



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

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

**TEMA:**

**ANÁLISIS DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES  
APLICADOS EN UN PARACHOQUES FRONTAL BAJO CONDICIONES DE  
IMPACTO EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS PIERNAS**

**AUTORES: SAMI ALDAIR QUIMBIAMBA QUILISMAL**

**HÉCTOR SAÚL URCUANGO YALAMÁ**

**DIRECTOR: ING. RAMIRO ANDRÉS ROSERO AÑAZCO, Msc.**

**IBARRA, 2023**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

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

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ANÁLISIS DE MATERIALES COMPUESTOS CON FIBRAS NATURALES APLICADOS EN UN PARACHOQUES FRONTAL BAJO CONDICIONES DE IMPACTO EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS PIERNAS" presentado por el señor Quimbiamba Quilismal Sami Aldair con número de cédula 1728198118 y el señor Urcuango Yalamá Héctor Saúl con número de cédula 1003939012, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, al 01 día del mes de diciembre del 2023.

Atentamente



Ing. Ramiro Rosero Msc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

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

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1728198118		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Quimbiamba Quilismal Sami Adair		
DIRECCIÓN:	Pichincha - Cayambe		
EMAIL:	<a href="mailto:saquimbiambaq@utn.edu.ec">saquimbiambaq@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	02 2362417	TELÉFONO MÓVIL:	0979573137

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003939012		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Urcuango Yalamá Héctor Saúl		
DIRECCIÓN:	Pimampiro – Mariano Acosta		
EMAIL:	<a href="mailto:hsurcuangoy@utn.edu.ec">hsurcuangoy@utn.edu.ec</a>		
TELÉFONO FIJO:	06 2680064	TELÉFONO MÓVIL:	0991494155

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	Análisis de materiales compuestos con fibras naturales aplicados en un parachoques frontal bajo condiciones de impacto en la parte superior de las piernas
AUTOR (ES):	Quimbiamba Quilismal Sami Adair Urcuango Yalamá Héctor Saúl
FECHA:	01/12/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Ramiro Andrés Rosero Añazco, MSc.

## 2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, al 01 día del mes de diciembre de 2023

### AUTORES:



.....  
Quimbiamba Quilismal Sami Adair



.....  
Urcuango Yalamá Héctor Saúl

## **DEDICATORIA**

Este trabajo va dedicado para mi madre Alicia Quilismal quien me ha apoyado durante todo el trayecto de mi carrera académica y con su amor, trabajo y sacrificio me ha llevado hasta el final de este camino. A mi padre Jorge Quimbiamba la persona de la que he aprendido como ser mejor persona cada día y me ha mostrado el camino de la vida académica y del trabajo duro.

A mi hermano Stiven y a mi hermana Jennifer con los que he compartido muchas experiencias, de las cuales he aprendido mucho y por quienes me he esforzado tanto durante cada momento en el campus. A Blanca Quimbiamba quien se ha preocupado muchas veces por mi desempeño académico y me ha ayudado muchas veces a superar varias adversidades. Para Isabel Yaguarcota una de las personas a las que más le dedico este trabajo por su constancia en ayudar me a mí en mi crecimiento personal. Y para toda mi familia, de quienes he aprendido muchas cosas y con quienes sigo compartiendo momentos importantes y me han enseñado valores que han influido durante toda mi vida académica y me han servido para superar cada prueba que se ha presentado durante cada etapa de la universidad y me servirán para mi crecimiento profesional.

### **Sami Aldair Quimbiamba Quilismal**

Dedico este trabajo de tesis a mis padres José Urcuango y Elsa Yalamá, porque gracias a su amor y valores me han formado como una buena persona, me han enseñado siempre a no rendirme y que siempre luche por mis sueños y metas, que por muy difícil que sea el camino y las situaciones, todo es posible si se hacen las cosas con amor y se trabaja cada día por ello. A mi hermana Yuri que también ha sido ese impulso que me ha ayudado a seguir día a día, gracias por hacerme sonreír y hacerme saber que siempre hay algo porque luchar. A mis abuelitos y mis tíos que son el pilar de mi vida y que siempre me han dado su apoyo y amor incondicional.

También a Arelis que me ha acompañado a lo largo de este trayecto y que con sus consejos, disciplina y amor me ha motivado siempre a trabajar por mis sueños, a no rendirme nunca y mejorar cada día.

**Héctor Saúl Urcuango Yalamá**

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte que me ha permitido formarme de manera humana y académica durante el tiempo que me acogió en su resguardo y me ha preparado de distintas formas para desempeñar actividades que involucran el conocimiento que se me ha dado en sus instalaciones para mejorar y trabajar en el desarrollo de la sociedad y ampliar el camino para el conocimiento colectivo en el Ecuador.

Al Ing. Ramiro Rosero que se ha encargado de guiarnos durante esta dura y larga travesía y de quien he adquirido una gran cantidad de conocimiento en varias áreas de la carrera y al equipo docente que se ha involucrado en cada nivel impartiendo su cantidad de conocimiento para guiarnos en el camino de este extenso campo de estudio.

Y de nuevo, a toda mi familia que han sido un gran apoyo y ha sido el pilar fundamental para continuar recorriendo el camino del conocimiento técnico, práctico y humano en función de ayudar a la sociedad.

**Sami Aldair Quimbiamba Quilismal**

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y a mis padres por todo el sacrificio y esfuerzo realizado para que yo tenga la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, gracias porque nada de esto hubiese sido posible sin su apoyo.

A la Universidad Técnica del Norte, a todos los maestros de la carrera de Ingeniería Automotriz, a mis compañeros y cada una de las personas que compartieron parte de su conocimiento y me ayudaron a formarme en esta maravillosa carrera.

Al Ing. Ramiro Rosero Msc. que como maestro y tutor supo guiarnos con paciencia y dedicación para poder culminar con la tesis de grado.

**Héctor Saúl Urcuango Yalamá**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvi</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>1. PERFIL DEL PROYECTO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	1
1.1.1 OBJETIVO GENERAL .....	1
1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	1
1.3 ALCANCE.....	3
1.4 ANTECEDENTES .....	4
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>2 MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1 CIENCIA DE LOS MATERIALES .....	6
2.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES .....	7
2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS .....	7
2.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS .....	11
2.2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS .....	11
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES.....	17
2.3.1 METALES Y ALEACIONES.....	18
2.3.2 POLÍMEROS .....	18
2.4 MATERIALES COMPUESTOS.....	19
2.4.1 TIPOS DE MATERIALES COMPUESTOS.....	20
2.4.2 PROPIEDADES FÍSICAS .....	22
2.4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS .....	23
2.5 FIBRA DE CABUYA .....	23
2.6 FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR .....	23
2.7 SEGURIDAD VEHICULAR .....	24
2.7.1 SEGURIDAD ACTIVA.....	24
2.7.2 SEGURIDAD PASIVA .....	24
2.7.3 CARROCERÍA .....	25
2.8 SEGURIDAD A PEATONES .....	27
2.8.1 USUARIOS VULNERABLES DE LA CARRETERA .....	28

2.8.2	IMPACTO EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS PIERNAS .....	28
2.8.3	CRITERIOS Y VALORES LÍMITE PARA LAS PRUEBAS DE IMPACTO.....	29
2.8.4	MANIQUÍ PARA ENSAYO DE CHOQUE.....	30
2.9	SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN.....	31
2.9.1	SOLIDWORKS .....	31
2.9.2	LS-Dyna .....	32
2.10	ANÁLISIS FEM.....	32
2.10.1	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ANÁLISIS FEM.....	33
2.10.2	ETAPAS DEL PROCESAMIENTO.....	35
<b>CAPITULO III .....</b>		<b>36</b>
<b>3</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
3.1.	METODOLOGÍA .....	36
3.2.	ANALISIS BIBLIOGRÁFICO .....	36
3.2.1.	USUARIO VULNERABLE DE LA VÍA – PROTOCOLO DE PRUEBA..	37
3.2.2.	USUARIO VULNERABLE DE LA VÍA – PROTOCOLO DE EVALUACIÓN.....	38
3.3.	CONDICIONES VEHÍCULO .....	39
3.3.1	MODELADO .....	39
3.4.	CONDICIONES DUMMY.....	42
3.4.1.	GEOMETRÍA .....	43
3.4.2.	ACELERÓMETROS .....	43
3.5.	ENSAYOS REALES DE LAS PROBETAS BAJO NORMATIVA ASTM.....	44
3.5.1.	CONDICIONES DE LAS PROBETAS .....	45
3.5.2.	FABRICACIÓN DE PROBETAS .....	46
3.5.3	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO.....	49
3.6	VALIDACIÓN DE ENSAYOS.....	50
3.6.1	MODELADO DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN.....	50
3.6.2	VALIDACIÓN DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CABUYA.....	54
3.6.3	VALIDACIÓN DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR.....	58



3.6.4	VALIDACIÓN DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CABUYA.....	63
3.6.5	VALIDACIÓN DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR.....	65
3.7	SIMULACION IMPACTO .....	68
3.7.1	PREPROCESAMIENTO .....	68
3.7.2	MATERIALES.....	71
3.7.3	ASIGNACIÓN DEL MATERIAL Y ESPESORES.....	74
3.7.4	POSICIÓN DEL MANIQUÍ.....	75
3.7.5	SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO.....	76
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>81</b>
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>81</b>
4.1	SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL ORIGINAL DEL GUARDACHOQUE.....	81
4.1.1	FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS.....	82
4.1.2	FUERZA RESULTANTE DE LA PELVIS.....	83
4.1.3	FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR.....	83
4.1.4	ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARDACHOQUE FRONTAL. 84	
4.2	SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CABUYA EN EL GUARDACHOQUE.....	85
4.2.1	FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS.....	86
4.2.2	FUERZA G RESULTANTE DE LA PELVIS.....	86
4.2.3	FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR.....	87
4.2.4	ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARDACHOQUE FRONTAL. 87	
4.3	SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL GUARDACHOQUE .....	89
4.3.1	FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS.....	90
4.3.2	FUERZA RESULTANTE DE LA PELVIS.....	90
4.3.3	FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR.....	91
4.3.4	ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARCHOQUE FRONTAL .....	91
4.4	SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL ACERO A36 EN EL GUARDACHOQUE .....	93
4.4.1	FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS.....	94
4.4.2	FUERZA RESULTANTE DE LA PELVIS.....	94

4.4.3	FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR.....	95
4.4.4	ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARCHOQUE FRONTAL .....	96
4.5	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	97
4.5.1	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DEL MATERIAL ORIGINAL CON ARTÍCULOS DE SIMULACIONES DE OTROS VEHÍCULOS A 40 KM/H.....	97
4.5.2	COMPARACIÓN DE FUERZAS G EN LA PELVIS .....	99
4.5.3	COMPARACIÓN DE FUERZAS RESULTANTES DE LA PELVIS .	100
4.5.4	COMPARACIÓN DE FUERZAS RESULTANTES EN EL FÉMUR .	101
<b>CAPITULO V .....</b>		<b>102</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>102</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	102
5.2	RECOMENDACIONES.....	105
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>106</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>111</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Tabla 2.1</b> Conductividad térmica y calor específico para varios materiales a temperatura ambiente .....	10
<b>Tabla 2.2</b> Clasificación Hybrid III .....	31
<b>Tabla 3.1</b> Descripción del modelado final del vehículo tipo SUV .....	41
<b>Tabla 3.2</b> Estructura de probetas de caña de azúcar .....	45
<b>Tabla 3.3</b> Estructura de probetas de cabuya .....	46
<b>Tabla 3.4</b> Requisitos geométricos de las probetas de tracción .....	47
<b>Tabla 3.5</b> Resultados de los ensayos para las probetas de caña de azúcar .....	49
<b>Tabla 3.6</b> Resultados de los ensayos para las probetas de cabuya .....	50
<b>Tabla 3.7</b> Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya (Ensayo de tracción).....	54
<b>Tabla 3.8</b> Propiedades del material resina epóxica .....	55
<b>Tabla 3.9</b> Propiedades del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya ..	56
<b>Tabla 3.10</b> Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar (Ensayo de tracción) .....	59
<b>Tabla 3.11</b> Propiedades del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar .....	61
<b>Tabla 3.12</b> Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya (ensayo de flexión) .....	64
<b>Tabla 3.13</b> Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar (ensayo de flexión) .....	66
<b>Tabla 3.14</b> Unidades asignadas .....	68
<b>Tabla 3.15</b> Característica de la malla del vehículo.....	70
<b>Tabla 3.16</b> Propiedades del material plástico exportado .....	72
<b>Tabla 3.17</b> Propiedades del material Acero A36.....	73
<b>Tabla 3.18</b> Información del entorno virtual de simulación .....	77
<b>Tabla 3.19</b> Condiciones del entorno virtual de simulación de atropellamiento .....	80
<b>Tabla 4.1</b> Resumen y comparación de los resultados de la simulación del material original con artículos de simulaciones de otros vehículos .....	99
<b>Tabla 4.2</b> Comparación de fuerzas G producidas en la pelvis.....	99
<b>Tabla 4.3</b> Comparación de la sumatoria de fuerzas producidas en la pelvis .....	100
<b>Tabla 4.4</b> Comparación de las fuerzas resultantes en el fémur .....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINA</b>
<b>Figura 2.1</b> Curva Esfuerzo deformación real .....	13
<b>Figura 2.2</b> Curva esfuerzo – deformación ingenieril.....	13
<b>Figura 2.3</b> Recta esfuerzo – deformación elástica.....	14
<b>Figura 2.4</b> Máquina de ensayo de tracción.....	16
<b>Figura 2.5</b> Ensayo de flexión .....	17
<b>Figura 2.6</b> Resistencia representativas de varias categorías de materiales, la resistencia de la cerámica es a la compresión.....	19
<b>Figura 2.7</b> Diagrama de relación entre la resistencia a la tensión y la cantidad de fibra de vidrio de un material compuesto.....	20
<b>Figura 2.8</b> Compuesto eléctrico de plata tungsteno .....	21
<b>Figura 2.9</b> Vista de un material compuesto laminar (madera contrachapada) .....	22
<b>Figura 2.10</b> Planta de cabuya .....	23
<b>Figura 2.11</b> Planta de caña de azúcar .....	23
<b>Figura 2.12</b> Materiales en la carrocería.....	25
<b>Figura 2.13</b> Secciones de la carrocería.....	26
<b>Figura 2.14</b> Fuerza de impacto dispersado por la estructura .....	27
<b>Figura 2.15</b> Impacto en la parte superior de las piernas .....	29
<b>Figura 2.16</b> Criterios y valores límite para pruebas de impacto.....	29
<b>Figura 2.17</b> Maniquí antropomórfico .....	30
<b>Figura 2.18</b> Subdominios de una pieza realizados por software .....	33
<b>Figura 2.19</b> Mallado FEM.....	34
<b>Figura 3.1</b> Secuencia de la metodología a seguir para la realización de la simulación.....	36
<b>Figura 3.2</b> Etiquetado de los puntos de cuadrícula del simulador de pierna superior .....	37
<b>Figura 3.3</b> Medidas generales del vehículo tipo SUV modelado (vista lateral izquierda y vista frontal).....	40
<b>Figura 3.4</b> Dummy peatón masculino percentil 50 Hybrid III real y simulado en LS-DYNA ..	42
<b>Figura 3.5</b> Dummy y sus componentes .....	43
<b>Figura 3.6</b> Ubicación de acelerómetros en el dummy .....	44
<b>Figura 3.7</b> Ensayo de flexión con un solo punto de carga.....	48
<b>Figura 3.8</b> Ensayo de flexión tipo B, con dos puntos de carga .....	48
<b>Figura 3.9</b> Dibujo de la muestra de ensayo de flexión estándar.....	49
<b>Figura 3.10</b> Dimensión de las probetas para ensayos de tracción .....	50
<b>Figura 3.11</b> Modelado de la probeta para ensayo de tracción .....	51
<b>Figura 3.12</b> Ubicación aproximada de los puntos de anclaje de la probeta .....	51
<b>Figura 3.13</b> Mallado de la probeta a 2 mm .....	51
<b>Figura 3.14</b> Selección de la ubicación de las mordazas .....	52

<b>Figura 3.15</b> Ubicación de la Fuerza máxima promedio de la probeta de material compuesto...	52
<b>Figura 3.16</b> Dimensión de las probetas para ensayos de tracción .....	52
<b>Figura 3.17</b> Modelado de la probeta para ensayo de flexión .....	53
<b>Figura 3.18</b> Mallado de la probeta a 2 mm .....	53
<b>Figura 3.19</b> Ubicación de la fuerza máxima promedio de la probeta de material compuesto ...	53
<b>Figura 3.20</b> Curva de carga máxima vs deformación del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya .....	55
<b>Figura 3.21</b> Ingreso de las propiedades del material compuesto a base de resina epoxi con fibra de cabuya.....	56
<b>Figura 3.22</b> Curva característica del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya .....	57
<b>Figura 3.23</b> Esfuerzo máximo antes de la rotura del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya.....	57
<b>Figura 3.24</b> Curva de carga máxima vs deformación del material compuesto compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar.....	60
<b>Figura 3.25</b> Ingreso de las propiedades del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar .....	61
<b>Figura 3.26</b> Curva característica del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar .....	62
<b>Figura 3.27</b> Esfuerzo máximo antes de la rotura del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar.....	62
<b>Figura 3.28</b> Fuerza aplicada en punzón de ensayo de flexión máx. 121 N .....	64
<b>Figura 3.29</b> Desplazamiento de probeta en ensayo de flexión máx. 15.4 mm.....	65
<b>Figura 3.30</b> Fuerza aplicada en punzón de ensayo de flexión máx. 34.71 N.....	67
<b>Figura 3.31</b> Desplazamiento en x de probeta de caña de azúcar en ensayo de flexión máx. 14.51 mm .....	67
<b>Figura 3.32</b> Modelo de vehículo tipo SUV mallado a 25 mm .....	69
<b>Figura 3.33</b> Vistas generales del mallado.....	70
<b>Figura 3.34</b> Índice de criterio jacobiano de malla.....	70
<b>Figura 3.35</b> Verificación de la calidad de malla.....	71
<b>Figura 3.36</b> Propiedades del material plástico exportado .....	72
<b>Figura 3.37</b> Gráfica de la curva esfuerzo deformación del plástico utilizado en el guardachoque del Toyota Venza .....	73
<b>Figura 3.38</b> Propiedades del material Acero A36 .....	74
<b>Figura 3.39</b> Gráfica de la curva esfuerzo deformación del acero A36.....	74
<b>Figura 3.40</b> Asignación de material y espesores .....	75
<b>Figura 3.41</b> Posición del maniquí frente al vehículo.....	75
<b>Figura 3.42</b> Entorno virtual de simulación para el atropellamiento de una persona .....	76
<b>Figura 3.43</b> Restricciones de desplazamiento y rotación del piso.....	77
<b>Figura 3.44</b> Curva de velocidad a 40 km/h .....	78

<b>Figura 3.45</b> Velocidad de 40 km/h asignada al vehículo .....	79
<b>Figura 3.46</b> Contactos asignados entre todos los componentes .....	79
<b>Figura 4.1</b> Secuencia de atropellamiento con el material original de un guardachoque .....	81
<b>Figura 4.2</b> Estado final del capó y guardachoque frontal.....	82
<b>Figura 4.3</b> Fuerza G producida en la pelvis simulación 1 .....	82
<b>Figura 4.4</b> Fuerza producida en la pelvis simulación 1 .....	83
<b>Figura 4.5</b> Fuerza producida en el fémur simulación 1 .....	83
<b>Figura 4.6</b> Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación 1 .....	84
<b>Figura 4.7</b> Secuencia de atropellamiento con el material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de cabuya en el guardachoque .....	85
<b>Figura 4.8</b> Estado final del capó y guardachoque frontal simulación 2 .....	86
<b>Figura 4.9</b> Fuerza G producida en la pelvis simulación 2.....	86
<b>Figura 4.10</b> Fuerza producida en la pelvis simulación 2.....	87
<b>Figura 4.11</b> Fuerza producida en el fémur simulación 2.....	87
<b>Figura 4.12</b> Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación 2 .....	88
<b>Figura 4.13</b> Secuencia de atropellamiento con el material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de caña de azúcar en el guardachoque .....	89
<b>Figura 4.14</b> Estado final del capó y guardachoque frontal simulación 3 .....	90
<b>Figura 4.15</b> Fuerza G producida en la pelvis simulación 3.....	90
<b>Figura 4.16</b> Fuerza producida en la pelvis simulación 3.....	91
<b>Figura 4.17</b> Fuerza producida en el fémur simulación 3.....	91
<b>Figura 4.18</b> Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación 3 .....	92
<b>Figura 4.19</b> Secuencia de atropellamiento con el material acero A36 en el guardachoque .....	93
<b>Figura 4.20</b> Estado final del capó y guardachoque frontal simulación 4 .....	94
<b>Figura 4.21</b> Fuerza G producida en la pelvis simulación 4.....	94
<b>Figura 4.22</b> Fuerza producida en la pelvis simulación 4.....	95
<b>Figura 4.23</b> Fuerza producida en el fémur simulación 4.....	95
<b>Figura 4.24</b> Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación 4 .....	96
<b>Figura 4.25</b> Aceleración resultante en la pelvis .....	97
<b>Figura 4.26</b> Fuerza resultante de contacto de la pelvis .....	98

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>ANEXO I</b> DATOS DEL ACERO EXPORTADO DEL VEHÍCULO TOYOTA VENZA .....	112
<b>ANEXO II</b> DATOS DEL VIDRIO TEMPLADO DEL VEHÍCULO TOYOTA VENZA.....	113
<b>ANEXO III</b> FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CABUYA .....	114
<b>ANEXO IV</b> FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR ...	115
<b>ANEXO V</b> FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CABUYA .....	116
<b>ANEXO VI</b> FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR ...	117
<b>ANEXO VII</b> PLANOS DEL VEHÍCULO UTILIZADOS EN EL MODELADO .....	118

## RESUMEN

El trabajo de titulación, “Análisis de materiales compuestos con fibras naturales aplicados en un parachoques frontal bajo condiciones de impacto en la parte superior de las piernas” se basa en: analizar el comportamiento del material compuesto a base de fibra de caña de azúcar y cabuya en el guardachoque frontal del vehículo, a través de simulación de impacto con la parte superior de las piernas de un peatón bajo condiciones NCAP. Esto empieza con analizar la documentación sobre el usuario vulnerable de la vía relacionado a: fuerzas producidas por el impacto, puntos de prueba y otros reglamentos (GTR9) que consideran un rango de fuerzas producidas diferente de NCAP.

