específicas de este grupo de usuarios. La elección de un sistema de cinturones de seguridad de tres puntos, la clasificación detallada de los sistemas de anclaje para sillas de ruedas y el diseño ergonómico de los asientos y el piso del vehículo reflejan un compromiso con los más altos estándares de seguridad y cumplimiento normativo.

Sin embargo, durante la distribución de los elementos internos del habitáculo del vehículo, se observó que los ocupantes no viajarían cómodos y expondrían su seguridad en caso de un accidente, debido a que la altura del piso al techo del vehículo era baja. Por ello, tomando en cuenta la deformación máxima obtenida mediante el método de cargas combinadas ASD de la NTE INEN 1313, que fue de 55 mm, y con el objetivo de precautelar el confort y la seguridad para los ocupantes, se recomienda aumentar en 25 cm la altura de la carrocería del vehículo.

Al realizar simulaciones FEM en diversas condiciones de carga, incluidas cargas vivas, muertas, de frenado, aceleración y cargas de giro, estas individualmente, no representan ningún riesgo para los usuarios y elementos electrónicos del vehículo, ya que las deformaciones que se observan no son significativas y además se mantienen dentro de la zona elástica del material, es decir, regresan a su forma original cuando se deja de aplicar la carga. No obstante, al realizar el análisis por cargas combinadas, se identificó que, en ciertos puntos específicos, como las uniones entre tubos, los esfuerzos del material entran en la zona plástica. En este caso, no se cumplirían los criterios establecidos en la prueba de cargas combinadas de la normativa NTE INEN 1323 porque la deformación será permanente.

En resumen, el trabajo en torno al diseño y análisis del vehículo autónomo PIXKIT ha sido meticuloso y detallado. Desde la conceptualización hasta las simulaciones finales, se siguió un enfoque metodológico sólido, asegurando la integridad y seguridad del diseño.

La combinación de diseño innovador y análisis riguroso ha resultado en un diseño que cumple con estándares de seguridad y eficiencia, sentando así una base sólida para el desarrollo futuro de vehículos autónomos seguros y eficientes.



## **8. RECOMENDACIONES**

Es fundamental llevar a cabo un análisis profundo de las normativas, estadísticas relevantes y medidas antropométricas aplicables al proyecto. Esta investigación proporciona una base sólida para el diseño y garantiza que se cumplan los estándares de seguridad y accesibilidad.

Es fundamental dar prioridad a la accesibilidad y la seguridad en todas las fases del proceso de diseño, desde la concepción inicial hasta las pruebas finales. Es crucial tener en cuenta las necesidades particulares de los usuarios, especialmente aquellos con discapacidades, con el objetivo de crear un entorno inclusivo y seguro que satisfaga una amplia variedad de requerimientos. Por esta razón, es esencial analizar diversas situaciones y perspectivas para identificar áreas de mejora y realizar ajustes en el diseño correspondientes.

Para mejorar la calidad y la personalización del vehículo, se sugiere explorar e integrar tecnologías de fabricación, como la impresión 3D. Estas tecnologías permitirán una mayor flexibilidad en el diseño y la producción del vehículo, facilitando la implementación de cambios iterativos y la adaptación a las necesidades del mercado con mayor rapidez.