Se definen las condiciones del vehículo y del dummy, luego analizar los datos sobre ensayos reales de validación de las probetas (condiciones de fracción volumétrica de probetas, fabricación), normativa de ensayos de tracción y flexión (ASTM D3039 - D7264) para el modelado en software CAD (SolidWorks) con medidas de largo, ancho, espesor, y exportar las geometrías al software CAE (LS Dyna) aplicando el mallado, la ubicación de la fuerzas, mordazas/puntos de apoyo y realizar la simulación con las cartas de control de los materiales hechas con datos de trabajos previos para comparar los resultados con los datos promedio de fichas de ensayos reales así continuando con el proceso. El proceso de la simulación se realizó con el preprocesamiento del vehículo (asignación y validación del mallado), asignación de materiales (acero A36, plástico, resina epoxi con fibra de cabuya, caña de azúcar) y condiciones necesarias (contactos, velocidad, restricciones).

Los resultados de las simulaciones y comparación entre ensayo real vs simulación fueron, en ensayos de tracción (cabuya): 0,06370GPa vs 0,058GPa error del 8%, (caña): 0,02419GPa vs. 0,023GPa error del 5%. En flexión 18,38mm vs. 15,4mm variación 5mm, (caña): 17,80mm vs. 14,51mm y variación de 3,29mm. En las simulaciones de impacto se evaluó fuerza G y fuerza resultante en pelvis, fuerza resultante en fémur, esfuerzo máx. y flexión del parachoques para cada uno de los materiales, con los cuales se determinó que estos materiales compuestos en base de resina epóxica con fibra de cabuya y de caña de azúcar, no son recomendables para la aplicación en el parachoques frontal, sin embargo, podrían utilizarse en zonas donde la elasticidad y flexión son las características deseadas.



## ABSTRACT

The degree work, "Analysis of natural fibre composite materials applied in a front bumper under upper leg impact conditions" is based on: analysing the behaviour of the composite material based on sugar cane fibre and cabuya in the front bumper of the vehicle, through simulated pedestrian upper leg impact under NCAP conditions. This starts with analysing vulnerable road user documentation related to: impact forces, test points and other regulations (GTR9) that consider a different range of impact forces than NCAP.

Define the vehicle and dummy conditions, then analyse the data on real test specimen validation tests (test specimen volume fraction conditions, manufacturing), tensile and flexural test standards (ASTM D3039 - D7264) for modelling in CAD software (SolidWorks) with length, width, thickness measurements, and export the geometries to CAE software (LS Dyna) applying the meshing, location of forces, grips/support points and perform the simulation with the control charts of the materials made with data from previous works to compare the results with the average data from real test sheets and thus continuing with the process. The simulation process was carried out with vehicle pre-processing (mesh assignment and validation), material assignment (A36 steel, plastic, epoxy resin with cabuya fibre, sugar cane) and necessary conditions (contacts, speed, constraints).

The results of the simulations and comparison between real test vs. simulation were, in tensile tests (cabuya): 0.06370GPa vs. 0.058GPa error of 8%, (cane): 0.02419GPa vs. 0.023GPa error of 5%. In bending 18.38mm vs. 15.4mm variation 5mm, (shank): 17.80mm vs. 14.51mm and variation of 3.29mm. In the impact simulations, G-force and resultant force in the pelvis, resultant force in the femur, maximum stress and bending of the bumper were evaluated for each of the materials, with which it was determined that these composite materials based on epoxy resin with cabuya, and sugar cane fibre are not recommended for application in the front bumper, however, they could be used in areas where elasticity and bending are the desired characteristics.

## INTRODUCCIÓN

El uso de los elementos estructurales en el vehículo es un tema de interés debido a que se utilizan para salvaguardar la vida ya sea de los ocupantes del vehículo, así como la de los usuarios vulnerables de la vía o a su vez reducir considerablemente los daños que se puedan provocar en el caso de un accidente de tránsito. Actualmente se trabaja en estructuras que reduzcan aún más el daño en las partes del cuerpo que resultan más afectadas durante el impacto producido en un accidente, esto se traduce en la utilización de nuevos tipos de materiales que puedan satisfacer las necesidades futuras en el ámbito de seguridad vial, además contribuir a otros campos de desarrollo como el económico y el de explotación de recursos, estos se denominan “materiales compuestos”.

La característica más importante de los materiales compuestos es que están conformados por dos o más tipos de materiales que en esencia provocan que ciertas características se vean potenciadas dependiendo de su aplicación. El punto de interés más relevante es el uso de los materiales compuestos orientado en su resistencia, que es una de las características más importantes que se busca (sin comprometer en gran cantidad el peso) a través de su aplicación en estructuras automotrices externas para realizar varias pruebas en entornos controlados que permitan determinar la eficiencia que poseen al presentarse escenarios que obligatoriamente necesitan de estos materiales.

El presente proyecto toma los materiales compuestos a través de un proceso que involucra el análisis de documentación y datos necesarios del material compuesto para llevar a cabo varias pruebas de rigor que determinaran su validación correcta así como su comportamiento todo esto basado en información previamente realizada a fin de obtener los resultados más apegados y concordantes para que en el punto más importante los análisis realizados a través de software específico que sea capaz de emular las condiciones necesarias y los datos de los materiales sean lo más parecidas posible a la realidad obtenido resultados concretos para su posterior análisis y clasificación dentro de lo que exigen organismos internacionales encargados de regular el funcionamiento y aplicación de la estructura automotriz dentro del medio de seguridad vial.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PERFIL DEL PROYECTO**

#### **1.1 OBJETIVOS**

##### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el comportamiento del material compuesto a base de fibra de caña de azúcar y cabuya en el guardachoque frontal de un vehículo, a través de la simulación de impacto con la parte superior de las piernas de un peatón bajo condiciones NCAP.

##### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Definir una metodología para la evaluación del impacto de la parte superior de las piernas de un peatón bajo condiciones NCAP a través de un software de elementos finitos.
- Realizar el modelado de probetas y el vehículo mediante software CAD para su utilización en el proceso de validación y simulación.
- Validar los resultados obtenidos en la simulación de probetas estandarizadas de materiales compuestos a base de fibra de caña y cabuya comparados con los resultados obtenidos en ensayos mecánicos.
- Analizar los resultados a través de una comparativa entre los resultados del análisis de simulación de impacto y determinar los efectos del material compuesto.

#### **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La seguridad vial y el desarrollo sostenible son temas de gran importancia dentro del ámbito automotriz puesto que; para el desarrollo sostenible se busca crear y/o desarrollar ideas que promuevan avances en materia económica y a su vez puedan suplir de mejor manera las necesidades dentro del territorio ecuatoriano.

En Ecuador también se busca reforzar la seguridad vial, por ello se han desarrollado escritos para regularla, como las descritas en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial. Comenzando en el art. 88: Objetivos de la ley, inciso a) expresa lo siguiente: “Planificar, organizar y regular la circulación y la seguridad vial de los actores de la movilidad: peatones, bici usuarios, pasajeros, conductores de vehículos a motor, de tracción humana, mecánica o animal, y la conducción de semovientes” (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial Del Ecuador, 2021), esto de forma general. De forma específica se expresa en el art. 198, inciso a): “Contar con las

garantías necesarias para una movilidad segura” (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial Del Ecuador, 2021), enfocado exclusivamente a peatones.

La seguridad enfocada hacia los peatones necesita de estructuras que produzcan el menor daño posible en el caso de una colisión, como lo expresa el art. 207 párrafo 1: “La Agencia Nacional de Regulación y Control del transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial adoptara las medidas necesarias para la homologación de materiales y dispositivos de tránsito y seguridad vial con el fin de homogeneizarlos y garantizar a los usuarios condiciones óptimas de operación, compatibilidad y cumplimiento de normas nacionales e internacionales, así como las mejores prestaciones en su funcionamiento” (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial Del Ecuador, 2021). Mientras que, en el mismo artículo, párrafo dos complementa todo el proceso con lo siguiente: “Esta actividad se realizara en laboratorios con competencia técnica, propios o de terceros. Para el efecto se deberá considerar las designaciones o acreditaciones nacionales emitidas por el ente ecuatoriano competente o por los organismos internacionales acreditados, según corresponda (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial Del Ecuador, 2021)”.

De acuerdo con lo anterior expuesto sobre la seguridad vial y el proceso de homologación se logra llegar al objetivo principal que son las pruebas necesarias (relacionadas con el tema de la homologación), sobre esta parte la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial el art. 86, párrafo dos expone: “El proceso de homologación de los vehículos, medios, dispositivos y aplicativos de transporte terrestre y tránsito a nivel nacional, se efectuará en coordinación con los organismos competentes e incorporará los más altos estándares de normatividad internacional de acuerdo con el reglamento correspondiente” (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial Del Ecuador, 2021). Mientras que el párrafo tres con respecto a la prueba necesaria para la homologación expresa: “No se podrán homologar vehículos de baja puntuación en pruebas de deformación por colisión o la utilización de chasis de vehículos de carga para transporte público” (Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial Del Ecuador, 2021).

A partir del análisis de lo emitido en la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, todo apunta hacia un mismo objetivo: el desarrollo sostenible. Esto implica el desarrollo de ideas que permitan satisfacer las necesidades actuales y parte de las futuras como se puede ver en el Plan de Creación de Oportunidades 2021 – 2025,

directrices de la estrategia territorial nacional (ETN), directriz 2, lineamiento G9 que expresa: “promover la investigación científica y la transferencia de conocimiento que permitan la generación de oportunidades de empleo en función del potencial del territorio”.

Por lo tanto, el proyecto se enfoca a través de la investigación científica en cuestiones de uso de materiales compuestos (usando fibras de caña de azúcar y cabuya), orientados a la seguridad peatonal involucrando software de simulación para obtener, analizar y comparar resultados acordes a instituciones de homologación vehicular y cumplir estándares predeterminados de estas.

### **1.3 ALCANCE**

En el presente proyecto de investigación se busca simular una colisión entre el parachoques de un vehículo de subcategoría M1, código SUV, de tipo vehículo deportivo utilitario como se menciona en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2656 (primera revisión 2016-09) cuya descripción además menciona lo siguiente sobre el vehículo: “Vehículo utilitario fabricado con carrocería cerrada o abierta, con techo fijo o desmontable y rígido o flexible. Para cuatro o más asientos en por lo menos dos filas. Los asientos pueden tener respaldos abatibles o removibles para proveer mayor espacio de carga. Con dos o cuatro puertas laterales y apertura posterior. Por su configuración (altura libre del piso, ángulos de ataque, ventral y de salida) generalmente puede ser utilizado en carreteras en mal estado o fuera de ellas. La tracción puede estar en las cuatro ruedas o en dos.

A partir de la selección del vehículo se procede a emplear el material designado que en este caso es de tipo compuesto (usando fibra de caña de azúcar y de cabuya) además de un tercer tipo de material (de tipo metálica) a la estructura del parachoques y someterlo a una prueba de impacto en software CAE contra un maniquí estandarizado, en la parte superior de las piernas y estudiar los valores obtenidos del impacto a fin de determinar si el material cumple los valores establecidos por entidades encargadas del análisis de seguridad como la NCAP.

A partir de la obtención de los resultados se realizará la validación de estos a través del uso de probetas y empleando de nuevo el software CAE para terminar con la comparación de los resultados obtenidos y determinar que material sería el adecuado para una aplicación en el apartado de seguridad peatonal.

## 1.4 ANTECEDENTES

La seguridad vial no ha sido un tema de alta importancia durante los inicios del desarrollo del vehículo, conforme aumentaba la producción y compra de estos en masa se empezó a notar una tendencia con relación a la cantidad de vehículos y como variables relacionadas a estos influían en la tasa de mortalidad. En Ecuador en el año 2019 en el periodo comprendido entre el 1 de enero y el 31 de julio se obtuvo un registro de 1195 muertes en las carreteras (una equivalencia de 5.6 fallecidos por día) (Vargas Víctor Miguel, 2022).

En los inicios del boom vehicular en las grandes ciudades provocaba que las altas velocidades, sumado a la poca estabilidad proporcionada por los automotores provoque accidentes considerando lo deficiente que era el sistema de frenado en aquel entonces preocupando a la población sobre la seguridad y obligando a los productores a mejorar los sistemas de seguridad a fin de complacer las necesidades que el mercado de aquel tiempo necesitaba urgentemente.

Se logro cubrir la necesidad de seguridad para la población que tenía un automotor, los fabricantes daban su mejor esfuerzo dentro de la seguridad de los ocupantes, ahondando en métodos que proveían datos suficientes para determinar qué tan seguro era un vehículo, podemos citar por ejemplo las pruebas de impacto.

Con el desarrollo tecnológico se involucró más el desarrollo de la seguridad vehicular, y la aparición de organismos encargados de evaluar la seguridad de los productos. Por ejemplo se encuentra el New Car Assessment Program (NCAP) y la Side Impact New Car Assessment (SINCAP) que se encargan de las pruebas y recolección de datos para otorgar certificados del producto en cuestiones de seguridad pasiva, así las pruebas se han dividido en cuatro: ocupante adulto, ocupante infantil, peatones y ciclistas, y asistencia a la seguridad (Vargas Víctor Miguel, 2022). Con respecto a los peatones y ciclistas se han analizado las zonas de convergencia más usuales en los casos de accidentes siendo estas el capó, el parabrisas, y el parachoques.

De forma actual muchos de los sistemas de seguridad han sido introducidos hace poco y se nota un desarrollo alto en cuestiones de seguridad peatonal, aunque se encuentra muy atrás con respecto a la seguridad de los ocupantes del vehículo, aunque se trabaja de forma más apegada y también se busca el uso de nuevos tipos de materiales que puedan ser usados de manera que puedan ofrecer las mismas prestaciones que un parachoques en

resistencia y, pueda causar el menor daño posible a la víctima del accidente, y puedan ser homologados y producidos en masa.

En Ecuador la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial en los artículos 86, 88, 198 y 207 busca aumentar la seguridad vial de forma general y también orientada a los peatones a través de la homologación de partes y de ensayos de propiedades mecánicas. Para lo cual se necesita de una nueva gama de materiales que puedan cumplir los objetivos necesarios de la estandarización nacional e internacional y proveer nuevas tecnologías al campo automotriz y de producción nacional.

## CAPITULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 CIENCIA DE LOS MATERIALES

La ciencia de los materiales se encarga de la investigación de las estructuras y las propiedades de los materiales, así mismo de la relación que existen entre estas (Callister & Rethwisch, 2019).

Tiene sus bases centradas en el estudio de cómo se encuentran relacionadas la síntesis, el procesamiento, la estructura y propiedades de los materiales (Askeland & Wright, 2016).

Trata de analizar a través de la ciencia actual y sin considerar el tema económico las implicaciones que tienen en un material su estructura, las impurezas y defectos, y los procesos ya sean de purificación, elaboración o además la transformación mecánica. Puede ir también en el sentido opuesto, es decir, a través de un conjunto definido de propiedades determinar qué tipo de material puede cumplirlas (Mancini & González-Viñas, 2003).

El área de ciencia de los materiales se encuentra muy relacionado con otro campo de estudio, aunque su enfoque es del tipo complementario puesto que sus actividades (además de ser teóricas) se aplican a un contexto de desarrollo práctico, esta área se denomina ingeniería de materiales.

Tiene sus objetivos de estudio enfocados principalmente en la conversión o transformación de los materiales en estructuras o dispositivos de forma que se puedan usar adecuadamente (Askeland & Wright, 2016).

De igual modo la ingeniería de materiales de un modo más técnico se encarga de a través de las relaciones existentes entre la estructura y las propiedades, el proceso de diseño o proyecto de una estructura de un tipo de material con propiedades predeterminadas (Callister & Rethwisch, 2019).

Adiciona también un análisis del tipo técnico-estructural, además de varias consideraciones que se necesitan determinar dentro del diseño de materiales como energéticas, económicas, de envejecimiento, y otras (Mancini & González-Viñas, 2003).

Si se busca conceptualizar las dos áreas de modo que tengan un enfoque por el cual se puedan relacionar, se utiliza una perspectiva funcional entonces, la ciencia de materiales



tiene como tarea el desarrollo o la sinterización de nuevos materiales mientras que la ingeniería busca producir nuevos productos o sistemas que usen los material que existen, o a su vez incluir o no el desarrollo de técnicas para procesar los materiales (Callister & Rethwisch, 2019).

## **2.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

El título de propiedad se encuentra estrechamente relacionado que, en servicio los materiales se encuentran bajo la exposición a estímulos externos provocando una forma de respuesta. La propiedad de un material se muestra de acuerdo con el tipo y a la cantidad o magnitud de la respuesta ante un estímulo específico expuesto (Callister & Rethwisch, 2019).

Las propiedades de los materiales más relevantes dentro del proyecto de investigación son los siguientes:

- Propiedades físicas
- Propiedades químicas
- Propiedades mecánicas

### **2.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS**

El termino de propiedades físicas es utilizado para notar la respuesta de los materiales ante estímulos que no sean de naturaleza mecánica (Groover, 2007).

Este tipo de propiedades aparecen debido a procesos físicos. Describen características del material como el color, densidad, conductividad (eléctrica o térmica), capacidad calorífica, peso específico, fusión, índice de refracción, magnetismo y otras (Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

Dentro de las propiedades físicas se puede encontrar parámetros como: el color, elasticidad, conductividad (ya sea térmica o eléctrica), magnetismo y comportamiento óptico, etc., todas estas características se pueden considerar dentro de las propiedades físicas puesto que estas no se encuentran condicionadas de manera significativa por las fuerzas que puedan ser aplicadas en el material (Askeland & Wright, 2016).

Las principales propiedades físicas de los materiales que no tiene ninguna influencia de fuerzas externas son las siguientes: propiedades volumétricas y de fusión, propiedades térmicas y propiedades eléctricas (Groover, 2007).

### 2.2.1.1 PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS Y DE FUSIÓN

Este tipo de propiedades están estrechamente ligada con la manera en que el volumen de un material puede ser afectado por la temperatura. Entre este tipo de propiedades se encuentran la densidad, expansión térmica y el punto de fusión (Groover, 2007).

- **Densidad**

Es el coeficiente entre la masa que posee un material y el volumen que ocupa. La unidad que usa en el Sistema Internacional (SI) es el  $\text{kg/m}^3$ , aunque también se puede usar otra denominación de unidades como en  $\text{g/cm}^3$  (Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

- **Expansión Térmica**

También conocida como dilatación térmica es el efecto producido gracias al aumento de la temperatura lo que provoca que los átomos de una sustancia vibren Al aumentar la energía en los enlaces atómicos presentes produce una separación entre átomos adyacentes. En los cuerpos solidos se puede medir un coeficiente de dilatación térmica o expansión térmica para determinar el cambio de volumen o longitud relativo que presenta un material (Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

- **Fusión**

El punto de fusión dentro de un material puro es el valor de la temperatura a la que este cambia su estado de solido a líquido. Existe también el punto de enfriamiento es lo inverso, pero ocurre a la misma temperatura (específicamente en metales la temperatura de fusión y enfriamiento es la misma) (Groover, 2007).

### 2.2.1.2 PROPIEDADES TÉRMICAS

Anteriormente se han tratado propiedades que tienen que ver con la temperatura, aunque solo influyen en la apreciación volumétrica del material y el espacio que ocupa, llegando a ser medible en una magnitud.

Por otro lado, las propiedades térmicas se analizan en función de cómo el flujo de calor actúa a través del material.

- **Calor Específico y Conductividad Térmica**

Conocido también como capacidad calorífica, esta propiedad se define como la cantidad de calor que necesita un material para poder subir su temperatura 1K (= 1°C). Si se expresa a través de una fórmula, entonces, el calor específico es el cociente entre Q (cantidad de calor que provoca un cambio de temperatura) y AT (capacidad calorífica del material) (Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

La conductividad térmica es la característica de un material que permite medir la facultad de conducir el calor, es decir de transferir energía cinética de sus moléculas a otras cercanas (Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

A continuación, en la tabla 2.1, se presentan datos del calor específico y conductividad térmica para varios materiales a temperatura ambiente.

**Tabla 2.1** Conductividad térmica y calor específico para varios materiales a temperatura ambiente

Material	Calor específico Cal/g °C <sup>o</sup> Btu/lbm °F	Conductividad térmica J/s mm °C    Btu/hr in°F		Material	Calor específico Cal/g °C <sup>o</sup> Btu/lbm °F	Conductividad térmica J/s mm °C    Btu/hr in°F	
Metales				Cerámicas			
Aluminio	0.21	0.22	9.75	Alúmina	0.18	0.029	1.4
Hierro Colado	0.11	0.06	2.7	Concreto	0.2	0.012	0.6
Cobre	0.092	0.40	18.7	Polímeros			
Hierro	0.11	0.072	2.98	Fenólicos	0.4	0.00016	0.0077
Plomo	0.031	0.033	1.68	Polietileno	0.50	0.00034	0.016
Magnesio	0.25	0.16	7.58	Teflón	0.25	0.00020	0.0096
Níquel	0.105	0.070	2.88	Caucho natural	0.48	0.00012	0.006
Acero	0.11	0.046	2.20	Otros			
Acero Inoxidable	0.11	0.014	0.67				
Estaño	0.054	0.062	3.0	Agua (liquida)	1.00	0.0006	0.029
Zinc	0.091	0.112	5.41	Hielo	0.46	0.0023	0.11

Fuente: (Groover, 2007, pag. 71)

### 2.2.2 PROPIEDADES QUÍMICAS

Las propiedades químicas de los materiales son aquellas que presentan cambios al momento de que el material entra en contacto con sustancias externas, este tipo de propiedades presenta dos tipos.

- **Corrosión**

Esta propiedad se produce a través del contacto con un agente químico que provoca la desintegración del material desde su constitución atómica.

El termino de corrosión es más aplicable a los metales mientras que para otro tipo de material el termino adecuado es el de degradación (Groover, 2007).

- **Oxidación**

La oxidación a diferencia de la corrosión se produce a través del contacto de un material con oxígeno, esta relación provoca una relación electroquímica que oxida los átomos de un material (Groover, 2007).

### 2.2.3 PROPIEDADES MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas describen la forma en la que un material soporta las fuerzas de tensión, compresión, de impacto, fuerzas cíclicas, de fatiga y también la fuerza a altas temperaturas (Askeland & Wright, 2016).

Son el resultado de aplicar fuerzas mecánicas a los materiales, se empieza aplicando esfuerzos y deformaciones para luego determinar la relación que existe entre estos como resultado se puede producir la deformación del material que es la forma mecánica de cómo responde el material a la aplicación de fuerzas mecánicas por área que se conocen como esfuerzos (Mancini & Gonzáles-Viñas, 2003).

A través de las propiedades mecánicas y el uso de fuerzas externas que afectan un material podemos apreciar la aparición de los esfuerzos. Estos se definen como la fuerza por unidad de área en donde se aplica la primera, se pueden medir en psi o Pa (pascales). Existen también los esfuerzos de tensión y compresión normales, un esfuerzo normal se produce cuando la fuerza aplicada actúa de forma perpendicular en el lugar de análisis. La tensión produce un alargamiento del material y la compresión un acortamiento ambas en la dirección de la fuerza aplicada (Askeland & Wright, 2016).

A partir de los cambios observables a través de la aplicación de fuerzas en un material podemos definir varias variables relacionadas con la deformación resultante ya sea plástica o elástica.

Para en análisis de los resultados que se obtienen a través de los ensayos de materiales se tiene que analizar ciertas variables que intervienen al momento de la realización experimental ya sea física o de simulación.

### 2.2.3.1 CURVA ESFUERZO – DEFORMACIÓN

El esfuerzo y deformación de un material se encuentran muy relacionados puesto que, a través del análisis de una relación estas estas variables se puede determinar el comportamiento mecánico de un material en términos de la fuerza que puede soportar mientras va deformándose hasta llegar a un límite antes de fracturarse.

Para ello hay que analizar los conceptos separados de esfuerzo (tensión) y deformación. El esfuerzo o también conocido como tensión es la fuerza aplicada por unidad de área alrededor de un cuerpo material, que se expresa mediante la siguiente formula:

$$Tension = Fuerza/Superficie \quad [1]$$

En el sistema internacional (SI) las unidades que se usan para expresar resultados son las de Pascal (Pa) = N/m<sup>2</sup>, aunque al ser una unidad muy pequeña se trabaja con MPa (10<sup>6</sup>Pa), o GPa (10<sup>9</sup>Pa)(Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

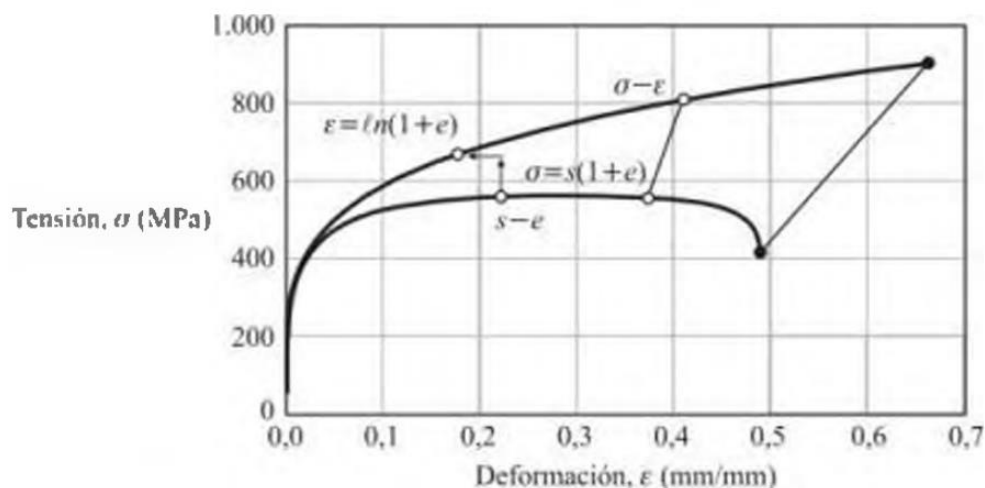
Por otra parte la deformación es el cambio ya sea permanente o temporal, en la estructura física de un cuerpo, a través de las tensiones provocadas por las fuerzas aplicadas, las unidades usadas para su expresión pueden ser mm/mm, o en % ya que es una magnitud adimensional (Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

Ya conocido los principales valores que intervienen en la curva esfuerzo, deformación se encuentran dos tipos de graficas: la curva esfuerzo – deformación ingenieril y esfuerzo – deformación real.

Los **esfuerzos y deformaciones reales** se aplican cuando los valores resultantes toman valores significativos y el valor del comportamiento elástico se deja de lado, entonces las definiciones alternativas para este análisis en sus dimensiones reales (longitud y sección)

a cada instante, Las nuevas magnitudes son esfuerzo real ( $\sigma$ ) y deformación real ( $\epsilon$ ) (Cintas Físico et al., 2014).

A continuación, en la figura 2.1 se presenta una imagen de la curva esfuerzo – deformación ingenieril que analiza la deformación en su sección transversal.

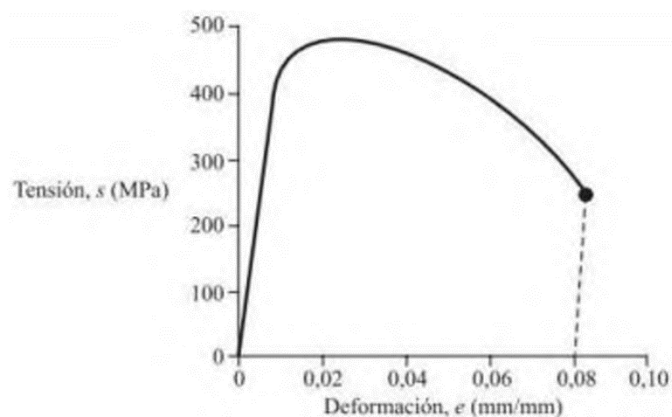


**Figura 2.1** Curva Esfuerzo deformación real

(Gordo Güemes & Piris Martín, 2012, pag. 14)

Los **esfuerzos y deformaciones ingenieriles** se basan en las dimensiones originales de la muestra y se usan cuando los cambios son muy pequeños de forma dimensional que experimenta el material.

Se muestra a continuación la figura 2.2 de la curva esfuerzo – deformación ingenieril analizada según la sección transversal del material.



**Figura 2.2** Curva esfuerzo – deformación ingenieril

(Gordo Güemes & Piris Martín, 2012, pag. 13)

### 2.2.3.2 COMPORTAMIENTO PLÁSTICO

Se produce como respuesta a la acción de fuerzas externas sobre el material en la dirección en la que se lleva a cabo, (aun si se quitan las fuerzas que están actuando) el resultado es una deformación irreversible (Askeland & Wright, 2016).

### 2.2.3.3 COMPORTAMIENTO ELÁSTICO

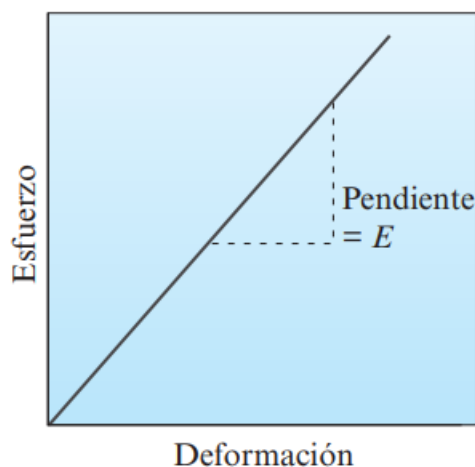
Este fenómeno tiene su origen como la propiedad por la cual un material se deforma instantáneamente ante la aplicación de una fuerza o acción externa, además de poder recuperar sus dimensiones una vez que la fuerza que provoca su deformación desaparece (Cintas Físico et al., 2014).

### 2.2.3.4 MODULO DE YOUNG

Conocido también como el módulo de elasticidad. Es una medida de rigidez del material, esto significa que es la resistencia de un material que se resiste a ser deformado. Este valor es una constante elástica y no de tensión, pero usa sus unidades para tener más coherencia (Gordo Güemes & Piris Martín, 2012).

En varios materiales el esfuerzo y la deformación elásticos tienen una relación meramente lineal que se puede representar en una gráfica y, la pendiente de esta grafica es el módulo de Young ( $E$ ) y sus unidades son en libras por pulgada cuadrada (psi) o pascales (Pa) (Askeland & Wright, 2016).

Se muestra en la figura 2.3 la relación entre la deformación y esfuerzo elásticos y la pendiente que es el valor del módulo de Young.



**Figura 2.3** Recta esfuerzo – deformación elástica

(Askeland & Wright, 2016, pag. 184)



### 2.2.3.5 COEFICIENTE DE POISSON

Este valor se encarga de relacionar la deformación de la sección longitudinal y lateral de un material que se encuentra bajo esfuerzos de tensión (Newell, 2008).

Se representa con la letra “μ” (mu) del alfabeto griego y no tiene unidades ya que es un valor adimensional.

La fórmula que se usa para su cálculo es la siguiente:

$$\mu = \frac{-\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{longitudinal}} \quad [ 1 ]$$

Para la mayoría de los materiales el coeficiente de Poisson se encuentra alrededor de 0.3.

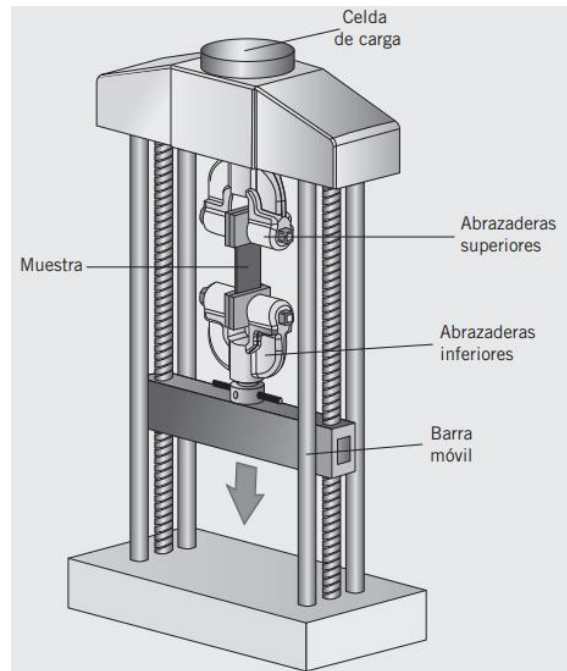
### 2.2.3.6 EFECTO HOURGLASS

El efecto Hourglass se define como modos de deformación de no física, que producen una deformación nula y de la misma manera su energía también es nula y además no poseen ninguna tensión (*Hourglass — Welcome to the LS-DYNA Support Site*, n.d.).

### 2.2.3.7 ENSAYO DE TRACCIÓN

Este procedimiento tiene como objetivo determinar la resistencia a la tracción, la resistencia a la ruptura, y la resistencia a la conformación de una pieza. El principio de funcionamiento del ensayo empieza en el uso de una maquina con abrazaderas en las que se coloca el material de muestra, la parte superior de la abrazadera se sujeta a una barra fija y una celda de carga mientras que la inferior se encuentra sujeta a una barra móvil que se mueve hacia abajo, a través de la celda de carga se registra la fuerza aplicada y con el uso de un extensómetro se puede saber el valor de alargamiento que presenta la pieza (Newell, 2008).

A través del ensayo de tracción se puede obtener la gráfica de esfuerzo/deformación que nos muestra como se ha comportado el material durante la aplicación de la fuerza. Dentro de la gráfica se pueden diferenciar dos zonas: la zona elástica en la cual el material puede regresar a su forma inicial y la zona plástica en la cual el material cambiará su longitud antes de llegar al punto de falla y romperse.



**Figura 2.4** Máquina de ensayo de tracción

(Newell, 2008, pag. 72)

A través del ensayo de tracción se pueden determinar ciertas propiedades de un material como las siguientes:

- **Resistencia a la fluencia**

Es la tensión más alta a la que un material “fluirá” o, tendrá una deformación simplemente elástica. Mientras que el valor del esfuerzo crítico para llegar a la zona plástica se denomina límite elástico del material.

- **Resistencia a la tensión**

Es el esfuerzo más alto obtenido en la fuerza aplicada, que se puede notar en la curva de esfuerzo-deformación y se conoce también como resistencia máxima a la tracción.

- **Tenacidad a la tensión**

Es la energía que absorbe un material antes de llegar al punto de fractura.

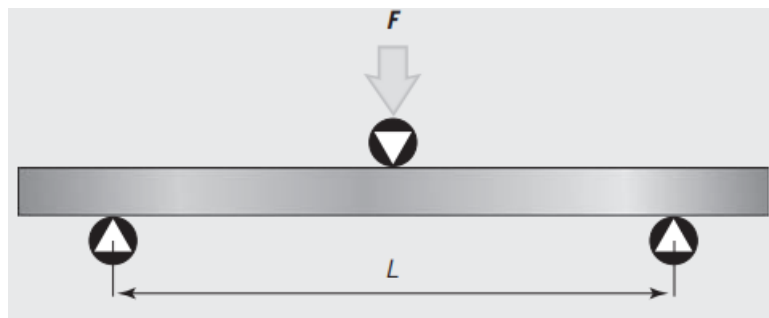
- **Ductilidad**

Es la propiedad de un material para deformarse sin presentar roturas o romperse.

### 2.2.3.8 ENSAYO DE FLEXIÓN

El ensayo de flexión o ensayo de plegado se utiliza para medir la resistencia a la flexión de un material, generalmente se usa para materiales frágiles. Para iniciar el proceso se coloca el material de muestra en dos bases (una en el extremo izquierdo y otra en el extremo derecho), en el medio de la distancia entre las dos bases se hará una fuerza de compresión que empezará a deformar el material (Newell, 2008).

El material de muestra experimentara dos tipos de tensiones (la parte inferior de las bases experimentara una tensión a la tracción mientras que la parte superior experimentara una tensión de compresión).



**Figura 2.5** Ensayo de flexión

(Newell, 2008, pag. 80)

## 2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES

Se pueden clasificar a los materiales en cinco grupos principales: metales y aleaciones, cerámicas (vidrios y vidrios cerámicos), polímeros (plásticos), semiconductores y materiales compuestos. Cada grupo de materiales ofrece diferentes características que condicionan su uso dentro de la industria.

Para el proyecto de investigación se tomará en cuenta solo tres tipos de materiales, metales y aleación, polímeros y materiales compuestos.

Se presenta una tabla que muestra los tipos de materiales, aplicaciones y propiedades más relevantes.

### **2.3.1 METALES Y ALEACIONES**

Los metales y aleaciones que son aluminio, magnesio, zinc, hierro, titanio, cobre y níquel que en sí mismo son metales puros (que no tienen ningún otro elemento o aditamento adicional en principio), mientras que las aleaciones son el resultado de la unión de uno o más tipos de metales o a su vez la unión de un metal con un no metal.

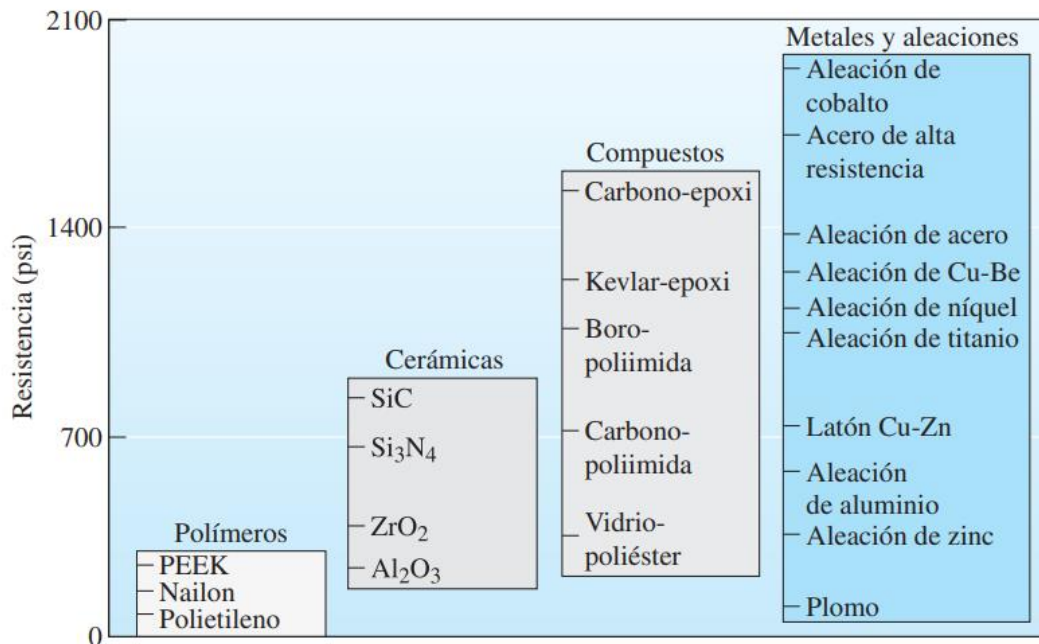
Estos materiales tienen las características principales de que su resistencia, resistencia al impacto, maleabilidad, ductilidad y conducción eléctrica son buenas, el hecho de usar solo los metales en varias aplicaciones funciona bien, pero se usan las aleaciones para incrementar una propiedad específica u obtener mejores combinaciones de propiedades (Askeland & Wright, 2016).

### **2.3.2 POLÍMEROS**

Los polímeros son materiales orgánicos que se producen a través de un método conocido como polimerización, este tipo de materiales los conforman los elastómeros (caucho) y varios adhesivos. Los polímeros más comunes funcionan como buenos aislantes eléctricos y térmicos, aunque pueden existir algunas excepciones. Su resistencia por otro lado, no se acerca a la de los metales o las cerámicas, aunque la relación entre la resistencia/peso es muy favorable, además no se pueden usar a altas temperaturas, pero ante sustancias corrosivas son muy eficientes (Askeland & Wright, 2016).

Dentro de la clasificación de los materiales uno de los aspectos más importantes (además de la composición y estructura), es la resistencia de cada tipo de material. La resistencia de un material nos permite determinar su comportamiento en distintos tipos de escenarios a través de varios factores que puedan afectar (en este caso) su integridad física, deformándolo ya sea de forma elástica o plástica. La primera siendo un tipo de deformación que se obtiene al aplicar fuerza a un material de tal forma que cambia su estructura pero que al quitar las fuerzas que actúan el material regresa a su forma inicial, mientras que la deformación plástica provoca que el material quede deformado permanentemente aun si se le quitan las fuerzas que están actuando en él.

A continuación, en la figura 2.7 se muestran varios materiales y la resistencia que ofrecen.



**Figura 2.6** Resistencia representativas de varias categorías de materiales, la resistencia de la cerámica es a la compresión

(Askeland & Wright, 2016, pag. 8)

La resistencia de un material siendo un parámetro de vital importancia el cual ha sido objeto de varios estudios implica el análisis de otros parámetros igual de importantes como por ejemplo el arreglo de los átomos e iones, el cual tiene una enorme influencia en el comportamiento.

## 2.4 MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son el resultado de la unión de dos o más tipos de materiales con el objetivo de obtener características que de otra forma serían imposibles de conseguir o a su vez se busca potenciar ciertas características de un material para su uso. Entre las características que más se buscan mejorar son las siguientes: rigidez, densidad, trabajo a altas temperaturas, peso, dureza, resistencia a la corrosión y la conductividad eléctrica (Askeland & Wright, 2016).

Existen varios tipos de materiales compuestos entre los que están: reforzado con fibras, de partículas, laminares e híbridos.

## 2.4.1 TIPOS DE MATERIALES COMPUESTOS

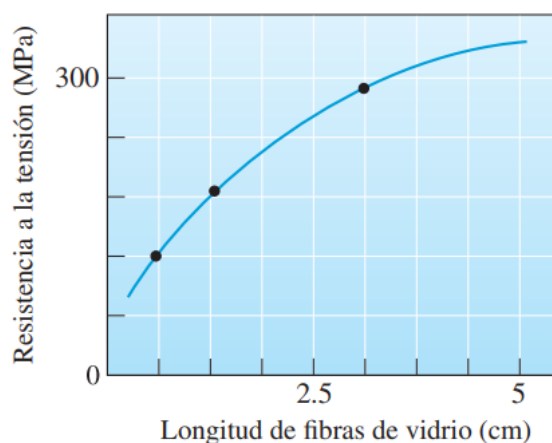
Los materiales compuestos a diferencia de las aleaciones no presentan una unión completa puesto que cada material continúa existiendo, aunque en una fase distinta. Esto da origen a que exista una clasificación de materiales compuestos determinado por la forma en cómo se encuentran juntos y la forma en la que actúan al encontrarse sometidos a esfuerzos.

### 2.4.1.1 REFORZADOS CON FIBRAS

Los compuestos reforzados a través del uso de fibras tienen dos fases: la fibra y la matriz. El trabajo de la fibra es el de resistir la aplicación de cargas de tracción a través del eje longitudinal, en este caso las fibras más utilizadas para este trabajo son las siguientes: carbono, vidrio, polímeros de alto rendimiento, titanio, acero, tungsteno, y poliéster (Newell, 2008).

Generalmente los materiales compuestos de este tipo presentan una mayor resistencia a la fatiga, mejor módulo de Young y la relación resistencia/peso es mucho mejor, además la matriz protege la fibra a fin de que factores externos no puedan afectar químicamente esta última (Askeland & Wright, 2016).

Se muestra a continuación en la figura 2.8 como influye la adición de fibras a una matriz mejorando las propiedades mecánicas, en este caso aumenta la cantidad de fibra de vidrio en una matriz epoxi mejorando la resistencia a tensión.



**Figura 2.7** Diagrama de relación entre la resistencia a la tensión y la cantidad de fibra de vidrio de un material compuesto

(Askeland & Wright, 2016. pag. 630)

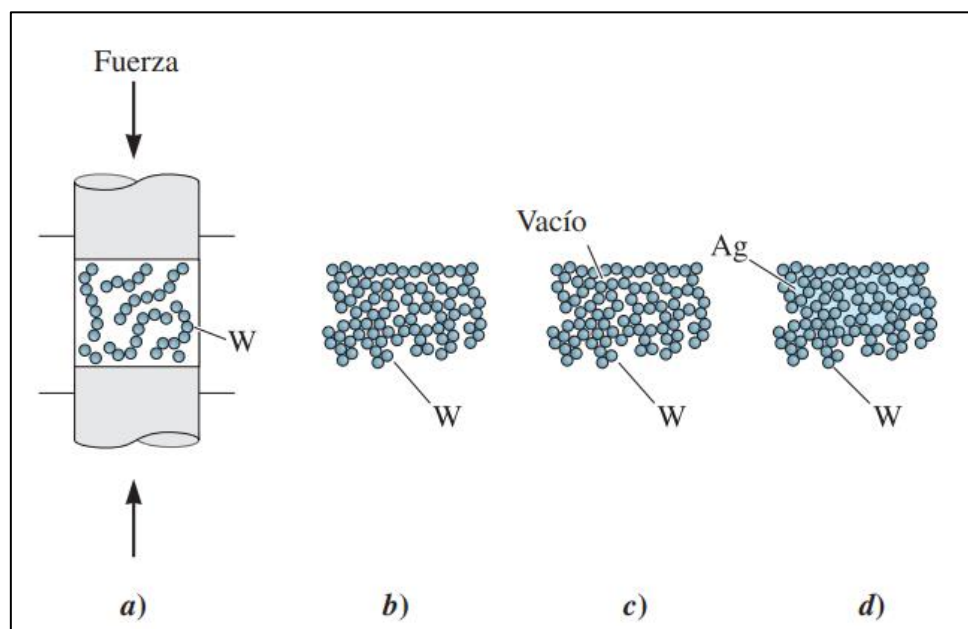
### 2.4.1.2 DE PARTÍCULAS

Este tipo de materiales compuestos producen combinaciones que usualmente no son comunes y no mejoran la resistencia. Su principio es el agregar una gran parte de partículas que no afectan la mezcla refractaria (Askeland & Wright, 2016).

A diferencia de los compuestos reforzados con fibras, los reforzados de partículas resultan más fáciles de producir y menos costosos, el material agregado ayuda a que en conjunto se puedan resistir las fuerzas de compresión (Newell, 2008).