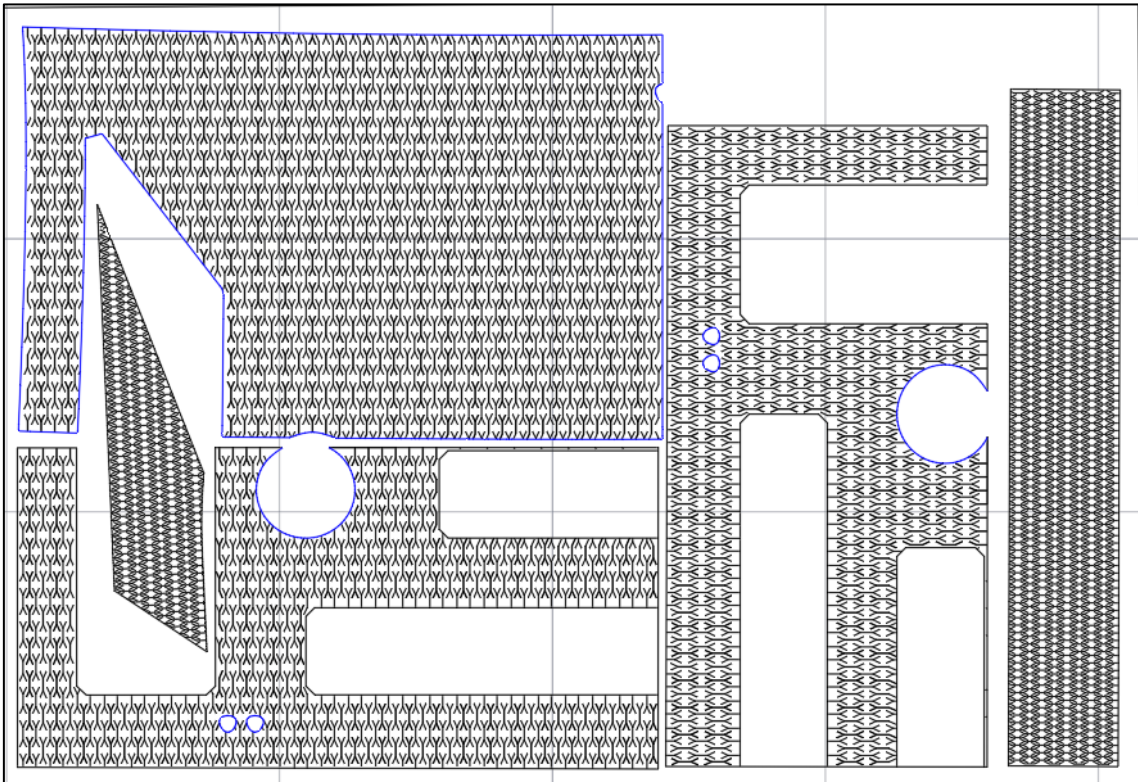
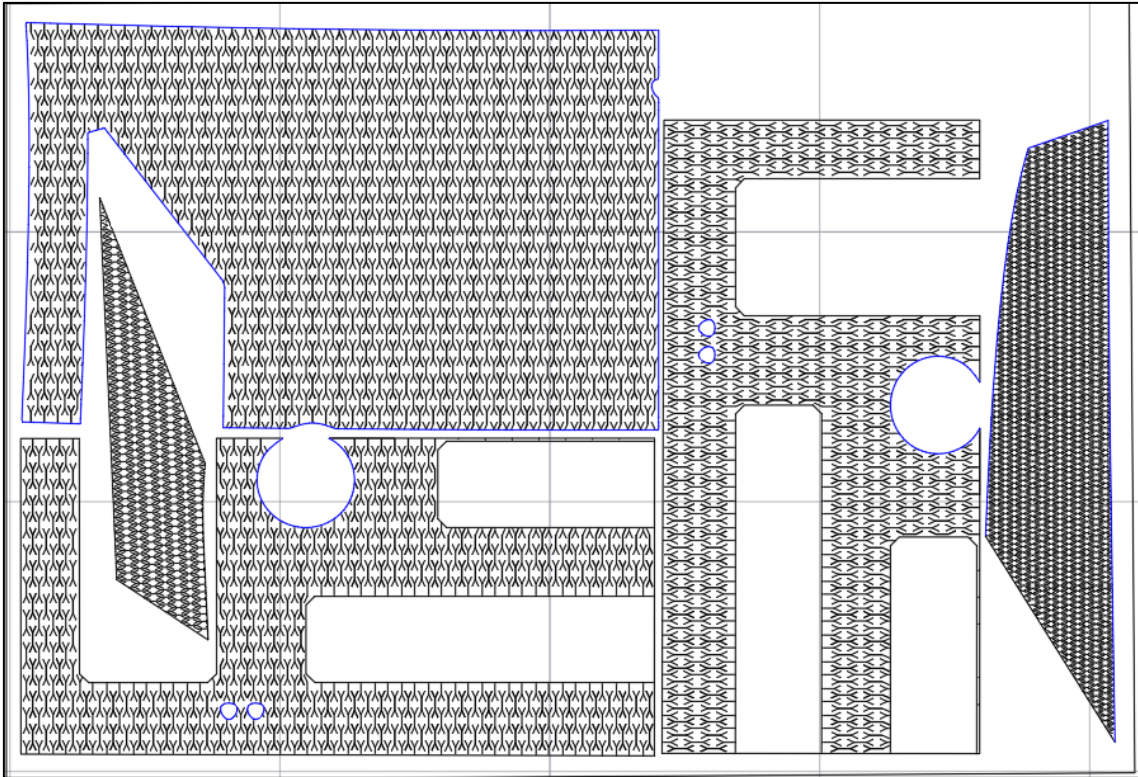
## 9. BIBLIOGRAFIA:

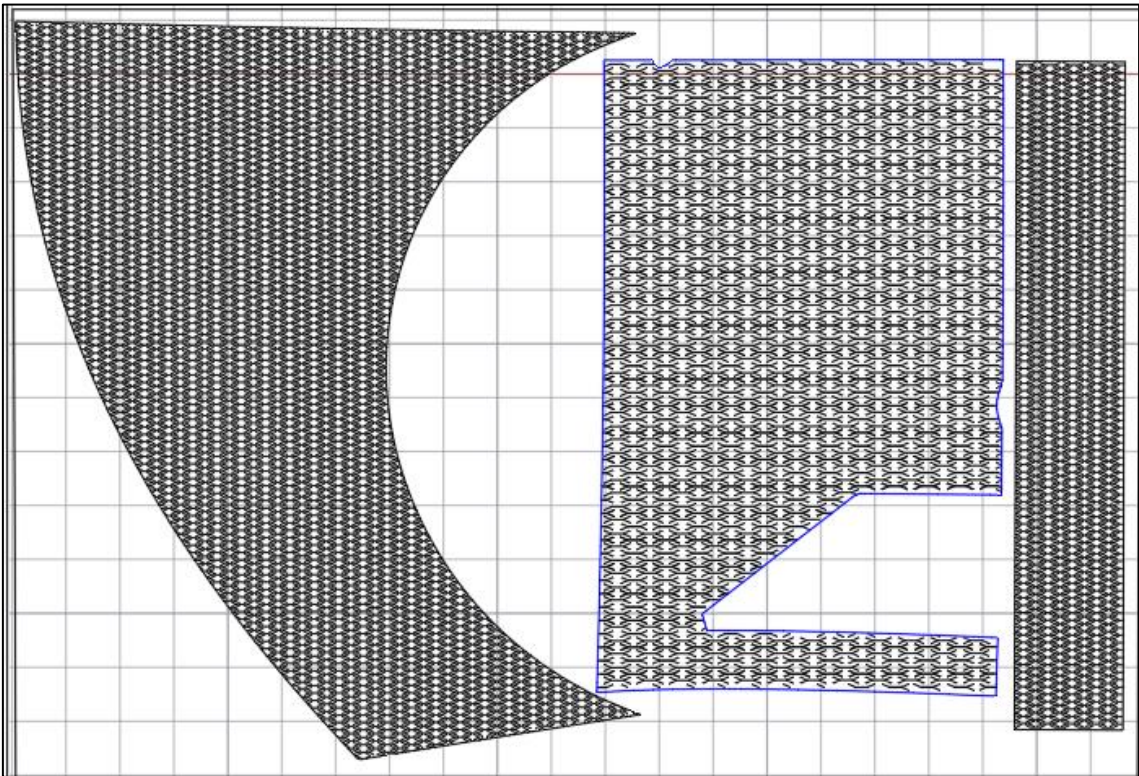
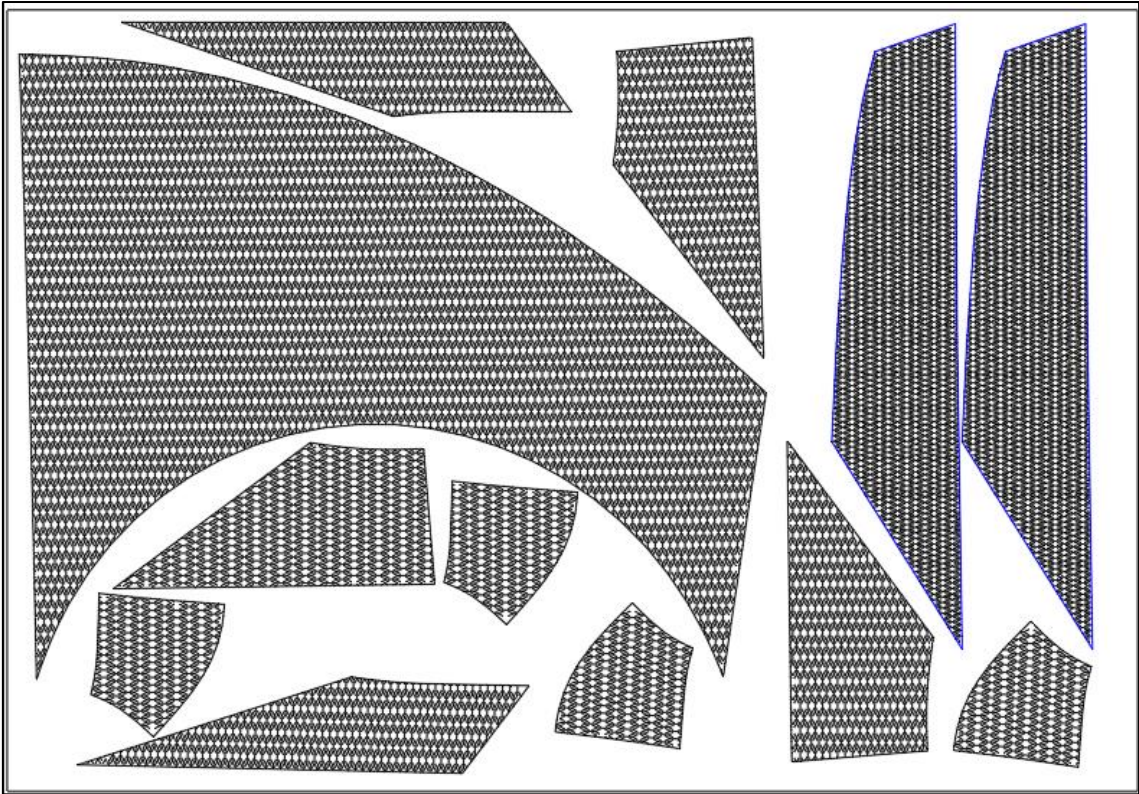
- BUESTAN, B., & PERALTA, C. (2023). *DISEÑO DE LA CARROCERÍA PARA UN CHASIS AUTÓNOMO PIXKIT PARA LA MOVILIZACIÓN DE PERSONAS CON PARAPLEJIA*.
- César, I., & Christian, M. (2017). *Diseño de elemento de seguridad para interior de habitáculo de automóvil*.
- CONADIS. (2023). *Consejo Nacional para la Igualdad de Discapacidades*.
- CORTÉS, J. (2007). *SEGURIDAD E HIGIENE DEL TRABAJO Técnicas de Prevención de Riesgos Laborales*.
- DE LA VEGA, E., LOPEZ, O., & SOTO, S. (2004). *ANTROPOMETRÍA PARA DISCAPACITADOS*.
- Dols, J. (2016). *DISEÑO ERGONÓMICO DE VEHÍCULOS AUTOMÓVILES PARA SU ADAPTACIÓN A CONDUCTORES CON MOVILIDAD REDUCIDA*. [https://www.researchgate.net/publication/309763009\\_DISEÑO\\_ERGONÓMICO\\_DE\\_VEHÍCULOS\\_AUTOMÓVILES\\_PARA\\_SU\\_ADAPTACIÓN\\_A\\_CONDUCTORES\\_CON\\_MOVILIDAD\\_REDUCIDA](https://www.researchgate.net/publication/309763009_DISEÑO_ERGONÓMICO_DE_VEHÍCULOS_AUTOMÓVILES_PARA_SU_ADAPTACIÓN_A_CONDUCTORES_CON_MOVILIDAD_REDUCIDA)
- Dols, J., & Vázquez, I. (2016). *Accesibilidad, seguridad y diseño para todos en el transporte*.