Sobre el material agregado existe una desventaja, este es más fuerte que el material de la matriz pero las moléculas alrededor no se juntan completamente, la matriz contribuye a que se junten pero al mismo tiempo sacrifica gran parte de la resistencia que tiene el compuesto, esto en consecuencia hará que el material falle bajo cargas de tracción bajas (Newell, 2008).

En este tipo de materiales podemos citar el siguiente ejemplo, un compuesto eléctrico de plata tungsteno que tiene los siguientes pasos: a) se comprimen los polvos de tungsteno, b) el producto es de baja densidad, c) el sinterizado une los polvos de tungsteno y d) se coloca plata líquida entre los poros (Askeland & Wright, 2016).



**Figura 2.8** Compuesto eléctrico de plata tungsteno

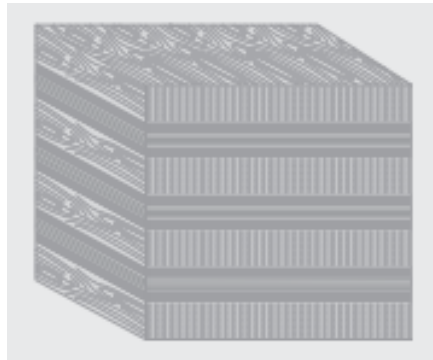
(Askeland & Wright, 2016, pag. 623)

### 2.4.1.3 LAMINARES

Los materiales compuestos laminares consisten del uso de capas de forma alternadas de materiales bidimensionales fungiendo como materiales matriz (Newell, 2008).

Contienen recubrimientos muy delgados, revestimientos, chapados bimetálicos, laminados, además de muchos más tipos de aplicaciones. Puede tener consideración dentro de este grupo los materiales reforzados con fibras que se producen en forma de cintas o tejidos (Askeland & Wright, 2016).

A continuación, en la figura 2.10 se muestra un ejemplo de un material compuesto de forma laminar usado comúnmente: la madera contrachapada.



**Figura 2.9** Vista de un material compuesto laminar (madera contrachapada)

(Newell, 2008, pag. 227)

### 2.4.1.4 HÍBRIDOS

Este material simplemente es el resultado de la combinación de otros materiales compuestos (Newell, 2008).

## 2.4.2 PROPIEDADES FÍSICAS

Las propiedades físicas más relevantes dentro de los materiales compuestos son las siguientes:

- Alta resistencia con respecto a su peso
- Baja densidad
- Buena flexibilidad
- Alta resistividad eléctrica
- Resistencia a la corrosión
- Comportamiento a fatiga



### 2.4.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

La propiedad química más sobresaliente es que el material compuesto por dos o más tipos de material presenta fases químicamente diferentes y son insolubles entre sí.

### 2.5 FIBRA DE CABUYA

Se extrae de la hoja de cabuya que puede encontrarse de forma silvestre o a su vez que es cultivada en valles y laderas de la cordillera de los andes, pertenece además a la familia de las agaváceas. Esta fibra es resistente, con un periodo de durabilidad bueno y es áspera (Pachacama Nasimba, 2015).



**Figura 2.10** Planta de cabuya

(Pachacama Nasimba, 2015)

### 2.6 FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

Es una planta conformada por dos partes que son el jugo y la fibra, la segunda se encuentra constituida por celulosa y ésta se forma a partir de azúcares sencillos (glucosa). La parte del tallo contiene nudos y entrenudos junto a una hoja además de una yema axilar que se encuentra a cada lado del nudo, en la parte superior del tallo está el meristemo apical el cual se divide formando sus tejidos y los de las hojas (los nudos), tiene espacios de 15 a 25 cm en la parte superior del tallo, mientras que en la parte más baja su espacio es más pequeño (Chevez Alejandro, 2017).



**Figura 2.11** Planta de caña de azúcar

(Ponce Tobar, 2020)

## **2.7 SEGURIDAD VEHICULAR**

Cuando hablamos de seguridad vehicular nos referimos a todos los elementos y sistemas tanto de seguridad activa y pasiva que forman parte del vehículo cuya finalidad es proteger a sus ocupantes y a los peatones.

### **2.7.1 SEGURIDAD ACTIVA**

Dentro de la seguridad activa se encuentran los elementos que permiten al conductor maniobrar el vehículo una forma segura tomando en cuenta tanto las condiciones climáticas, así como los tipos de terreno por los que puede circular el vehículo, por ende, estos elementos están enfocados en evitar accidentes mientras el vehículo se encuentre en marcha. Algunos ejemplos son:

- Sistema de frenos
- Neumáticos
- Iluminación
- Sistema de suspensión
- Sistema de dirección
- Climatización

### **2.7.2 SEGURIDAD PASIVA**

Son todos aquellos elementos que se encargan de reducir o mitigar al máximo los daños cuando el vehículo sufre un accidente, su función es proteger a los ocupantes de lesiones y reducir al máximo las consecuencias una vez producido el accidente (Escobar, 2021). Algunos de estos elementos son:

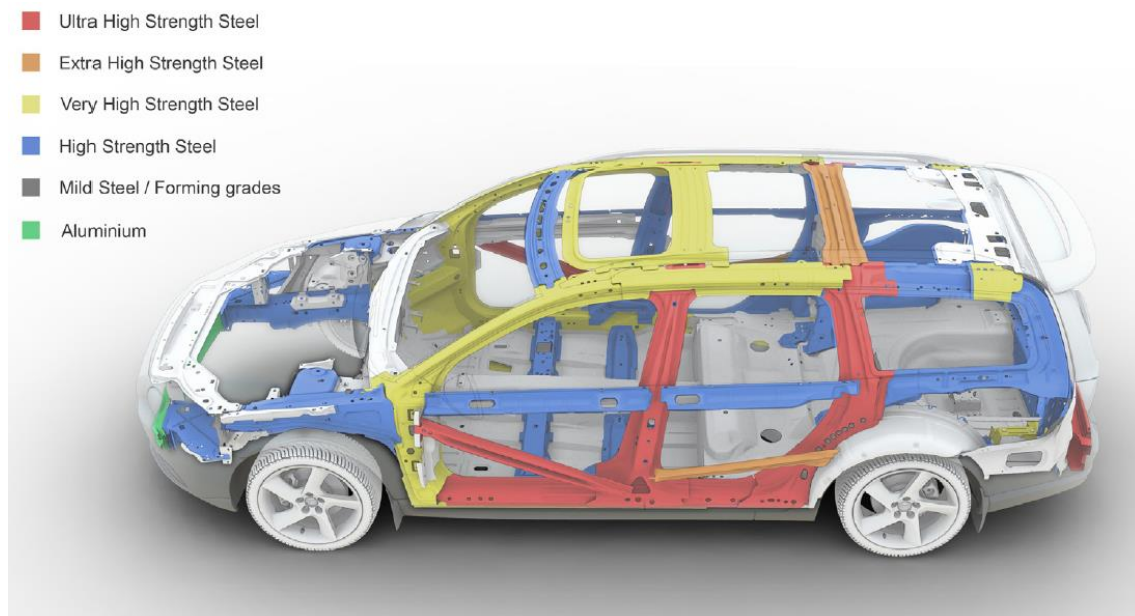
- Cinturones de seguridad
- Airbag
- Apoyacabezas
- Carrocería y chasis

Tomando en consideración que el objeto de estudio es la simulación de un atropellamiento, en donde el vehículo impacta contra un peatón, se analizan las reacciones de algunos elementos que conforman la carrocería.

### 2.7.3 CARROCERÍA

La carrocería es un elemento estructural del vehículo y forma parte de los elementos de seguridad pasiva. Su función principal es disipar y absorber la mayor cantidad de energía en el caso de un accidente.

Como ejemplo en una carrocería autoportante encontramos diferentes tipos de materiales, el diseño debe responder a las diferentes exigencias, garantizando la resistencia de los materiales, la deformación y la reducción del peso, todo esto es posible gracias a la innovación que se hacen en los materiales y los tratamientos que estos reciben en su fabricación, encontramos así aceros de alto límite elástico, acero de ultra alto límite elástico, aceros doble fase, aceros al carbono y otras aleaciones, y también encontramos otros materiales como fibra de carbono y aluminio, entre otros (Autocrash, 2020).



**Figura 2.12** Materiales en la carrocería

(Asghari et al., 2013)

En la figura 2.13. se puede observar que los aceros de mayor resistencia se encuentran en la zona central del vehículo, esto es explicable ya que se busca la protección máxima de los ocupantes, en esta zona los valores de límite elástico de los materiales pueden alcanzar valores superiores a 1200 N/mm.

### 2.7.3.1 SECCIONES DE LA CARROCERÍA

La carrocería se puede dividir en tres partes principales, la sección delantera que es donde generalmente se alojan los componentes mecánicos del motor, la sección central que generalmente se la conoce como jaula de seguridad o habitáculo de pasajeros, y la sección trasera que se la designa para el maletero o zona de carga (Autocrash, 2020).



**Figura 2.13** Secciones de la carrocería

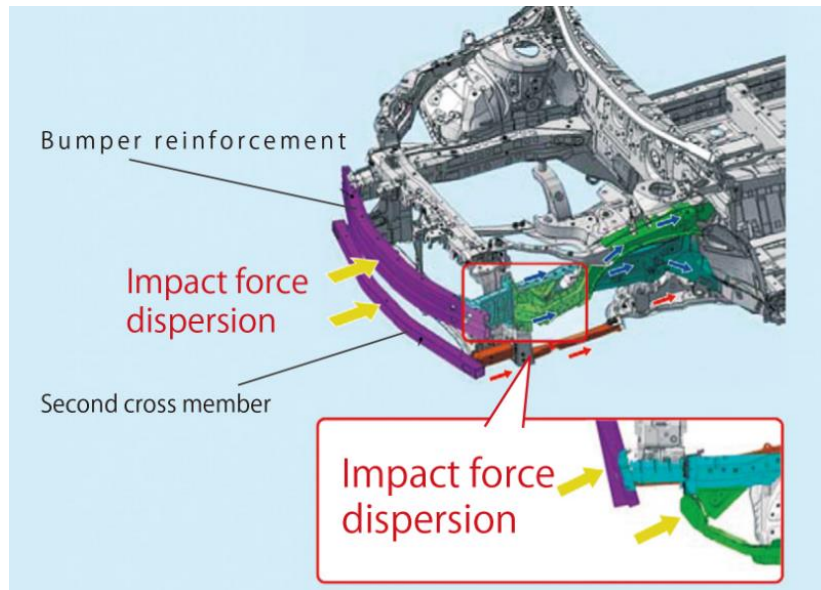
(Siza, 2020)

La zona delantera y trasera son las que se proyectan para una posible deformación, en este caso se emplean algunos elementos que ayudaran a absorber y disipar la energía:

- Aceros de resistencia variable
- Cambios de geometría
- Concentradores de esfuerzos
- Puntos fusibles
- Laminas con tratamiento térmico, entre otros.

### 2.7.3.2 SECCIÓN DELANTERA DE LA CARROCERÍA

La zona delantera está proyectada para deformarse en caso de una colisión, esto con el fin de absorber y disipar la energía evitando que se transmita hacia la zona central o habitáculo.



**Figura 2.14** Fuerza de impacto dispersado por la estructura

(Toyota, 2015)

Como se observa en la figura 2.15 la sección delantera se compone de varias partes las cuales trabajan en conjunto para disipar y absorber la energía, externamente el parachoques es el componente que recibe el golpe directamente en una colisión frontal, internamente se encuentra el refuerzo de parachoques o travesaños frontales y elementos que ayudan a absorber la energía como puntos fusibles, concentradores de esfuerzos, cambio de geometría, entre otros.

## 2.8 SEGURIDAD A PEATONES

Cada año ocurren un sinnúmero de accidentes en donde peatones y ciclistas son atropellados por vehículos motorizados, por lo general la mayoría de estos accidentes suceden en las zonas urbanas donde se producen lesiones graves y mortales a velocidades bajas, por ende es muy importante la valoración de los vehículos en temas de seguridad peatonal ya que esto permite reducir significativamente los niveles de lesiones sufridas por los peatones en accidentes de impactos frontales con vehículos motorizados (United Nations, 2009).

El Programa de Evaluación de Vehículos Nuevos (Euro NCAP, 2023a), desde el 2009 realiza la valoración general de seguridad de los vehículos, mediante la evaluación de cuatro áreas que son:

- Protección de ocupantes adultos (para el conductor y los pasajeros);

- Protección de ocupantes infantiles;
- Protección para peatones, ampliada para incluir a los ciclistas, y conocida ahora como Protección para usuarios vulnerables de la carretera (VRU); y
- Asistencia a la seguridad, que evalúa las tecnologías de evasión de impactos y asistencia al conductor.

### **2.8.1 USUARIOS VULNERABLES DE LA CARRETERA**

Para asignar la puntuación referente a la protección de los peatones se determina con la evaluación de las estructuras delanteras más importantes del vehículo, tales como el capó, el parabrisas, el parachoques y el borde frontal del capó. Adicionalmente de evaluar el nivel de protección que los vehículos ofrecen a sus ocupantes, Euro NCAP realiza evaluaciones enfocadas en la protección de los usuarios vulnerables en la carretera con los que un vehículo podría impactar, en estas pruebas se evalúan el riesgo de producir lesiones en la cabeza, la pelvis y la parte superior o inferior de las piernas del peatón.

Además de evaluar lo bien que los vehículos protegen a sus ocupantes, Euro NCAP evalúa cómo protegen a los usuarios vulnerables de la carretera (peatones y ciclistas) con los que podrían impactar (Euro NCAP, 2023d).

Pruebas que se realizan para la valoración de seguridad vehicular:

- Impacto en la cabeza
- Impacto en la parte superior de las piernas
- Impacto en la parte inferior de las piernas
- Sistemas de frenado de emergencia autónomo (AEB) para peatones
- AEB para ciclistas

### **2.8.2 IMPACTO EN LA PARTE SUPERIOR DE LAS PIERNAS**

Para realizar esta prueba Euro NCAP establece una velocidad de impacto del vehículo contra un adulto debe ser a 40 Km/h, luego se calcula el riesgo de heridas en la parte superior de las piernas y la pelvis, en base a los cálculos obtenidos se podrá evaluar la protección que ofrece el vehículo como buena, adecuada, marginal, débil o deficiente (Euro NCAP, 2023c).



**Figura 2.15** Impacto en la parte superior de las piernas

(Euro NCAP, 2023c)

Gracias a estas evaluaciones a las que se someten los vehículos, NCAP incentiva a usar estructuras que absorban la energía, con geometrías más maleables que ayuden a mitigar las lesiones, en este contexto el uso de materiales compuestos alternativos podría ayudar a mejorar estos aspectos.

### 2.8.3 CRITERIOS Y VALORES LÍMITE PARA LAS PRUEBAS DE IMPACTO

Los criterios de evaluación utilizados para las pruebas de impacto de peatones y ciclistas se muestran a continuación junto con los límites de rendimiento superior e inferior para cada parámetro. Cuando existan varios criterios para una prueba individual, se utiliza el parámetro de puntuación más bajo para determinar el rendimiento de esa prueba, a menos que se indique lo contrario (Euro NCAP, 2023b).

		<u>aPLI</u>	
		<i>Higher performance limit</i>	
<u>Upper Legform</u>		Femur Bending Moment	390Nm
<i>Higher performance limit</i>		Tibia Bending Moment	275Nm
Sum of forces	5.0kN	MCL Elongation	27mm
		<i>Lower performance limit</i>	
<i>Lower performance limit</i>		Femur Bending Moment	440Nm
Sum of forces	6.0kN	Tibia Bending Moment	320Nm
		MCL Elongation	32mm

**Figura 2.16** Criterios y valores límite para pruebas de impacto

(Euro NCAP, 2023b)

En la figura 2.17 se pueden observar los valores permisibles resultado de la sumatoria de fuerzas de los límites de rendimiento superior e inferior de la parte superior de la pierna, así como los límites de rendimiento superior e inferior de los momentos de flexión de la tibia y el fémur, y valores de alargamiento.

#### 2.8.4 MANIQUÍ PARA ENSAYO DE CHOQUE

Crash Test Dummy generalmente conocidos como maniquí, son muñecos antropomórficos de un cuerpo humano, estos cuentan con numerosa instrumentación, lo cual permite evaluar el nivel de riesgo y las posibles lesiones que una persona puede sufrir en determinadas condiciones de choque, el maniquí trata de copiar casi de forma perfecta el tamaño, la rigidez, la masa y la absorción de energía de un ser humano (Martín De Azcárate, 2017).



**Figura 2.17** Maniquí antropomórfico

(Humanetics, n.d.)

En la figura 2.18 observamos un modelo de la familia Hybrid, estos modelos están diseñados para pruebas de impacto frontal, y representan a personas adultas, niños; estos modelos cuentan con diferentes variaciones de edades y dimensiones. (Humanetics, n.d.) clasifica los maniqués en función de su percentil:



**Tabla 2.2** Clasificación Hybrid III

Clasificación		Altura (cm)	Peso (kg)
Adultos	Percentil 50	175	77
	Percentil 95	188	100
	Percentil 5	152	50
Niños	10 años	133	35
	6 años	115	24
	3 años	98	16

**Fuente:** (Martín De Azcárate, 2017)

En la tabla 2.2 se observa la clasificación de los maniqués, los de percentil 50 y 95 corresponden a modelos de sexo masculino, mientras que los de percentil 5 son de un modelo femenino, los niños están clasificados de acuerdo con la edad sin distinción de sexo (Martín De Azcárate, 2017).

## 2.9 SOFTWARE DE DISEÑO Y SIMULACIÓN

### 2.9.1 SOLIDWORKS

Es un software de tipo CAD, de diseño mecánico encargado a través del uso del entorno gráfico de Windows la creación de modelos en 3D, ensambles, dibujos y planos. Proporciona las herramientas necesarias para llevar a cabo el proceso necesario (crear, validar, comunicar y gestionar) del producto (SolidWorks, 2017).

#### 2.9.1.1 PROCESO DE DISEÑO EN SOLIDWORKS

El primer paso del diseño se basa en el desarrollo del croquis en 2D a través del uso de un plano de trabajo usando líneas, círculos, rectángulos, etc., (conocidas como entidades de croquis), acotaciones, y relaciones de geometría. El segundo paso usando operaciones ya sean de extrusión, revolución, redondeo, chaflan y otros más se desarrolla el modelo en 3D. Para el tercer paso se pueden realizar más piezas y usar relaciones geométricas para posicionarlas y realizar un análisis de movimiento o simulación para detectar problemas malos contactos entre piezas. Para el cuarto y último paso se puede usar un plano para representar las medidas de las piezas o el ensamblaje con las vistas o secciones que se requiera (SolidWorks, 2017).

## **2.9.2 LS-Dyna**

Es un software desarrollado por la empresa Livermore Software Technology Corp. (LSTC), su principal función es la del campo de la simulación de sistemas multifísicos complejos. Es usado dentro de varios campos de estudio, por ejemplo, en el campo automotriz se usa para el diseño y desarrollo de trabajos que impliquen la mejora de la seguridad para sus ocupantes además del estudio de la resistencia de metales.

Este software se complementa con LS-Prepost, que se encarga de ingresar los datos de entrada de LS-Dyna y los procesa para obtener los datos resultantes (Aertia - Software, n.d.).

Dentro del preprocesamiento en LS-Prepost se pueden dar algunas funciones que tiene que son: importar diseños CAD, cartas de control variadas para cada tipo de material o estructura, las keywords o palabras clave que son comandos que dan las variables que intervienen en la simulación. Existe también tipos de malla para elementos Shell y Solid además de poder manipular la calidad de la malla y realizar correcciones.

La función de post-procesamiento también incluye la revisión de gráficos que muestran los efectos de las fuerzas resultantes de la simulación, animaciones en 3D y visualización de partes del diseño las cuales vayan a ponerse a prueba durante la simulación.

### **2.9.2.1 APLICACIONES DE LS-DYNA**

Las principales aplicaciones de LS-Dyna son las siguientes: test de colisión y seguridad de pasajeros, formación de laminados metálicos, aplicaciones aeroespaciales, test de caídas, etc. (Aertia - Software, n.d.).

## **2.10 ANÁLISIS FEM**

Generalmente los pasos para un análisis FEM pueden resumirse en 4 instancias que son las siguientes: uso de software CAD, procesamiento, solución y post-procesamiento.

Basado en términos de forma matemática, el análisis de elemento finito (AEF) conocido también como el método de elementos finitos se trata de una técnica numérica que se encarga de resolver problemas de campo que se encuentran descritos mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales.

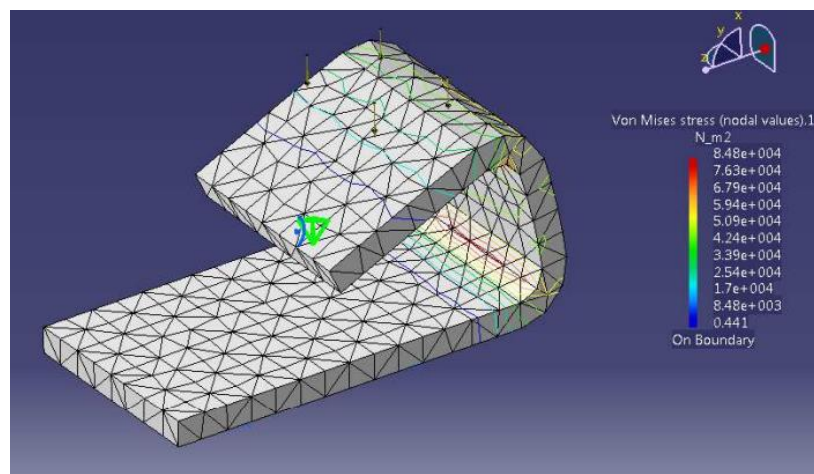
El método de elementos finitos se usa mayoritariamente en varios campos de la ingeniería, por ejemplo, diseño de máquinas, electromagnetismo, acústica, dinámica de

fluidos, mecánica de suelos, entre otros. En el campo de la ingeniería mecánica este método se emplea principalmente para soluciones estructurales, vibraciones y problemas térmicos, pero no es la única herramienta o método disponible para para el análisis numérico. Así podemos mencionar más métodos numéricos usados en ingeniería como: el método de diferencias finitas, el método de los estados límites y el método de volúmenes finitos (Woge et al., 2020).

### 2.10.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL ANÁLISIS FEM

El principio del análisis FEM está basado en la subdivisión del sistema en varias secciones llamadas elementos, y estas a su vez contienen puntos relacionados entre sí, que se denominan nodos. Existen además las ecuaciones que dependen de los elementos que se relacionan con las variables que se quieren (ecuaciones de compatibilidad, de equilibrio interno, de Hooke, etc.), además las condiciones externas que hay (carga externa y condiciones de contorno) conforman un sistema de ecuaciones que determinan la solución del problema (De Cruz, 2020)

Se puede llamar también a la subdivisión del cuerpo o estructura como subdominios; que no son Inter secantes entre sí, esto último denominado elementos finitos. Los subdominios se encuentran definidos a través de series de ecuaciones diferenciales que se encargan de caracterizar el comportamiento físico que tendrá la pieza al ser sometida a esfuerzos. A toda la división de la pieza en elementos finitos se le denomina como discretización (Vargas, 2019).

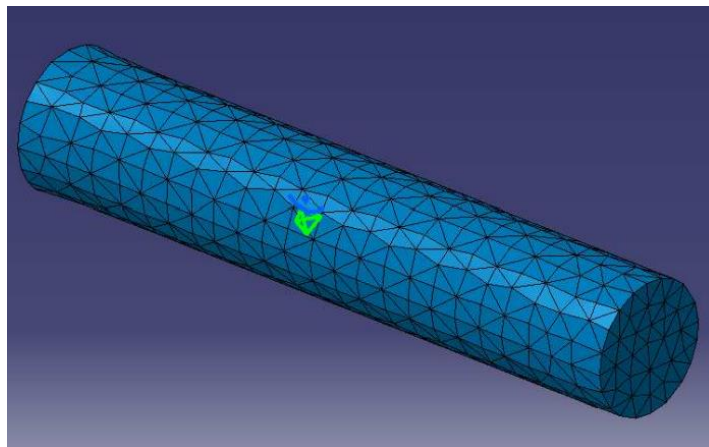


**Figura 2.18** Subdominios de una pieza realizados por software

(Vargas, 2019)

La relación de los nodos con los demás elementos que quedan de un cuerpo se les conoce como malla. Los cálculos que involucran esfuerzo-deformación se llevan a cabo sobre la malla, esto tomando en cuenta las relaciones de conectividad que existen entre cada conjunto de variables de cada nodo que se denominan grados de libertad. A través de un sistema de ecuaciones lineales se puede escribir el conjunto de relaciones que existen entre los nodos, lo cual se le denomina como matriz de rigidez. Por lo tanto, el número de nodos va a ser proporcional al número de ecuaciones del sistema y viceversa por lo tanto el análisis FEM resuelve un número finito de elementos y no como un todo (Vargas, 2019).

“La malla está formada por figuras geométricas simples basadas en dos y tres dimensiones, como triángulos o cuadriláteros y hexaedros y tetraedros respectivamente”.



**Figura 2.19** Mallado FEM

(Vargas, 2019)

Las ecuaciones de cada elemento lo definen de manera cercana a la realidad, es decir, si se necesita una mayor precisión en la solución se usarán más elementos (geometría más compleja a veces) en el modelo y esto resulta en un gasto computacional más elevado y mayor tiempo en el cálculo (De Cruz, 2020).

### 2.10.2 ETAPAS DEL PROCESAMIENTO

Para comprender de forma clara la realización del método de elementos finitos se deben de esclarecer ciertos conceptos manejados en este ámbito (Murillo Martínez, 2018).

- Se define las especificaciones con las cuales se va a dar inicio al trabajo.
- Especificar los requerimientos que va a necesitar el trabajo, dentro de esto se tomará en cuenta los objetivos y restricciones de condiciones que van a influir en el análisis,
- Preprocesamiento: se definirá la geometría de los cuerpos con los que se va a realizar el trabajo en esta parte encontramos la generación de la malla, condiciones de contorno y se les da las propiedades necesarias a los materiales involucradas.
- Se generan cálculos a partir de los datos que se brinda en la etapa de preprocesamiento.
- Post-procesamiento: a partir del desarrollo de los cálculos se revisarán los datos obtenidos y se los validara. Se obtienen magnitudes que son derivaciones de los valores que pertenecen a los nodos, esto incluye las operaciones de suavizado, interpolación y de determinación de errores (Tierra et al., 2020).

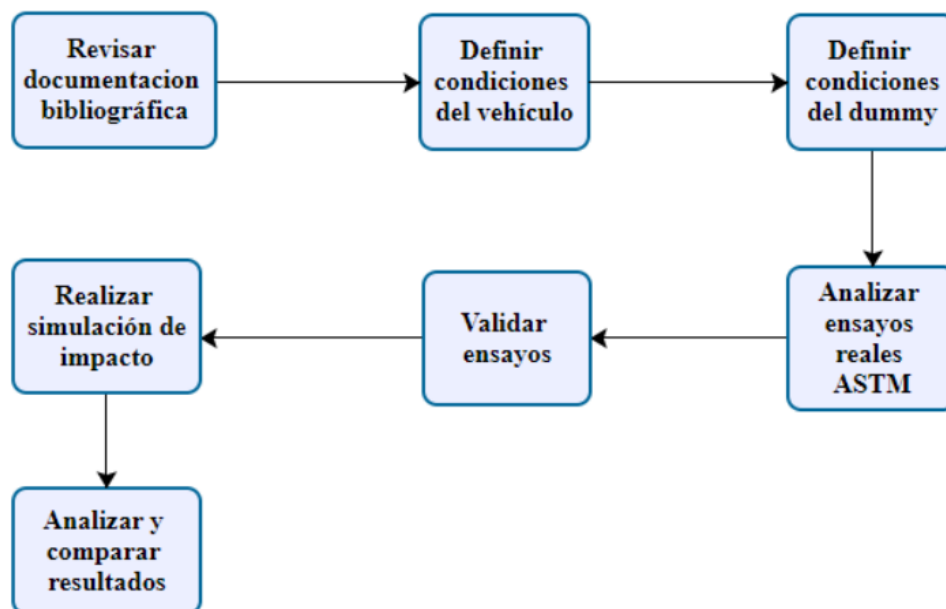
## CAPITULO III

### 3 MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. METODOLOGÍA

En el presente capítulo se abordará la ruta lógica y sistemática que procure conducir el proceso de realización del trabajo de investigación de manera ordenada, además de permitir cumplir con los objetivos propuestos anteriormente y obtener los resultados esperados de acuerdo con la base bibliográfica de apoyo para demostrar la idea principal.

Dicho lo anterior, se presenta en la figura 3.1 todos los pasos que se seguirán en orden para llevar a cabo la simulación de impacto con un peatón a través de software CAE, usando fibra de cabuya, caña de azúcar y un material metálico.



**Figura 3.1** Secuencia de la metodología a seguir para la realización de la simulación

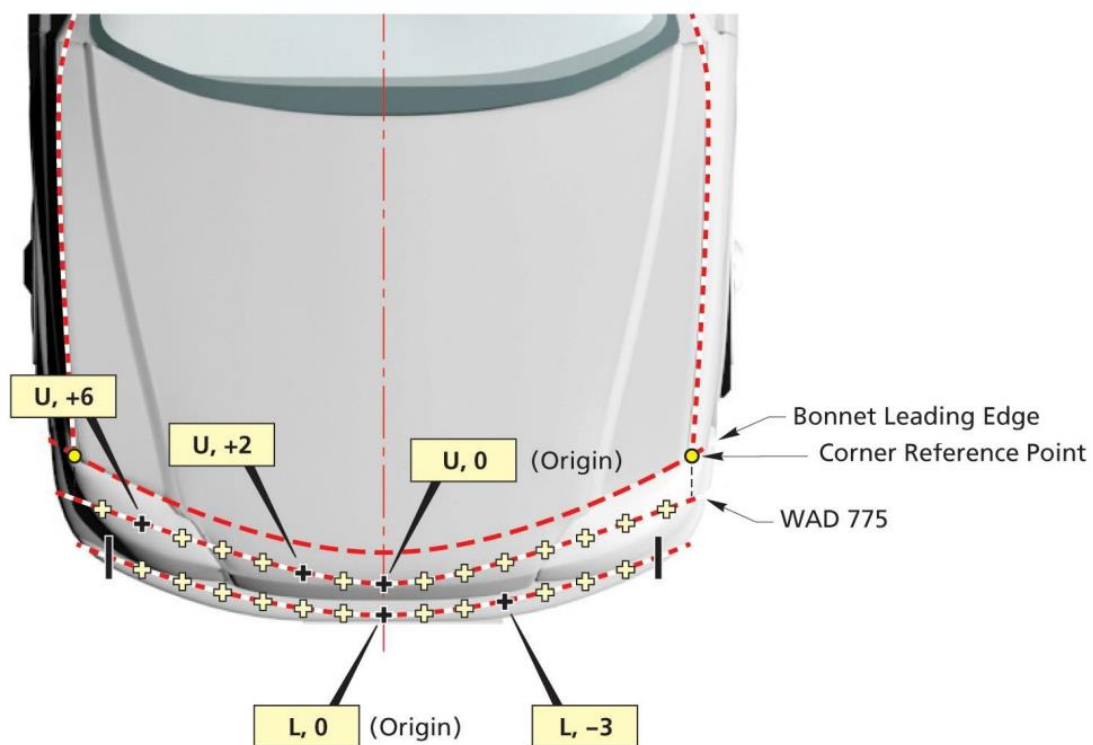
#### 3.2. ANALISIS BIBLIOGRÁFICO

El análisis bibliográfico fue llevado a cabo a través de la revisión de documentación emitida por el organismo EURO NCAP (European New Car Assessment Programme), que describe a través de la documentación el protocolo de evaluación y el protocolo de pruebas, las cuales se encuentran orientadas hacia el usuario de carretera vulnerable (VRU).

### 3.2.1. USUARIO VULNERABLE DE LA VÍA – PROTOCOLO DE PRUEBA

El documento “protocolo de pruebas para usuario vulnerable” menciona información variada referente a las pruebas de impacto con las piernas de un peatón.

En ese sentido el protocolo de prueba tiene un simulador de pierna que fue probada en el parachoques del vehículo buscando como objetivo una cuadrícula que se ha definido anteriormente. Los puntos asimétricos se han localizado antes de realizar las pruebas y los puntos que sean simétricos el laboratorio tuvo que definir qué lado se usó para la prueba física.



**Figura 3.2** Etiquetado de los puntos de cuadrícula del simulador de pierna superior

(EuroNCAP, 2022)

La secretaria de la NCAP se encargó de escoger un punto L0 o L1 y luego se hicieron más pruebas en punto diferentes al primero. Pueden existir puntos de cuadrícula que no se hayan sometido a las pruebas, estos por consiguiente tendrán el más bajo resultado de uno de los adyacentes. Y, de notar que un punto no ha podido cumplir correctamente la prueba o no refleje la simetría muy bien se realizaron más pruebas para estos puntos (EuroNCAP, 2022).

### **3.2.1.1. REGISTRO DE LAS UBICACIONES DE LOS PUNTOS DE IMPACTO**

El análisis de las medidas obtenidas se realizó a través del uso de un sistema tridimensional con una precisión del 0,5 mm ubicando así el origen de la cuadrícula, además de ubicar los puntos de impacto seleccionados. Sumado a esto el vehículo no debe presentar movimiento alguno mientras se lleva a cabo la recolección de los datos de los puntos de impacto.

Para la transferencia de las pruebas las piezas que reciben el impacto para cada una de las pruebas, no es necesario que solo una pieza haya cumplido con todas las pruebas, al momento de haber colocado las nuevas piezas se ha medido la altura de manejo en las cuatro ruedas, de ser altas se colocara pesos y si son bajas se quitara peso del vehículo o se colocara bloques debajo de la carrocería que se quitaran antes de la prueba (EuroNCAP, 2022).

### **3.2.2. USUARIO VULNERABLE DE LA VÍA – PROTOCOLO DE EVALUACIÓN**

#### **3.2.2.1. SIMULADOR DE PIERNA SUPERIOR – PELVIS**

A cada uno de los puntos de la parrilla se le asigna el mismo valor de uno obteniendo así el mismo valor de puntos en relación con los de la parrilla y a través de la aplicación de una escala lineal, entonces el rendimiento de la del simulador de la parte superior de la pierna tiene su base en el peor rendimiento de cada cuadrícula (EuroNCAP, 2023).

#### **3.2.2.2. REGLAMENTO TECNICO GLOBAL N.º 9 – SEGURIDAD PEATONAL**

El GTR 9 propone que los parachoques cumplan requisitos mínimos que puedan proveer seguridad a la zona de las piernas de los peatones, todo esto a través de un simulador de pierna ya sea de la parte superior o inferior de la pierna, para llevar a cabo esta prueba se ha determinado una velocidad de ensayo de 40 km/h (United Nations, 2009).

Los ensayos encaminados a la parte superior de la pierna se producen debido a que el parachoques se encuentra en un rango de medida entre los 425 mm a 500 mm. Los vehículos SUV tienen ese tipo de parachoques debido a su funcionalidad por ello no se mide la aceleración producida para la evaluación del riesgo de fracturas. Por otro lado, a través del WG17 y su investigación a través de PMHS determinaron que existe un margen de tolerancia en la parte superior de la pierna que en kN va desde los 5 kN hasta los 7 kN, un momento de flexión que va desde 300 a 600 Nm, esto dado a tres puntos en la mitad



del fémur. Como resultado, se permitió tener como límite de fuerza máxima el valor de 7,5 kN y como momento flector un valor de 510Nm (United Nations, 2009).

### **3.2.2.3. TOLERANCIA DE HUESOS LARGOS**

La tolerancia dentro de los huesos largos hechos en pruebas de impacto en las que se mide la fuerza de impacto máxima y los momentos provocados dentro de tres estudios. El primer estudio reportó la fractura de fémur con los valores de fuerza máxima dentro de un rango de 3 kN a 10 kN y los valores de momento fueron de aproximadamente 320 Nm (Tyler et al., 1993).

En el segundo estudio la fractura de tibia se reportó con valores de fuerza de impacto máxima de 2,5 kN a 8 kN y en el caso de los momentos se da un rango de 176 Nm a 431 Nm. Las pruebas determinaron la resistencia de la tibia a través de pruebas dinámicas de flexión en tres puntos de piernas de cadáveres, obteniendo resultados de fractura de tibia con una fuerza máxima de 2 kN a 6 kN y la desviación del hueso con un valor cercano a 8 mm. Por lo tanto, se llegó a estimar la rigidez de la tibia en un rango de 250 a 750 N/mm según la tolerancia obtenida en las pruebas con muestras de pierna (Nyquist et al., 1985).

## **3.3. CONDICIONES VEHÍCULO**

### **3.3.1. SELECCIÓN DEL VEHÍCULO**

La selección del vehículo se realizó en base a los datos proporcionados por la AEADE en el año 2022 se notó que los automóviles están siendo sustituidos por los SUV, con porcentajes de 24,6% y 45,7% no solo en Ecuador sino en toda América latina y además de forma global (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2022).

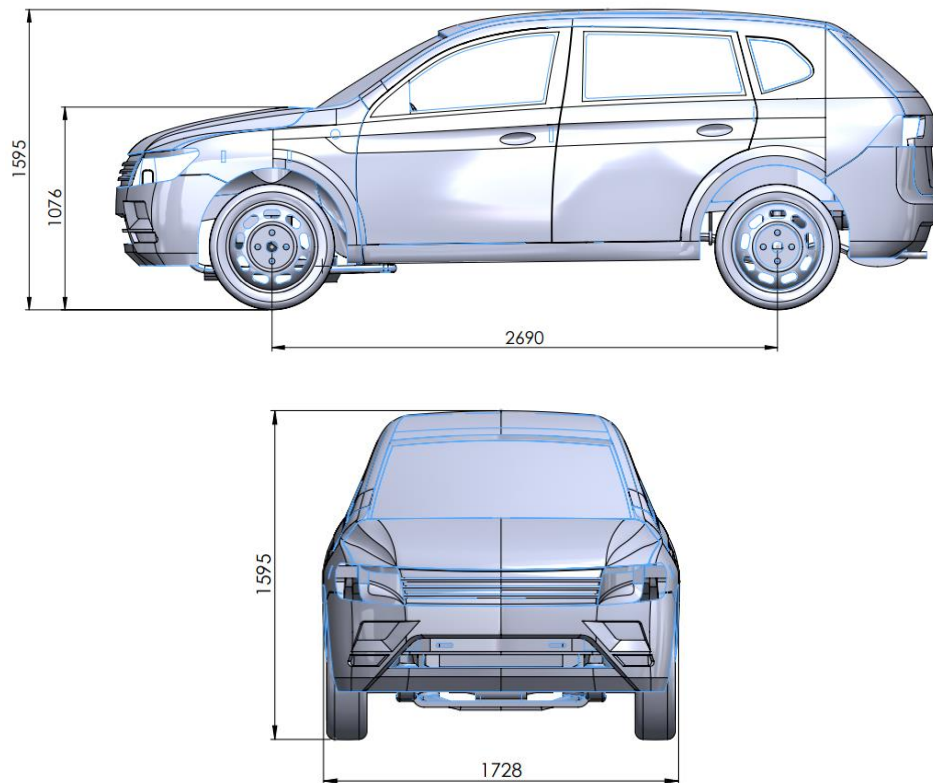
En el territorio ecuatoriano los consumidores tienen más atracción hacia las características que brinda un SUV como mayor espacio interior, desempeño en carreteras y caminos de segundo orden además de la oferta en varias gamas compactas, esto ha provocado que el aumento de ventas de SUV haya crecido un 27% siendo un total de 63793 unidades (Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2022).

### **3.3.1 MODELADO**

Se diseño por medio de un software CAD un vehículo de tipo SUV mediante el módulo de superficies en donde se logró obtener el modelo aproximado teniendo en cuenta las dimensiones de este tipo de vehículos.

Se modelaron los sistemas automotrices más relevantes que componen el vehículo en una sola pieza única sin necesidad de realizar algún tipo de ensamble, esto facilita su importación a otro tipo de software de preprocesamiento para realizar el mallado, asignación de espesores y materiales.

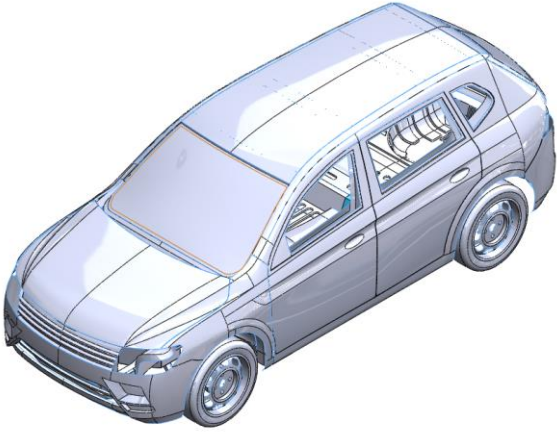


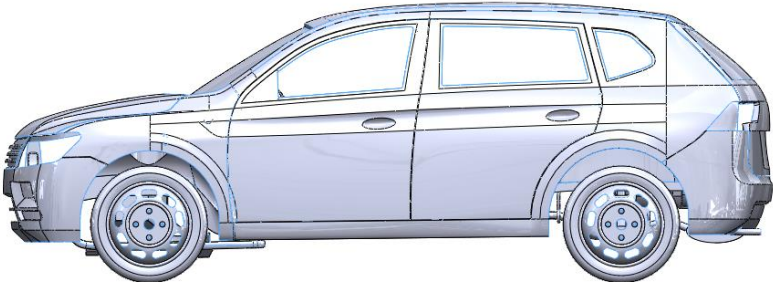
En la Figura 3.3, se puede observar las medidas generales del modelo final que se modeló en base a las medidas características de este tipo vehículos.

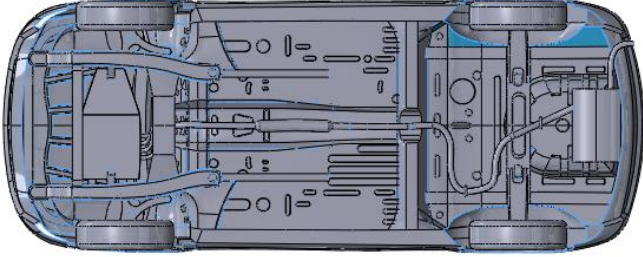
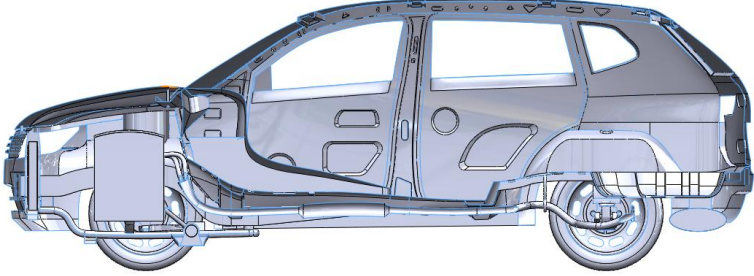


**Figura 3.3** Medidas generales del vehículo tipo SUV modelado (vista lateral izquierda y vista frontal)

En la Tabla 3.1, se muestran la descripción del modelo final, vista general isométrica, vista frontal, vista posterior, vista lateral izquierda y todos los componentes que se modelaron.

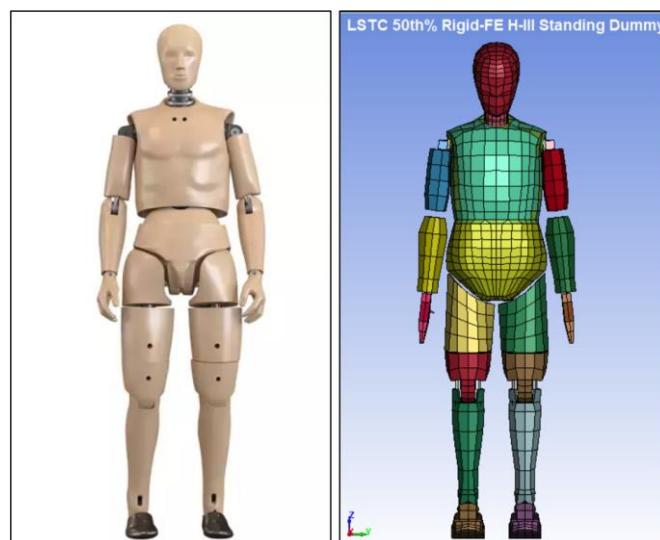
**Tabla 3.1** Descripción del modelado final del vehículo tipo SUV

Vistas generales	Descripción
	<p><i>Vista general isométrica</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estructura general del vehículo y las ruedas.</li> </ul>
	<p><i>Vista frontal</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Partes frontales del capó, neblineros y orificios donde se instalan los faros.</li> </ul>
	<p><i>Vista posterior</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puerta posterior y orificios donde se instalaron los faros posteriores.</li> </ul>
	<p><i>Vista lateral izquierda</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puertas laterales y ruedas.</li> </ul>

	<p><i>Vista inferior</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas automotrices más importantes y detalles de la carrocería del vehículo.</li> </ul>
	<p><i>Vista de sección</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Detalles internos de la carrocería y sistemas automotrices.</li> </ul>

### 3.4. CONDICIONES DUMMY

El dummy que se utiliza en la simulación para este caso es el Hybrid III percentil 50, el cual representa un peatón masculino, como se mencionó anteriormente el modelo es desarrollado por LSTC, este modelo tiene un total de 4299 elementos y 7470 nodos. La altura del dummy es de 175 cm, con una masa de 77 kg, el modelo incorpora rasgos de movimiento, peso y centro de gravedad simulando las partes del cuerpo de un ser humano.