- ISO 10542-1:2012. (2012). *Technical systems and aids for disabled or handicapped persons-Wheelchair tiedown and occupant-restraint systems-Part 1: Requirements and test methods for all systems*. [www.iso.org](http://www.iso.org)
- Latin NCAP. (2011). *Impacto Frontal*. <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos/pasajero-adulto/impacto-frontal>
- Lizano, C. (2017). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA TUBULAR PARA LA CARROCERÍA DEL PROTOTIPO DE UN AUTO ELÉCTRICO BIPLAZA UTACIM17*.
- MANJARRÉS, F., & SANTILLÁN, E. (2016). *ANÁLISIS ESTRUCTURAL A CARGAS DE IMPACTO FRONTAL DE UN BUS TIPO INTERPROVINCIAL MEDIANTE EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS*.
- Martínez, A. (2016). *ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS DE LOS ANCLAJES DE CINTURONES DE SEGURIDAD EN ASIENTOS DE AUTOBÚS INTERPROVINCIAL PARA VERIFICAR SU RESISTENCIA SEGÚN LA NORMA NTE INEN 2704 EN LA EMPRESA MIVILTECH SOLUCIONES INDUSTRIALES S. A*".
- MINISTERIO DE INCLUSIÓN ECONÓMICA Y SOCIAL. (2013). *PROPUESTA DE ATENCIÓN INTEGRAL PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD*.

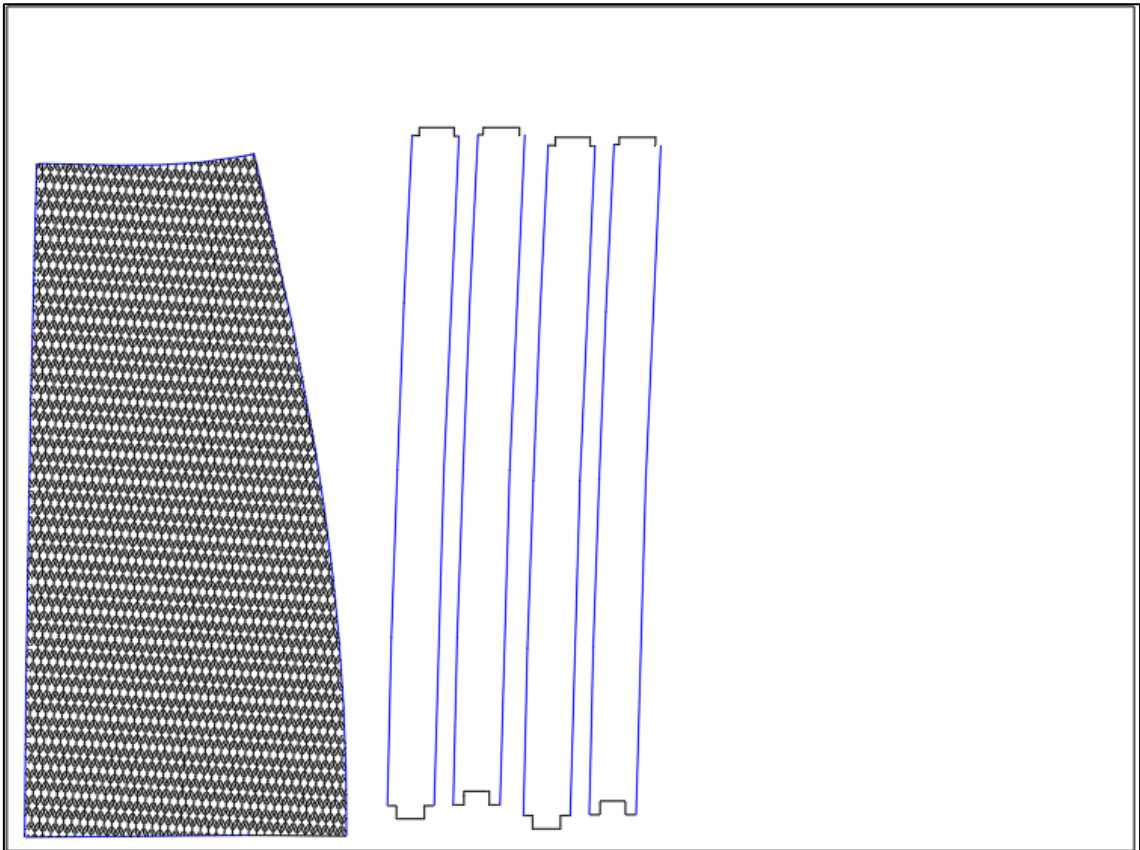
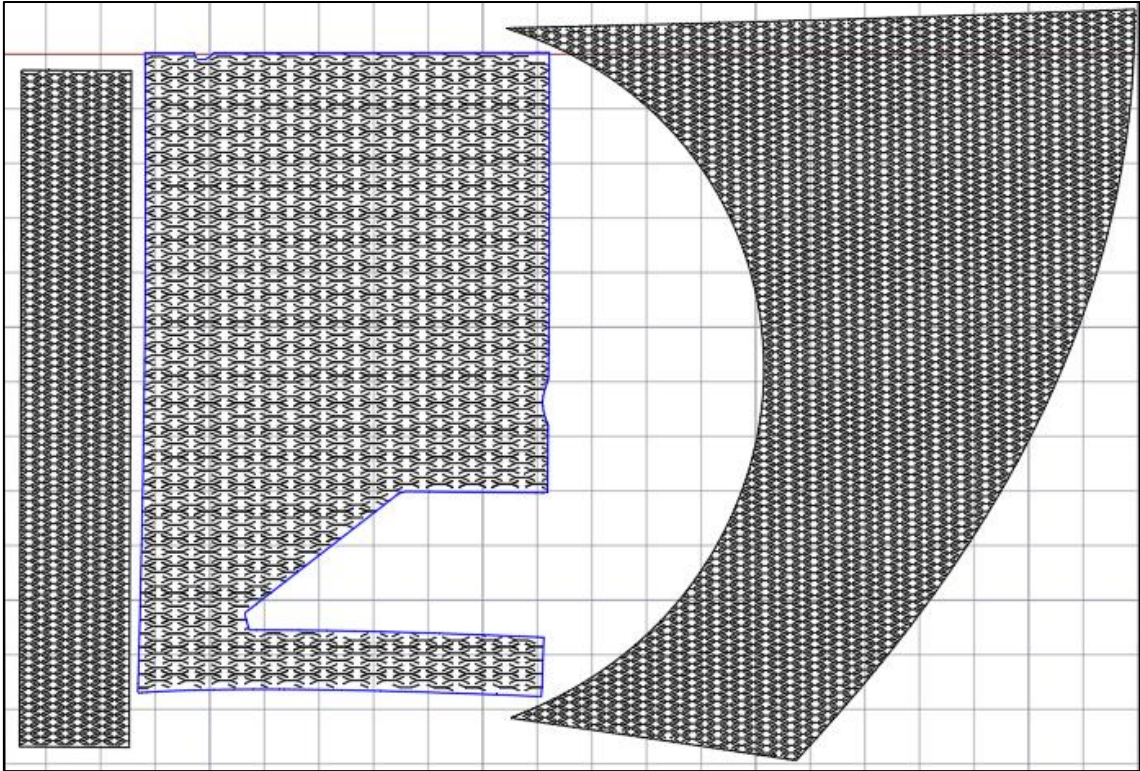
- MONCADA, R., & PEÑALOZA, G. (2022). *ANÁLISIS DEL HABITÁCULO DE UN CAMIÓN TIPO N3 DURANTE UNA COLISIÓN FRONTAL.*
- NTE INEN 1323:2009. (2009). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS.*
- NTE INEN 1668:2015. (2015). *VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL. REQUISITOS.*
- NTE INEN 2704:2013. (2013). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES. ANCLAJES DEL CINTURON DE SEGURIDAD PARA VEHÍCULOS.*
- NTE INEN 2708:2013. (2013). *VEHÍCULOS AUTOMOTORES. ASIENTOS DE VEHÍCULOS DE GRANDES DIMENSIONES PARA EL TRANSPORTE DE PASAJEROS. RESISTENCIA DE LOS ASIENTOS Y DE SUS ANCLAJES. REQUISITOS Y MÉTODO DE ENSAYO.*
- NTE INEN 2853:2014. (2014). *RAMPAS PARA EL INGRESO Y EGRESO DE PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA A VEHÍCULOS PARA EL TRANSPORTE TERRESTRE DE PASAJEROS.*
- ORELLANA, L., & ORELLANA, M. (2020). *ANÁLISIS DE LAS FUERZAS GENERADAS EN LA ESTRUCTURA DE UN BUS DE SERVICIO DE TRANSPORTE DE PASAJEROS DURANTE UNA RUTA DE SERVICIO.*
- Piquer, A. (2020). *Rediseño del sistema de anclaje de un cinturón de seguridad de un vehículo con materiales ligeros.*
- Porterfield, A. (2017, October 14). *Madera Curvada Con Un Cortador Láser.* <https://www.instructables.com/Madera-curvado-doblado-1%C3%A1ser/>
- RTE INEN 043:2015. (2015). *VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRAREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL.* [www.normalizacion.gob.ec](http://www.normalizacion.gob.ec)
- URRUTIA, F. (2016). *CARACTERÍSTICAS ANTROPOMÉTRICAS DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD MÓVIL INFERIOR Y SU INCIDENCIA EN EL DISEÑO DE UNA SILLA DE RUEDAS.*