**Figura 3.4** Dummy peatón masculino percentil 50 Hybrid III real y simulado en LS-

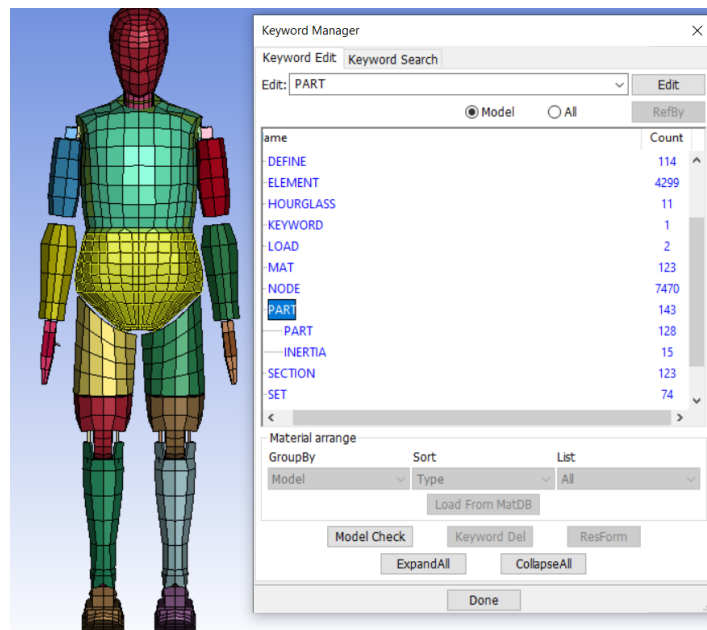
DYNA

(Humanetics, 2017)

Aunque no es objeto de estudio, a continuación se describen brevemente algunas características principales del dummy que se ha utilizado.

### 3.4.1. GEOMETRÍA

La geometría del dummy tal y como se observa en la figura 3.7 es muy similar a la del dummy original. El modelo se compone de 128 partes los cuales están agrupados en 23 grupos, también se pueden diferenciar partes como la cabeza, antebrazos, hombros, pecho, pelvis, entre otros.

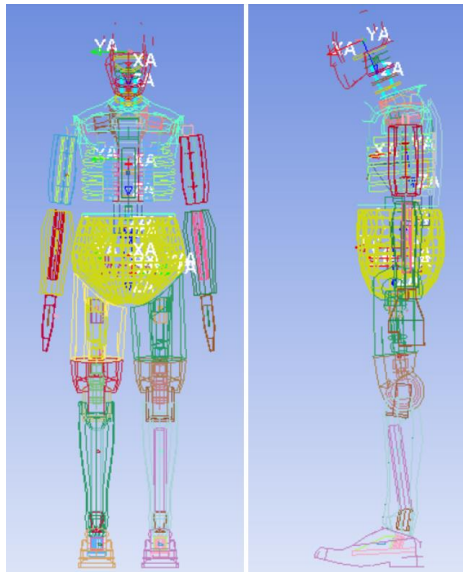


**Figura 3.5** Dummy y sus componentes

Como se observa en la figura 3.5 el modelo está compuesto de 4299 elementos, en donde la mayoría de estos están repartidos entre elementos tipo SOLID (62%) y SHELL (38%), los elementos faltantes son MASS, DISCRETE Y BEAM, además de 6 acelerómetros SEATBELT\_ACCELEROMETER. Finalmente también se puede observar que la cantidad de nodos en total son 7470.

### 3.4.2. ACELERÓMETROS

El modelo Hybrid III percentil 50 cuenta con 6 acelerómetros ubicados en diferentes partes del cuerpo: uno está localizado en la cabeza, otro está en el torax, y cuatro se ubican en la zona de la pelvis. Los acelerómetros que se observan en la figura 3.6, ayudan a obtener los valores de aceleración que tiene el dummy durante la simulación.



**Figura 3.6** Ubicación de acelerómetros en el dummy

De igual forma todos los acelerómetros tienen asociado un eje de coordenadas local que está definido por un origen y por los ejes XA, YA y ZA. El diseño de estos acelerómetros tienen forma de cubo y su función es recoger toda la información necesaria mientras dura la simulación, después estos datos sirven para obtener la variación de aceleración con respecto al tiempo en el post-procesamiento.

### **3.5. ENSAYOS REALES DE LAS PROBETAS BAJO NORMATIVA ASTM**

Los ensayos reales mediante normativa ASTM de las probetas de material compuesto a base de resina epoxi con refuerzo de fibra de cabuya y material compuesto a base de resina epoxi con refuerzo de fibra de caña, se realizaron en el proyecto elaborado por (Ponce Tobar, 2020), en el proyecto mencionado se detallan los ensayos realizados en laboratorio como son los de flexión, tracción e impacto, y los resultados de cada una de estas pruebas realizadas con las probetas en físico, cabe señalar que se tuvieron 6 probetas para cada ensayo tanto para la fibra de caña y la fibra de cabuya, la cantidad de probetas se establecen en las normas ASTM de acuerdo a cada ensayo.

Las pruebas realizadas muestran las propiedades mecánicas de estos nuevos materiales compuestos de la fibra de caña y fibra de cabuya al someterse a los diferentes esfuerzos, de igual manera se muestra la fracción volumétrica utilizada para cada uno de los casos, a continuación, se detallan todas estas características técnicas necesarias para la validación del material mediante el programa MEF.

### 3.5.1. CONDICIONES DE LAS PROBETAS

Para la construcción de las probetas (Ponce Tobar, 2020) utilizó la siguiente configuración o fracción volumétrica:

- Matriz 60% / Refuerzo 40%
- Matriz 75% / Refuerzo 25%

Otra característica importante es la condición de las fibras, para este caso se estableció que las fibras estén dispuestas de forma continua, esto se logró gracias a la utilización de fibras largas tanto para las probetas de caña y de azúcar.

Como datos adicionales se conocen las densidades de los materiales utilizados:

- $\rho$  Caña de azúcar = 0,83 g/cm<sup>3</sup>
- $\rho$  Cabuya = 1,30 g/cm<sup>3</sup>
- $\rho$  Resina = 1,10 g/cm<sup>3</sup>

En la tabla 3.2 se muestra a detalle las características y configuración para la fibra de caña de azúcar, en las que se encuentran la fracción volumétrica empleada, el tipo y orientación de las fibras, la masa y el número de probetas para cada ensayo realizado.

**Tabla 3.2** Estructura de probetas de caña de azúcar

<b>Ensayo de tracción</b>					
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	Nro. Probetas	Masa (g)
1	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	37,35
2	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	23,31
<b>Ensayo de flexión</b>					
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	Nro. Probetas	Masa (g)
3	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	15,29
4	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	9,56

**Fuente:**(Ponce Tobar, 2020)

De igual manera en la tabla 3.3 se muestran las mismas características que se mencionaron en la tabla anterior, pero en este caso para las probetas de fibra de cabuya.

**Tabla 3.3** Estructura de probetas de cabuya

<b>Ensayo de tracción</b>					
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	Nro. Probetas	Masa (g)
5	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	58,5
6	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	36,5
<b>Ensayo de flexión</b>					
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	Nro. Probetas	Masa (g)
7	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	23,95
8	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 - 0 - 90	6	14,94

**Fuente:** (Ponce Tobar, 2020)

### 3.5.2. FABRICACIÓN DE PROBETAS

Los moldes para los diferentes ensayos se realizaron empleando la normativa ASTM, (Ponce Tobar, 2020) utiliza las siguientes normativas:

- ASTM D3039 para ensayos de tracción
- ASTM D7264 para ensayos de flexión

#### 3.5.2.1 ENSAYO DE TRACCIÓN – NORMA ASTM D 3039

Sobre el ensayo de tracción mencionado en la normativa ASTM - D 3039 tiene la siguiente información sobre las características de las probetas con las que se llevará a cabo el ensayo de tracción.

Se pudo notar que el contenido establecido dentro de la norma establece parámetros de control de acuerdo con las magnitudes a obtener, la forma de realización de la prueba de tracción

Esta norma permitió obtener datos que se usaron para la realización de las probetas de ensayo y también puntos cualitativos sobre los ensayos que se tomaron de manera importante como, por ejemplo, los requerimientos generales del espécimen de prueba.

En la tabla 3.4 se detallan las características principales que tendrá el espécimen para el estudio de tracción siendo los más importantes: la forma, dimensiones y tolerancias necesarias.



**Tabla 3.4** Requisitos geométricos de las probetas de tracción

Parámetro	Requerimiento
Requisitos del cupón	
Forma	Sección rectangular cte.
Longitud mínima	Agarre+ 2 veces la anchura + longitud del calibre
Anchura de la muestra	Según necesidad
Tolerancia de la anchura de la muestra	11% de la anchura
Espesor de la muestra	Según necesidad
Tolerancia grosor de la muestra	14% del espesor
Planitud de la muestra	Plano con ligera presión del dedo
Requisitos de la lengüeta (si se utiliza)	
Material de la pestaña	Según sea necesario
Orientación de las fibras (lengüetas compuestas)	Según sea necesario
Espesor de la lengüeta	Según sea necesario
Variación del grosor de la lengüeta entre pestañas	$\pm 1\%$ del grosor de la lengüeta
Angulo del bisel de la lengüeta	5 a 90°, inclusive
Paso de la lengüeta en bisel a la probeta	Emplumado sin dañar la muestra

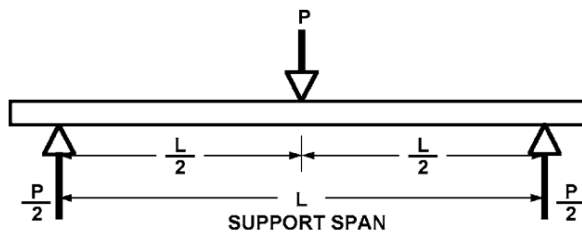
**Fuente:** (Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2014)

### 3.5.2.2 ENSAYO DE FLEXIÓN – NORMA ASTM D 7264

El principio del ensayo de flexión realizado se basa en el uso de una viga apoyada en dos puntos y justo en la mitad de esta se aplicó una fuerza tal, que empezó a deformar la viga.

Según la norma ASTM D 7264 existen dos tipos de ensayo, el primero es el uso de una barra que descansa en los soportes y a través del uso de una punta de carga se aplica una fuerza en medio del camino de los dos soportes. El segundo ensayo en cambio usa dos apoyos y dos puntos de carga (que están a la misma distancia del punto de apoyo adyacente) y la distancia entre los puntos de carga es la mitad de la de los puntos de apoyo (Designation: D 7264 / D 7264M -07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1, 2020)

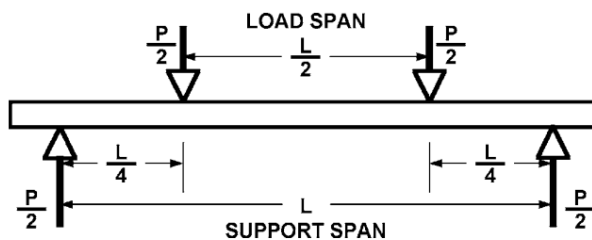
En la figura 3.7 se muestra el ensayo con una sola carga con su respectiva notación de distancia para los soportes.



**Figura 3.7** Ensayo de flexión con un solo punto de carga

(Designation: D 7264 / D 7264M -07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1, 2020)

También hay un ensayo tipo B en donde se aplican dos puntos de carga como se indica en la figura 3.8, con su respectiva distancia de los soportes.

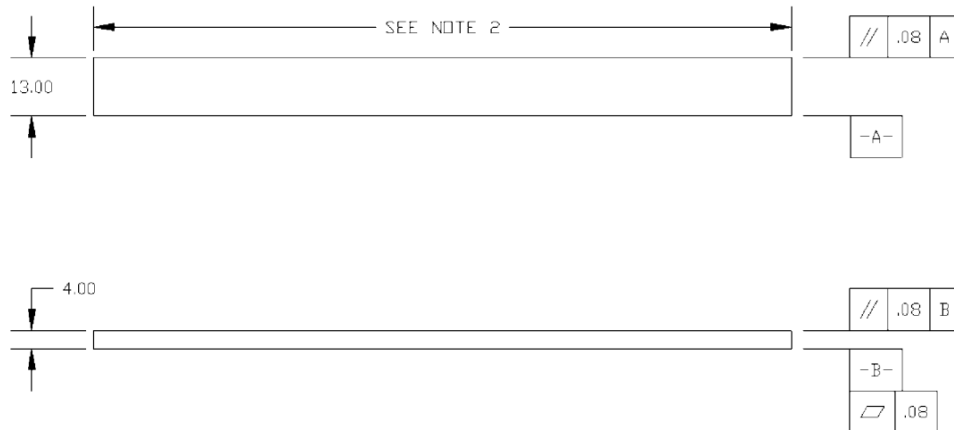


**Figura 3.8** Ensayo de flexión tipo B, con dos puntos de carga

(Designation: D 7264 / D 7264M -07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1, 2020)

El tamaño de las probetas se determinó a partir de la precisión con la que se busquen las propiedades a través de la prueba de flexión. En base a la normativa expresa que el fallo se debió producir en superficie de la probeta, así se eligió la relación entre la luz y el espesor del soporte. La relación estándar entre estas dos partes es de 32:1, el espesor estándar es de 4 mm, y su anchura de 13 mm.

Se muestra a continuación una representación de una probeta hecha para el ensayo de flexión en valores estándar.



**Figura 3.9** Dibujo de la muestra de ensayo de flexión estándar

(Designation: D 7264 / D 7264M -07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1, 2020)

Sobre el número de muestras de ensayo, se tuvo que utilizar al menos cinco probetas (tal y como lo expresa la normativa), excepto que exista el caso de que se puedan obtener resultados validos con menos probetas.

### 3.5.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

Los materiales compuestos sometidos a las diferentes pruebas de tracción, impacto y flexión, arrojaron los siguientes resultados tal y como (Ponce Tobar, 2020) muestra en su trabajo de grado, en la tabla 3.5 se muestran los resultados para las probetas de caña de azúcar:

**Tabla 3.5** Resultados de los ensayos para las probetas de caña de azúcar

Ensayo de tracción		
Grupo	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)
1	24,54	469,74
2	24,19	479,49
Ensayo de flexión		
Grupo	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)
3	50,36	2707,66
4	45,77	2341,6

**Fuente:** (Ponce Tobar, 2020)

De igual manera en la tabla 3.6 se muestran los resultados para las probetas de cabuya:

**Tabla 3.6** Resultados de los ensayos para las probetas de cabuya

<b>Ensayo de tracción</b>		
Grupo	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)
7	63,7	987,39
8	52,25	784,64
<b>Ensayo de flexión</b>		
Grupo	Esfuerzo máximo Promedio (MPa)	Módulo de elasticidad promedio (MPa)
9	118,73	4977,03
10	118,81	4486,89

**Fuente:** (Ponce Tobar, 2020)

### 3.6 VALIDACIÓN DE ENSAYOS

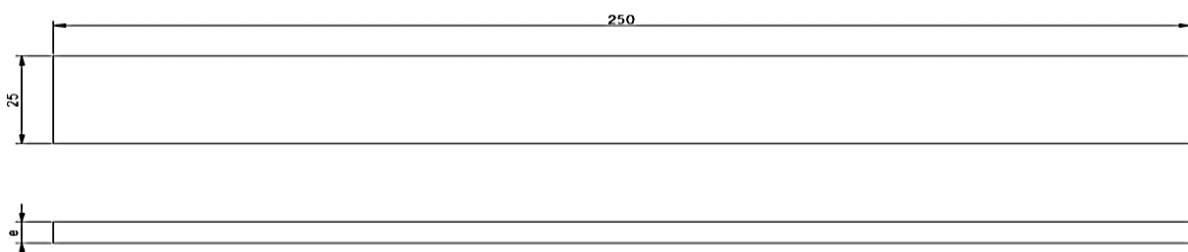
Para la validación de ensayos de las probetas de material compuesto a base de resina epoxi con fibra de cabuya y material compuesto a base de resina epoxi con fibra de caña de azúcar, se emplearon el ensayo de tracción y el ensayo de flexión, los cuales se realizaron en la tesis de (Ponce Tobar, 2020) en forma real bajo normas ASTM.

Los resultados y datos obtenidos de los ensayos reales son los que se utilizaron para la validación de las dos configuraciones de materiales compuestos.

#### 3.6.1 MODELADO DE PROBETAS PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN

##### 3.6.1.1 Probeta para ensayo de tracción

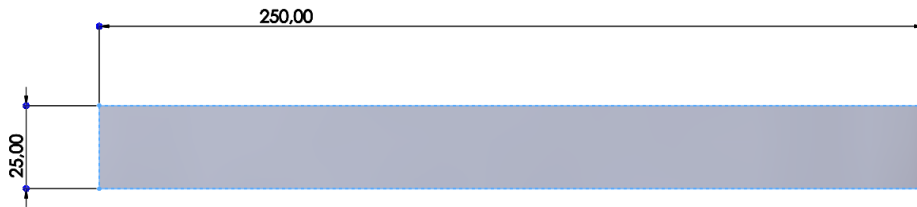
Con los datos obtenidos se procedió a modelar la probeta en base a las dimensiones establecidas para las probetas en los ensayos de tracción dispuestas en la normativa ASTM D3039 y cuyas dimensiones se indican en la Figura 3.10.



**Figura 3.10** Dimensión de las probetas para ensayos de tracción

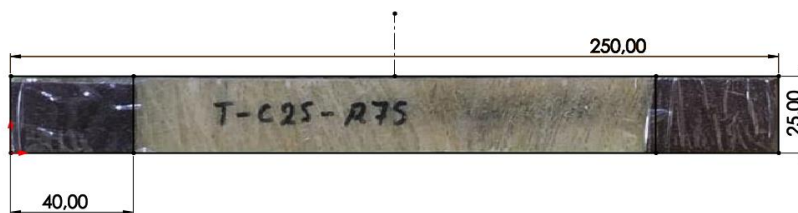
(Ponce Tobar, 2020)

Con las dimensiones establecidas se modeló la probeta en un software CAD mediante el módulo de superficies como se muestra en la Figura 3.11, que luego será importada a un software de preprocesamiento.



**Figura 3.11** Modelado de la probeta para ensayo de tracción

Antes de importar el modelo de la probeta para ensayo de tracción se deberá obtener una medida aproximada de los puntos de anclaje donde irán fijadas las mordazas de la máquina de ensayos de tracción, para esto se tomó como referencia una imagen de la probeta en donde indica la ubicación exacta de los soportes fijos como se indica en la Figura 3.12.



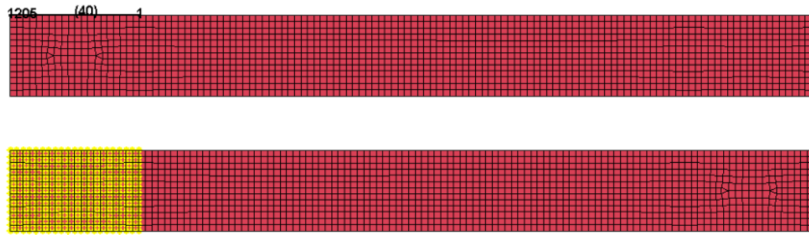
**Figura 3.12** Ubicación aproximada de los puntos de anclaje de la probeta

Una vez conocido el valor de la longitud establecida para la ubicación de las mordazas de 40 mm se exporta el archivo de la probeta para proceder con el mallado del elemento como se indica en la Figura 3.13.



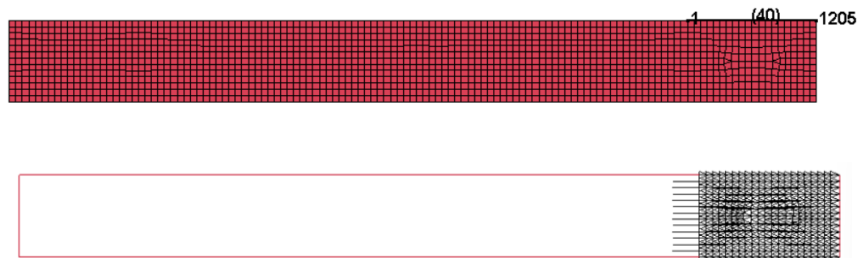
**Figura 3.13** Mallado de la probeta a 2 mm

Después se selecciona la ubicación de las mordazas a 40 mm como se indica en la Figura 3.14.



**Figura 3.14** Selección de la ubicación de las mordazas

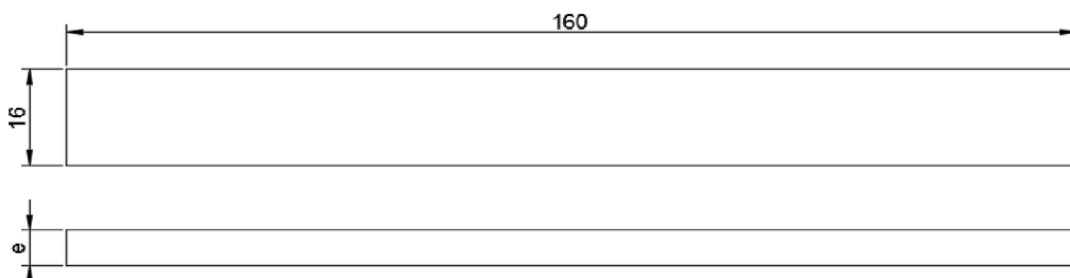
Por último, se asignan las cargas correspondientes de la Fuerza máxima promedio en la ubicación de la otra mordaza a 40 mm de las dos probetas como se indica en la Figura 3.15.



**Figura 3.15** Ubicación de la Fuerza máxima promedio de la probeta de material compuesto

### 3.6.1.2 Probeta para ensayo de flexión

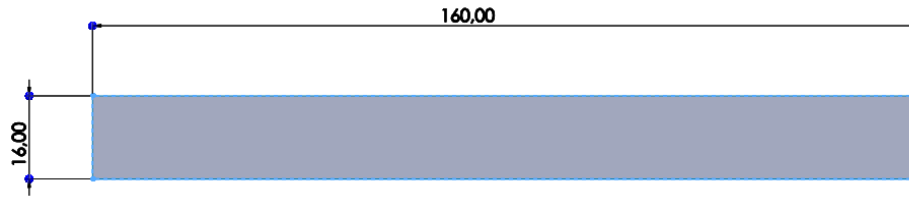
En base a las dimensiones establecidas para las probetas en los ensayos de flexión dispuestas en la normativa ASTM D7264 y cuyas dimensiones se indican en la Figura 3.16.



**Figura 3.16** Dimensión de las probetas para ensayos de tracción

(Ponce Tobar, 2020)

Con las dimensiones establecidas se modeló la probeta en un software CAD mediante el módulo de superficies como se muestra en la Figura 3.17, que luego será importada a un software de preprocesamiento.



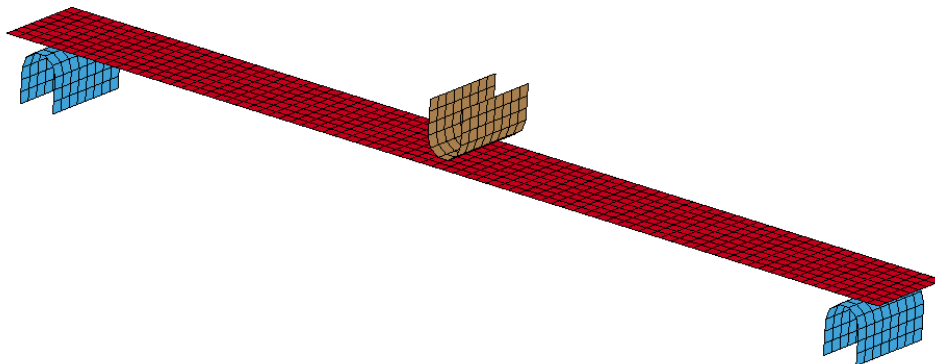
**Figura 3.17** Modelado de la probeta para ensayo de flexión

Una vez modelado se exporta el archivo de la probeta para proceder con el mallado del elemento como se indica en la Figura 3.18.



**Figura 3.18** Mallado de la probeta a 2 mm

Por último, se asignan los puntos de apoyo y la carga correspondientes de la Fuerza máxima promedio en la ubicación en el centro de la probeta como se indica en la Figura 3.19.



**Figura 3.19** Ubicación de la fuerza máxima promedio de la probeta de material compuesto

### 3.6.2 VALIDACIÓN DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CABUYA

#### 3.6.2.1 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CABUYA

Para caracterizar el material compuesto a base de resina epóxica reforzada con fibra de cabuya se tomaron los datos de la configuración que mostró mayor resistencia a través del valor del esfuerzo máximo promedio el cual se indica en la parte inferior de la tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya (Ensayo de tracción)

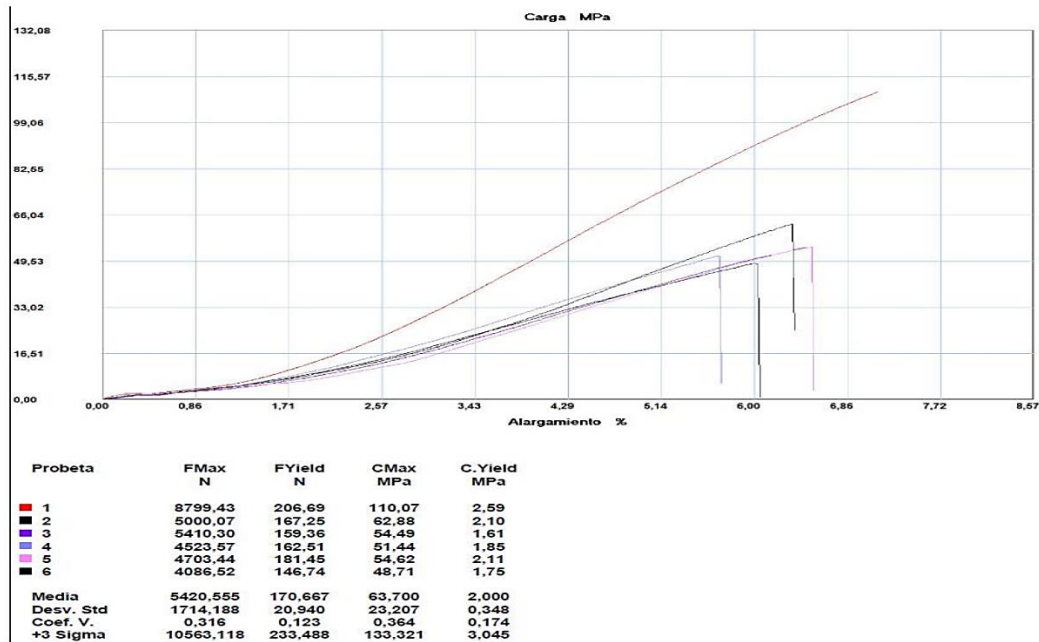
<b>PARAMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de ensayo:	Tracción		Norma:	ASTM D3039	
Orientación:	90°-0°-90°		Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Epoxi		Fracción Volumétrica:	60%	
Refuerzo:	Fibra de Cabuya		Fracción Volumétrica:	40%	
Dimensiones:	250mm*25mm*e		Número de probetas:	6	
Espesor promedio:	3,39mm		Velocidad de ensayo	10 mm/min	
Temperatura:	21,70°C		Humedad:	52,70%	
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	8799,43	110,07	1540,53	7,14	LGB
2	5000,07	62,88	989,93	6,35	LGT
3	5410,30	54,49	840,51	6,48	LAB
4	4523,57	51,44	905,44	5,68	LAB
5	4703,44	54,62	836,41	6,53	LGM
6	4086,52	48,71	811,55	6,00	LGT
Promedio	5420,55	63,70	987,39	6,36	-
Desv Est	1714,19	23,21	278,56	0,50	-
<b>EVALUACION Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			63,70 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			987,39 MPa		

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

El valor para tomar en cuenta para la validación de los resultados de las probetas será el del Esfuerzo Máximo Promedio que en este caso provee un valor de 63,70 MPa o 0,06370 GPa.



También es importante la gráfica de esfuerzo vs deformación que se indica en la figura 3.20 con la cual se configura la curva esfuerzo vs deformación necesaria para la caracterización del material en el software.



**Figura 3.20** Curva de carga máxima vs deformación del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya  
(Ponce Tobar, 2020)

- **Configuración de la carta de control del material compuesto**

El material que se utilizó para las probetas es de tipo MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY en donde se ingresarán los valores correspondientes para la resina epóxica. En la Tabla 3.8, se indican los valores para las propiedades de mecánicas y físicas de la resina epóxica.

**Tabla 3.8** Propiedades del material resina epóxica

RESINA EPÓXICA	
Propiedad	Valor
Densidad del material	1,4e-6 (kg/mm <sup>3</sup> )
Radio de Poisson	0,38 (mm/mm)

**Fuente:** (Ponce Tobar, 2020)

Establecidos los valores para las propiedades de la resina epóxica, se utilizan los valores que se indican en la Figura 3.7 (Datos del ensayo real) para completar los parámetros correspondientes del material compuesto a base de resina epóxica y fibra de cabuya. Los valores que se utilizaron son los que se indican en la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9** Propiedades del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya

<b>MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE CABUYA</b>	
<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Esfuerzo Máximo Promedio	0,0637 (GPa)
Módulo de Elasticidad Promedio	0,987 (GPa)
Porcentaje de elongación Promedio	6.36%
<b>Valores de la curva <i>Carga vs deformación</i></b>	
Fuerza Máxima Promedio	5,420 (kN)
Carga Máxima Promedio	0,06370 (GPa)
Carga de Fluencia Promedio	0,002 (GPa)

**Fuente:**(Ponce Tobar, 2020)

Partiendo de estos datos se completan los parámetros requeridos en la carta de control MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY y se completa los datos requeridos para crear la curva característica del material compuesto como se indica en la Figura 3.21 y 3.22.

**TITLE**  
CABUYA

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
	1	1.400e-06	0.9870000	0.3800000	0.0020000	0.0	0.0600000	0.0

2 **C** **P** **LCSS** **LCSR** **VP**  
  1 0 0.0

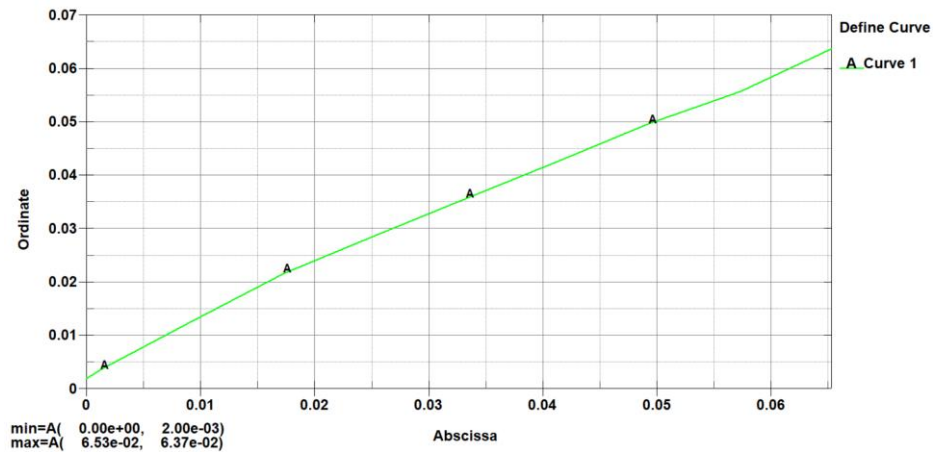
3 **EPS1** **EPS2** **EPS3** **EPS4** **EPS5** **EPS6** **EPS7** **EPS8**

4 **ES1** **ES2** **ES3** **ES4** **ES5** **ES6** **ES7** **ES8**

Plot Raise New Padd

COMMENT:

**Figura 3.21** Ingreso de las propiedades del material compuesto a base de resina epoxi con fibra de cabuya

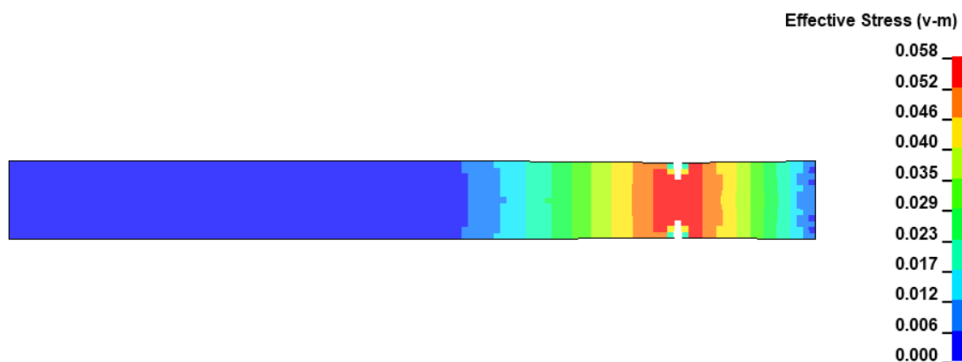


**Figura 3.22** Curva característica del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya

### 3.6.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CABUYA

Se verifican y compara el valor promedio de la Carga Máxima (CM<sub>máx</sub>) de la Figura 3.20 (Curva de carga vs deformación) con los resultados obtenidos al realizar el ensayo de tracción por el método de elementos finitos del material compuesto a base de resina epóxica reforzada con fibra de cabuya, el valor resultante de esfuerzo máximo promedio antes de la rotura es de 0,06370 GPa.

En la Figura 3.23, se muestran el valor máximo de 0,058 GPa que se produce antes de la rotura del material.



**Figura 3.23** Esfuerzo máximo antes de la rotura del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya

La comparación entre el valor promedio de Carga Máxima de 0,06370 GPa con el valor resultante de la simulación de 0,058 GPa resulta en una variación o error del 8%, entre los dos valores, el criterio para la validación de la simulación es que el error entre los dos valores comparados no se exceda del 10% condición la cual se cumple.

### **3.6.3 VALIDACIÓN DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR**

#### **3.6.3.1 Caracterización del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar**

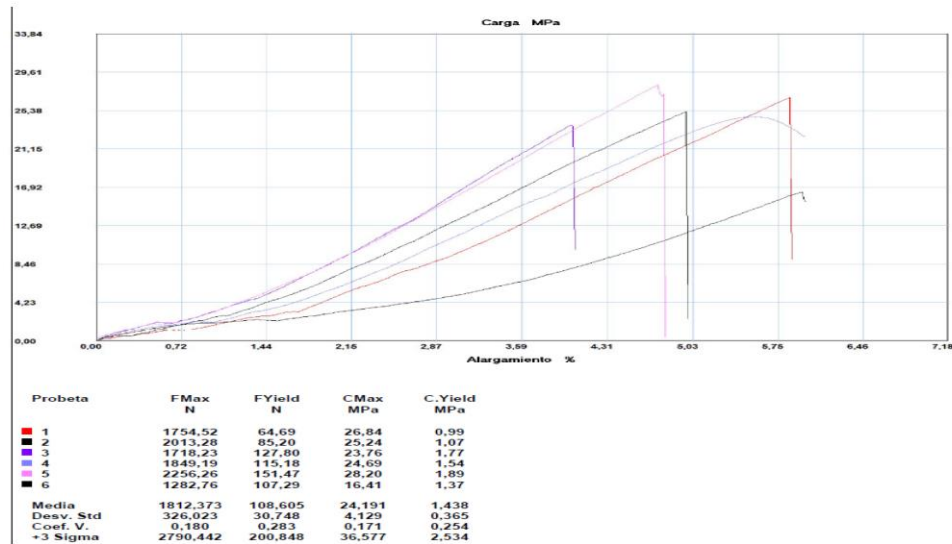
Para caracterizar el material compuesto a base de resina epóxica reforzada con fibra de caña de azúcar se tomaron los datos de la configuración que mostró mayor resistencia a través del valor del esfuerzo máximo promedio el cual se indica en la parte inferior de la tabla 3.10.

**Tabla 3.10** Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar (Ensayo de tracción)

<b>PARAMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de ensayo:	Tracción		Norma:	ASTM D3039	
Orientación:	90°-0°-90°		Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Epoxi		Fracción Volumétrica:	75%	
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.		Fracción Volumétrica:	25%	
Dimensiones:	250mm*25mm*e		Número de probetas:	6	
Espesor promedio:	3,03mm		Velocidad de ensayo	10 mm/min	
Temperatura:	21,20°C		Humedad:	50,80%	
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	1754,52	26,84	459,01	5,85	LGB
2	2013,28	25,24	508,07	4,97	LGM
3	1718,23	23,76	592,60	4,01	LAB
4	1849,19	24,69	445,78	5,54	LGM
5	2256,26	28,20	595,92	4,73	LGT
6	1282,76	16,41	275,61	5,95	LAB
Promedio	1812,37	24,19	479,49	5,17	-
Desv Est	326,02	4,13	118,57	0,75	-
<b>EVALUACION Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			24,19 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			479,49 MPa		

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

En la figura 3.24 la gráfica se indica de esfuerzo vs deformación que con la cual se configura la curva esfuerzo vs deformación necesaria para la caracterización del material en el software.



**Figura 3.24** Curva de carga máxima vs deformación del material compuesto compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar  
(Ponce Tobar, 2020)

- **Configuración de la carta de control del material compuesto**

El material que se utilizó para las probetas es de tipo MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY en donde se ingresarán los valores correspondientes para la resina epóxica los cuales se encuentran en la tabla 3.8.

De la misma forma se deben utilizar los valores que se indican en la Figura 3.10 (Datos del ensayo real) para completar los parámetros correspondientes del material compuesto a base de resina epóxica y fibra de caña de azúcar. Los valores que se utilizaron son los que se indican en la Tabla 3.11.

**Tabla 3.11** Propiedades del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar

<b>MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR</b>	
<b>Propiedad</b>	<b>Valor</b>
Esfuerzo Máximo Promedio	0.0241 (GPa)
Módulo de Elasticidad Promedio	0.479 (GPa)
Porcentaje de elongación Promedio	5.17%
<b>Valores de la curva <i>Carga vs deformación</i></b>	
Fuerza Máxima Promedio	1.812 (kN)
Carga Máxima Promedio	0.0241 (GPa)
Carga de Fluencia Promedio	0.0014 (GPa)

**Fuente:**(Ponce Tobar, 2020)

Partiendo de estos datos se completan los parámetros requeridos en la carta de carta de control MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY y se completa los datos requeridos para crear la curva característica del material compuesto como se indica en la Figura 3.25 y 3.26.

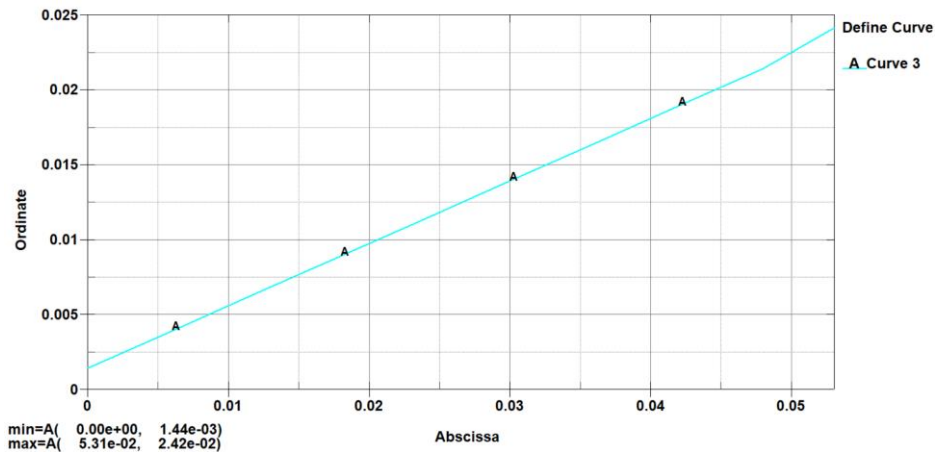
**TITLE**  
C AZUCAR

1	<u>MID</u>	<u>RO</u>	<u>E</u>	<u>PR</u>	<u>SIGY</u>	<u>ETAN</u>	<u>FAIL</u>	<u>TDEL</u>
	2	1.400e-06	0.4790000	0.3800000	0.0014380	0.0	0.0517000	0.0
2	<u>C</u>	<u>P</u>	<u>LCSS</u> <input type="checkbox"/>	<u>LCSR</u> <input type="checkbox"/>	<u>VP</u>			
			3	0	0.0			
3	<u>EPS1</u>	<u>EPS2</u>	<u>EPS3</u>	<u>EPS4</u>	<u>EPS5</u>	<u>EPS6</u>	<u>EPS7</u>	<u>EPS8</u>
4	<u>ES1</u>	<u>ES2</u>	<u>ES3</u>	<u>ES4</u>	<u>ES5</u>	<u>ES6</u>	<u>ES7</u>	<u>ES8</u>

Plot Raise New Padd

COMMENT:

**Figura 3.25** Ingreso de las propiedades del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar

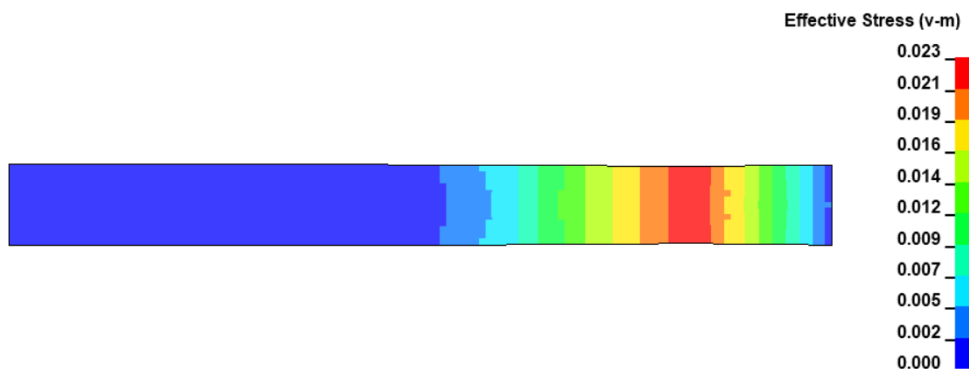


**Figura 3.26** Curva característica del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar

### 3.6.3.2 Análisis de resultados del ensayo de tracción del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar

Se verifica y compara el valor promedio de la Carga Máxima (CM<sub>Áx</sub>) de la Figura 3.24 (Curva de carga vs deformación) con los resultados obtenidos al realizar el ensayo de tracción por el método de elementos finitos del material compuesto a base de resina epóxica reforzada con fibra de caña de azúcar, el valor resultante de esfuerzo máximo promedio antes de la rotura es de 0,02419 GPa.

En la Figura 3.27, se muestran el valor máximo de 0.023 GPa que se produce antes de la rotura del material.



**Figura 3.27** Esfuerzo máximo antes de la rotura del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar



La comparación entre el valor promedio de Carga Máxima de 0,02419 GPa con el valor resultante de la simulación de 0,023 GPa resulta en una variación o error del 5%, entre los dos valores, el criterio para la validación de la simulación es que el error entre los dos valores comparados no se exceda del 10% condición la cual se cumple.

### **3.6.4 VALIDACIÓN DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CABUYA**

Para la caracterización del material y configuración de la carta de control requeridos para este ensayo se utilizó la configuración ya establecida en el ensayo de tracción cuyos datos se indican en la figura 3.21, así como la curva del material en la figura 3.22.

#### **3.6.4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CABUYA**

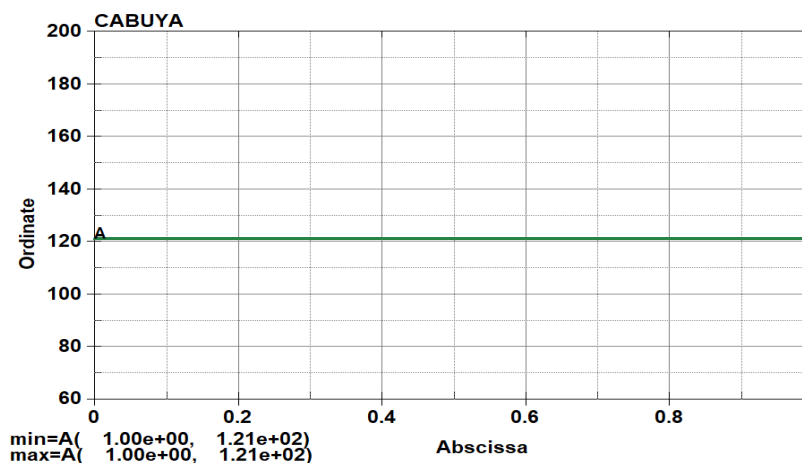
El ensayo de flexión se requiere de una fuerza aplicada, cuyo dato se obtuvo de la ficha técnica (ensayo real) como se indica en la Tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya (ensayo de flexión)

PARAMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	40%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Número de probetas:	6		
Espesor promedio:	5,53mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,20°C	Humedad:	52,80%		
RESULTADOS					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	67,84	100,24	5152,61	16,55	OAT
2	121,49	129,88	5145,29	18,68	OAT
3	89,93	111,59	4835,79	18,16	OAT
4	132,53	142,01	5182,38	20,50	OAT
5	93,09	114,65	5088,85	17,33	OAT
6	97,82	113,99	4457,29	19,08	ObT
Promedio	100,45	118,73	4977,03	18,38	-
Desv Est	23,27	14,82	284,22	1,38	-
EVALUACION Y OBSERVACIONES					
Esfuerzo Máximo Promedio:			45,77 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			2341,60 MPa		

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

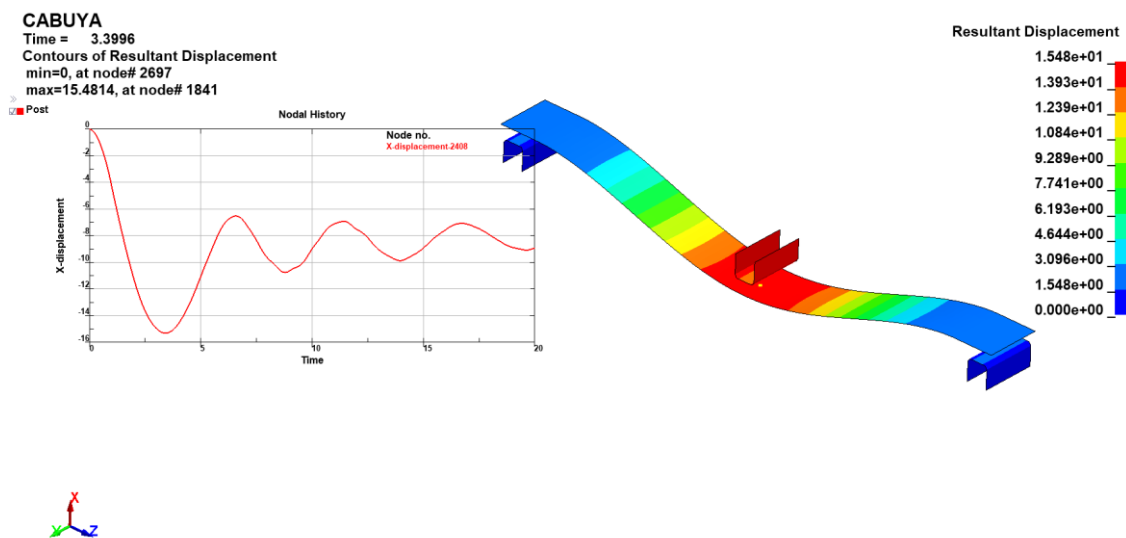
De todos los ensayos realizados se ha tomado la mayor fuerza que soporta la probeta, la mayor fuerza fue de 121 N, con este dato se configuro la curva de fuerza para la aplicación en la simulación como se indica en la figura 3.28.