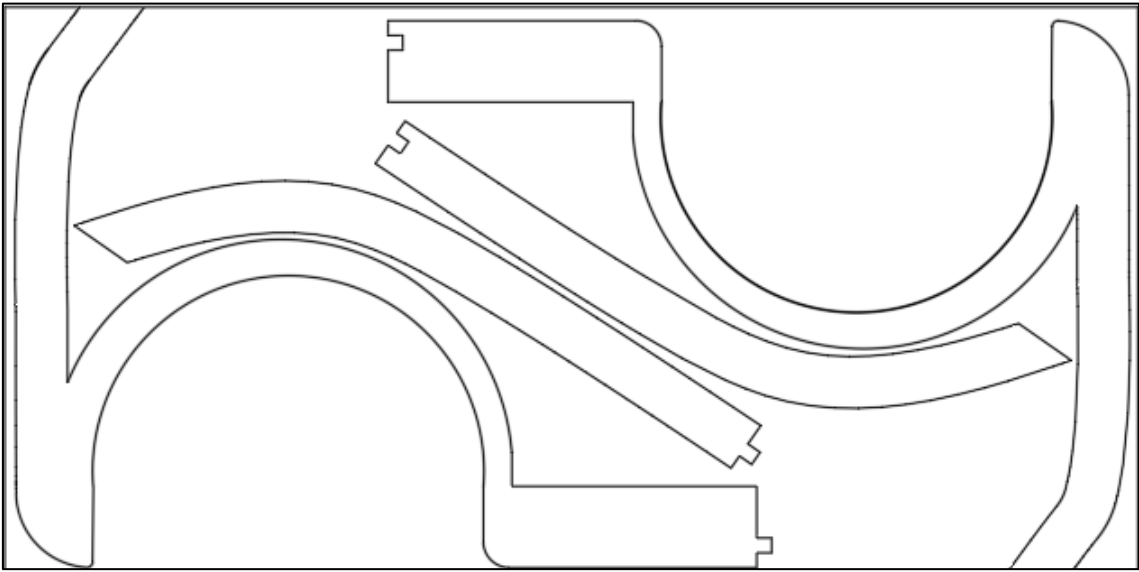
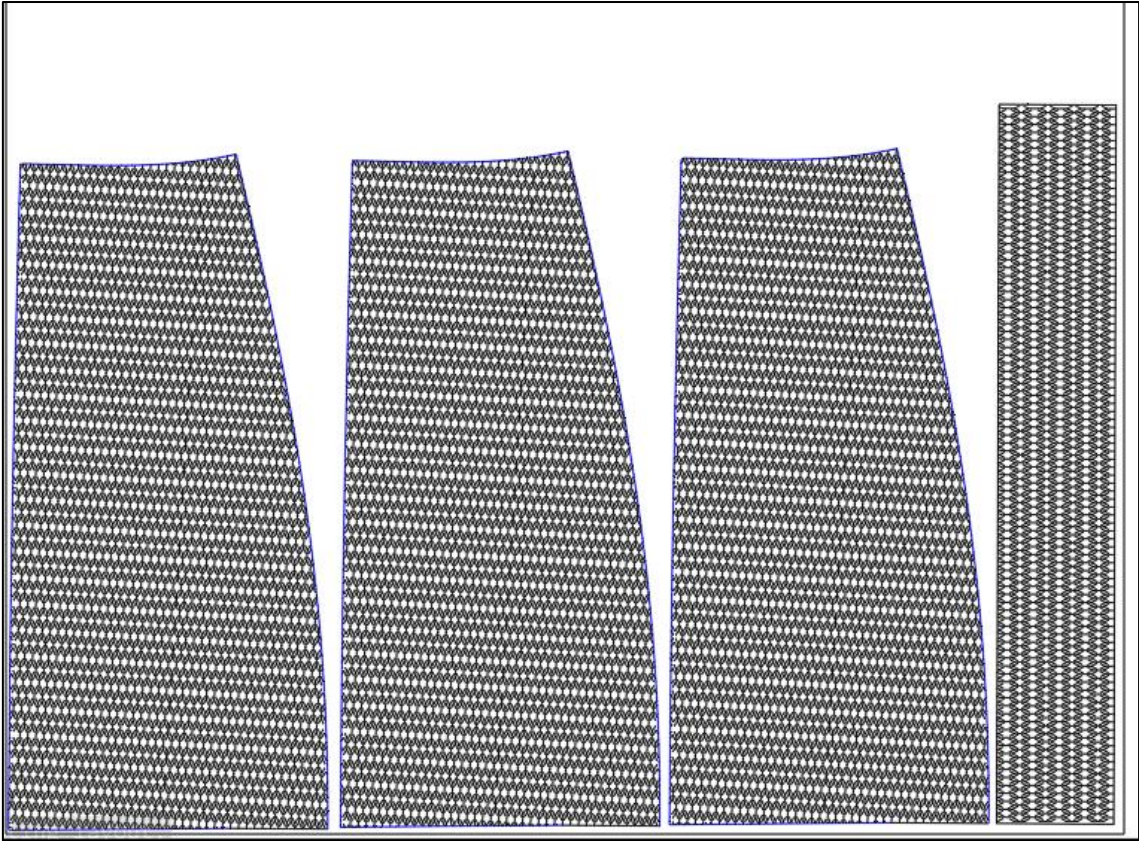
## 10. ANEXOS

### Planos para el mecanizado en CNC y corte laser



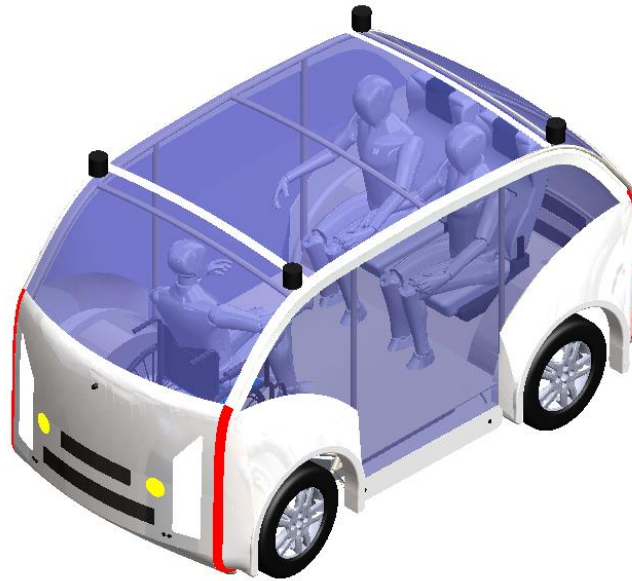






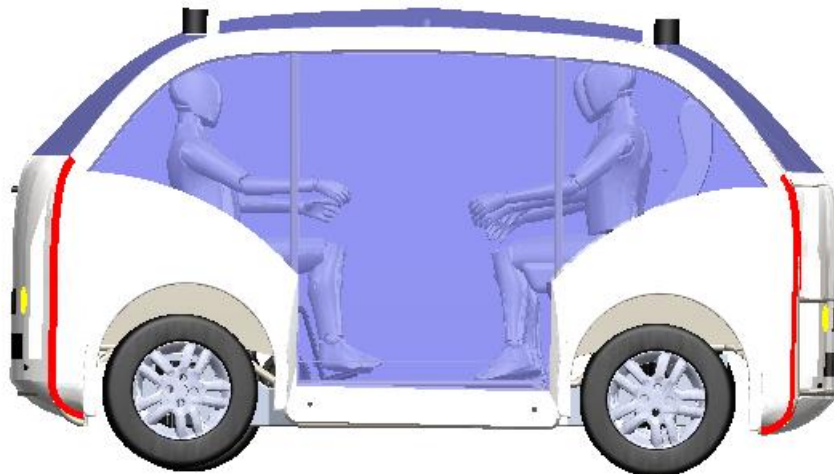
**Corrección de la altura de la carrocería.**

**Figura 95** *Vista isométrica de la distribución del habitáculo*



*Nota.* Esta figura presenta la disposición de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT con correcciones de altura realizadas. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.

**Figura 96** *Vista lateral de la disposición interior del habitáculo.*



*Nota.* Esta figura presenta la disposición de la distribución de elementos en el habitáculo del vehículo autónomo PIXKIT con las correcciones realizadas. Tomado de Autores, realizado en solidworks2023.