**Figura 3.28** Fuerza aplicada en punzón de ensayo de flexión máx. 121 N

Se verifican y compara el valor del desplazamiento máximo promedio de la Tabla 3.12 con los resultados obtenidos al realizar el ensayo de flexión por el método de elementos finitos del material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de cabuya, el valor resultante de desplazamiento máximo es de 15,48 mm.

En la Figura 3.29, se muestra el valor máximo de flexión de la probeta de fibra de cabuya.



**Figura 3.29** Desplazamiento de probeta en ensayo de flexión máx. 15.4 mm

El valor de flexión promedio de la tabla 3.12 es de 18,38mm y el resultado de la flexión máxima de la simulación es de 15,4 mm, entre estos valores existe una variación o un error de 2,98 mm que representa un 16,21%. En este caso se considerará el valor en milímetros de la variación para su validación ya que es un valor mínimo (aceptable hasta 5 mm) y no representa un valor alto que afecte en gran medida los resultados.

### 3.6.5 VALIDACIÓN DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

Para la caracterización del material y configuración de la carta de control requeridos para este ensayo se utilizó la configuración ya establecida en el ensayo de tracción cuyos datos se indican en la figura 3.25, así como la curva del material en la figura 3.26.

### 3.6.5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR

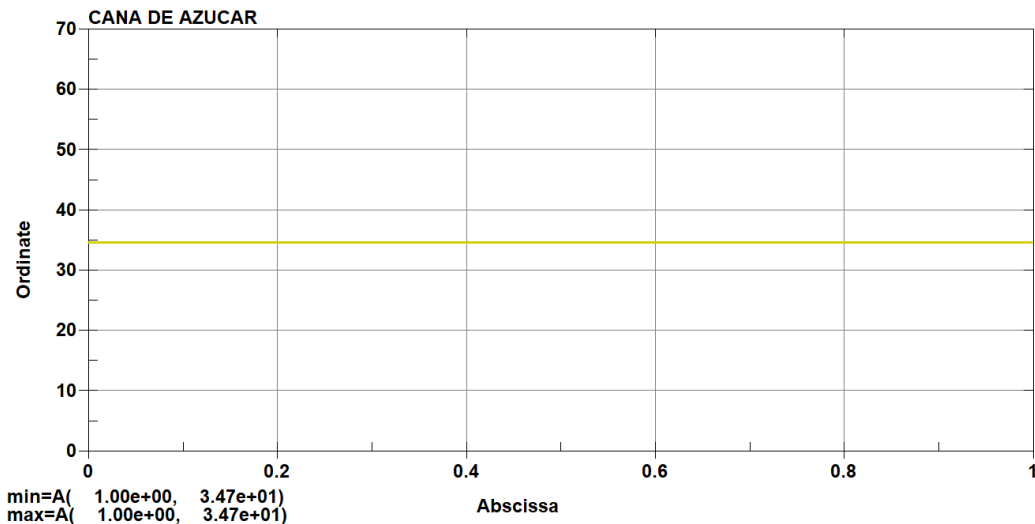
Al igual que el caso anterior se tomó la fuerza en Newtons de la ficha técnica (ensayo real) para la aplicación en el ensayo, como indica la Tabla 3.13.

**Tabla 3.13** Resultados del ensayo real del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar (ensayo de flexión)

PARAMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Número de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,13mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,20°C	Humedad:	53,40%		
RESULTADOS					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	28,40	48,45	2660,43	17,03	OAT
2	26,82	42,31	3313,28	11,47	OAT
3	34,71	47,11	1811,91	21,78	OAT
4	31,56	46,02	2342,70	17,36	OAT
5	28,40	40,22	2009,78	16,71	OAT
6	33,13	50,53	1911,48	22,42	OAT
Promedio	30,50	45,77	2341,60	17,80	-
Desv Est	3,10	3,86	569,47	3,98	-
EVALUACION Y OBSERVACIONES					
Esfuerzo Máximo Promedio:			45,77 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			2341,60 MPa		

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

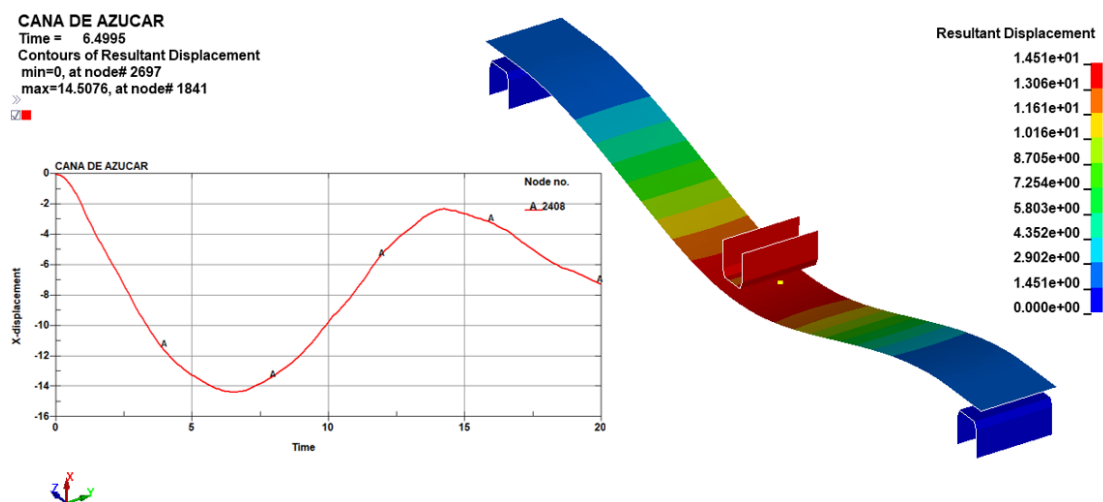
De todos los ensayos realizados se ha tomado la mayor fuerza que soporta la probeta, la mayor fuerza fue de 34,71 N, con este dato se configuro la curva de fuerza para la aplicación en la simulación como se indica en la figura 3.30.



**Figura 3.30** Fuerza aplicada en punzón de ensayo de flexión máx. 34,71 N

Se verifican y compara el valor del desplazamiento máximo promedio de la Tabla 3.13 con los resultados obtenidos al realizar el ensayo de flexión por el método de elementos finitos del material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de caña de azúcar, el valor resultante de desplazamiento máximo es de 14,51mm.

En la Figura 3.31, se muestra el valor máximo de flexión de la probeta de fibra de caña de azúcar.



**Figura 3.31** Desplazamiento en x de probeta de caña de azúcar en ensayo de flexión máx. 14,51 mm

El valor de flexión de la tabla 3.13 es de 17,80mm y el resultado de la flexión máxima de la simulación es de 14,51mm, entre estos valores existe una variación o un error de 3,29

mm que representa un 18,48%. En este caso se considerará el valor en milímetros de la variación para su validación ya que es un valor mínimo (aceptable hasta 5 mm) y no representa un valor alto que afecte en gran medida los resultados.

### 3.7 SIMULACION IMPACTO

#### 3.7.1 PREPROCESAMIENTO

##### 3.7.1.1 UNIDADES

Para comenzar con el preprocesamiento se debe seleccionar las unidades básicas con las que se va a trabajar como se indica en la Tabla 3.14.

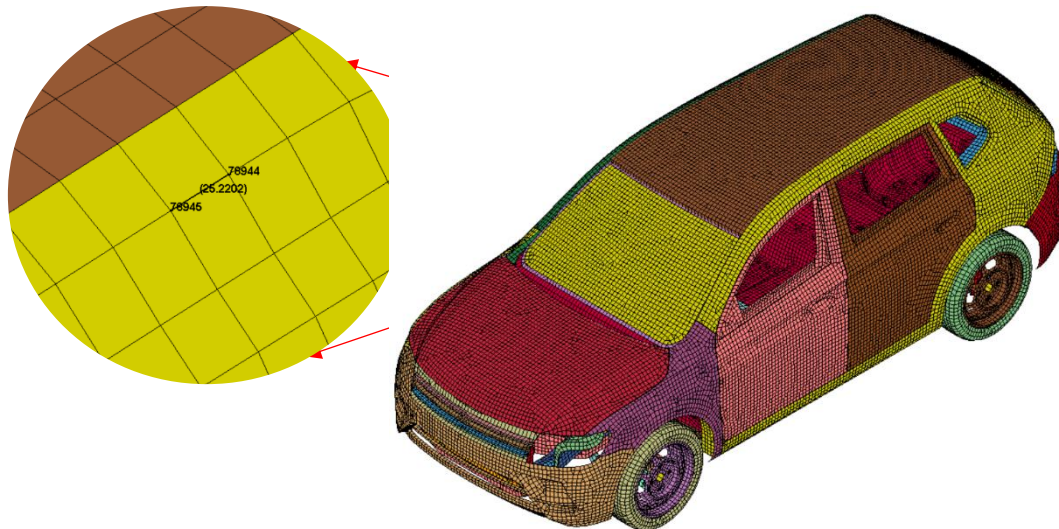
**Tabla 3.14** Unidades asignadas

<b>UNIDADES BÁSICAS</b>	
<b>Magnitud</b>	<b>Unidad</b>
Densidad	kg/mm <sup>3</sup>
Esfuerzo	GPa
Fuerza	kN
Gravedad	mm/ms <sup>2</sup>
Longitud	mm
Masa	kg
Tiempo	ms
Velocidad	mm/ms

##### 3.7.1.2 EXPORTACIÓN DE LA GEOMETRÍA

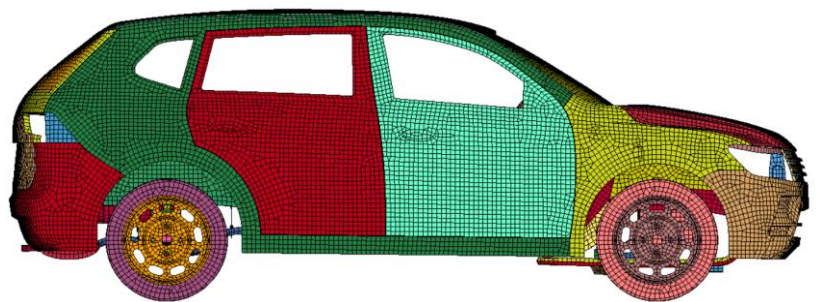
Se importó el modelo final a un software de preprocesamiento realizar las operaciones necesarias para unir todos los componentes de la carrocería y los sistemas automotrices que se puedan mediante la función de topología compartida que nos va a indicar que existe soldadura entre todos los componentes estructurales que disponga el vehículo.

Una vez que se generó la topología compartida de nuestro modelo, se seleccionó un tamaño de malla adecuado para este tipo de estructura que por lo general es de 25 mm como se indica en la Figura 3.32.

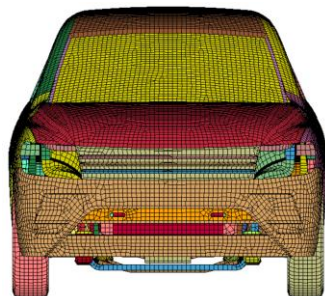


**Figura 3.32** Modelo de vehículo tipo SUV mallado a 25 mm

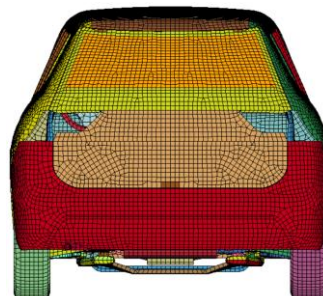
Con el valor de tamaño de malla ya establecido se procede a genera la malla de todo el modelo del vehículo y los componentes automotrices correspondientes, en la Figura 3.32 se observa el tamaño de malla establecida de 25 mm.



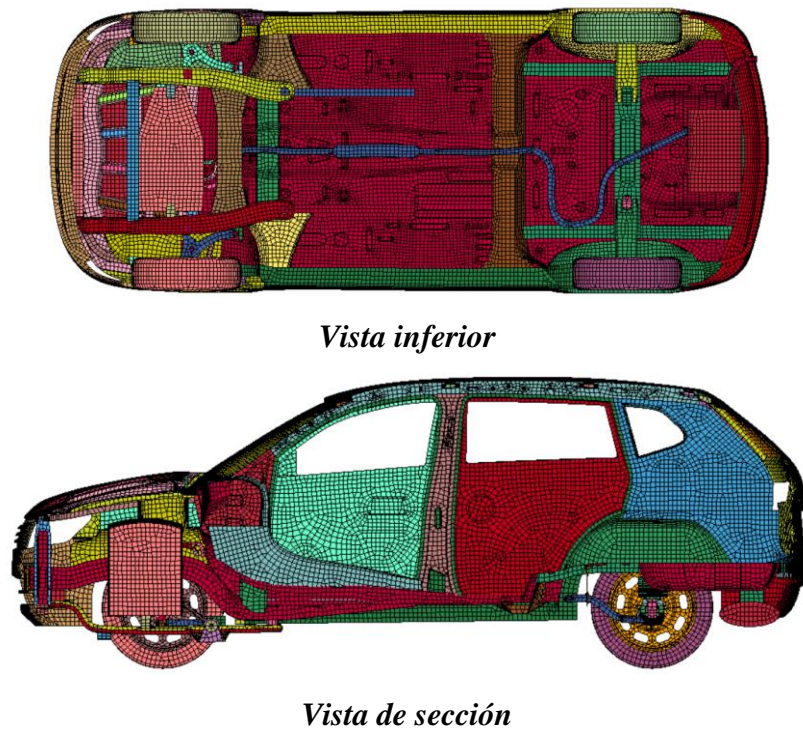
*Vista lateral derecha*



*Vista Frontal*



*Vista posterior*



**Figura 3.33** Vistas generales del mallado

### 3.7.1.3 VALIDACIÓN DEL MALLADO

La malla del modelo se validó utilizando el parámetro de jacobiano, teniendo en cuenta las características de los elementos que indican en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15** Característica de la malla del vehículo

Característica de la malla	
<b>Tipos de elementos</b>	Cuadrangular y rectangular
<b>Tamaño</b>	25 mm

La calidad de los elementos de la malla que se generó se valida a partir de los criterios de calidad de malla que se utiliza según el criterio jacobiano que se indica en la Figura 3.35.

Índice de criterio jacobiano de malla					
Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Muy bueno	Excelente
-1,00 / -0,6	-0,5 / -0,2	-0,1 / 0,00	0,00 / 0,1	0,2 / 0,5	0,6 / 1,00

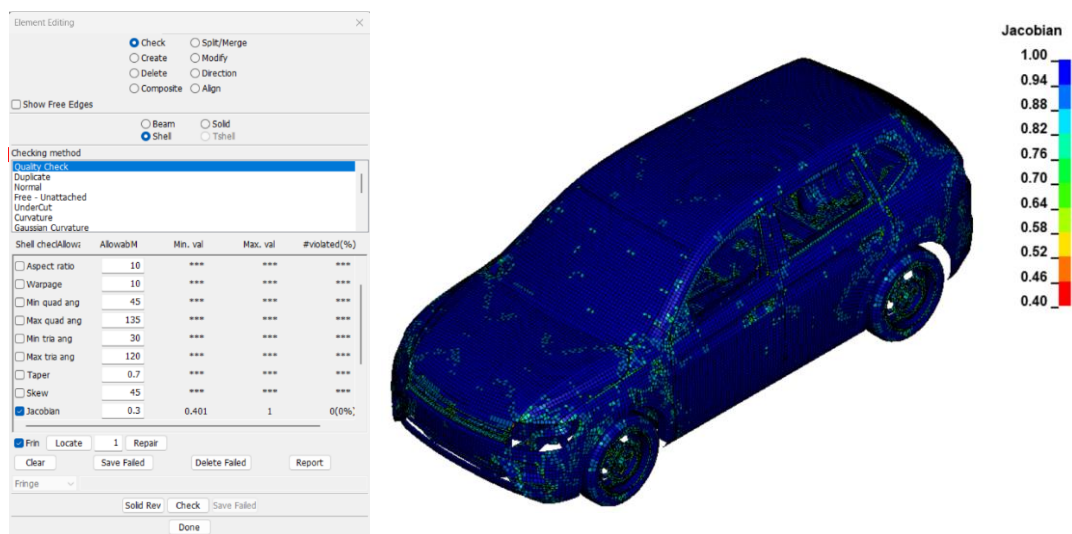
**Figura 3.34** Índice de criterio jacobiano de malla

(Villafuerte Buñay, 2017)



Para la malla que se generó se utilizó un criterio con un valor de 0,3 que correspondería a un índice de calidad de “MUY BUENA” que se aplicó en nuestro modelo mediante el módulo *Element and Mesh – Element Editing – Quality Queck* que nos indican la calidad y la cantidad de los elementos que están cumpliendo con el valor del criterio asignado como se muestra en la Figura 3.36.

En caso de que existan elementos con un valor de calidad que estén por debajo del valor del índice establecido se deberá reparar los elementos o borrarlos.



**Figura 3.35** Verificación de la calidad de malla

### 3.7.2 MATERIALES

Los materiales utilizados para la estructura que se seleccionó para el vehículo tipo SUV se exportó del vehículo Toyota Venza (Baseline BL) realizado por la NHTSA, los cuales son:

- Acero: Indicado como MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICY que se asigna a todo el vehículo a excepción de guardachoque frontal y el parabrisas.
- Vidrio templado: Es el material asignado al parabrisas y es de tipo MAT\_MODIFIED\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICY.
- Plástico: Este material es de tipo MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICY y es uno de los materiales asignados al guardachoque frontal del vehículo.

### 3.7.2.1 PLÁSTICO

Para el material del guardachoque frontal se utilizará el material original (plástico) y el material compuesto a base de resina epoxi reforzada de fibra de cabuya y fibra de caña configurados anteriormente en el punto 3.6 VALIDACIÓN DE ENSAYOS. Para los materiales compuestos se utilizaron los datos obtenidos de (Ponce Tobar, 2020), para caracterizar los materiales mediante el método de elementos finitos.

El material original se exportó del guardachoque frontal del vehículo Toyota Venza (Baseline BL) realizado por la NHTSA, este material es de tipo MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY y sus características se indican en la Tabla 3.19.

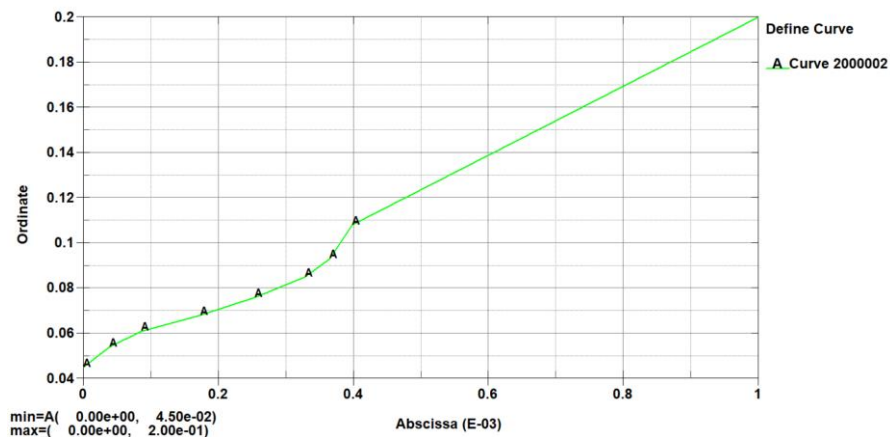
**Tabla 3.16** Propiedades del material plástico exportado

PLÁSTICO	
Propiedad	Valor
Densidad del material	1,2e-6 (kg/mm <sup>3</sup> )
Módulo de Young	2,8 (GPa)
Radio de Poisson	0,3 (mm/mm)
Límite de fluencia	0,045 (GPa)

Estas propiedades se pueden indicar en la carta de control de MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY que se estableció para el material plástico utilizado para el guardachoque frontal de nuestro modelo de vehículo como se indica en la Figura 3.42.

**Figura 3.36** Propiedades del material plástico exportado

También se debe exportar la curva característica del material en donde se indican los valores de esfuerzo - deformación, de la “zona de cedencia” y de la “zona de endurecimiento” que se establece desde el Esfuerzo de fluencia (0,0450 GPa) y Esfuerzo de resistencia última a la tracción (0,650 GPa) y se indica en la Figura 3.43.



**Figura 3.37** Gráfica de la curva esfuerzo deformación del plástico utilizado en el guardachoque del Toyota Venza

### 3.7.2.2 ACERO A36

Este material de tipo MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY se asignará también al guardachoque frontal, para la respectiva simulación para el caso de parachoques tipo Bullbar, las características de este material se indican en la tabla 3.18.

**Tabla 3.17** Propiedades del material Acero A36.

ACERO A36	
Propiedad	Valor
Densidad del material	7,80e-6 (kg/mm <sup>3</sup> )
Módulo de Young	200 (GPa)
Radio de Poisson	0,26 (mm/mm)
Límite de fluencia	0,250 (GPa)
Resistencia última a la tracción	0,550 (GPa)

Estas propiedades se pueden indicar en la carta de control de MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY que se estableció para el material acero A36 utilizado para el guardachoque frontal de nuestro modelo de vehículo como se indica en la Figura 3.40.

\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY\_(TITLE) (024) (4)

**TITLE**  
ACERO A36

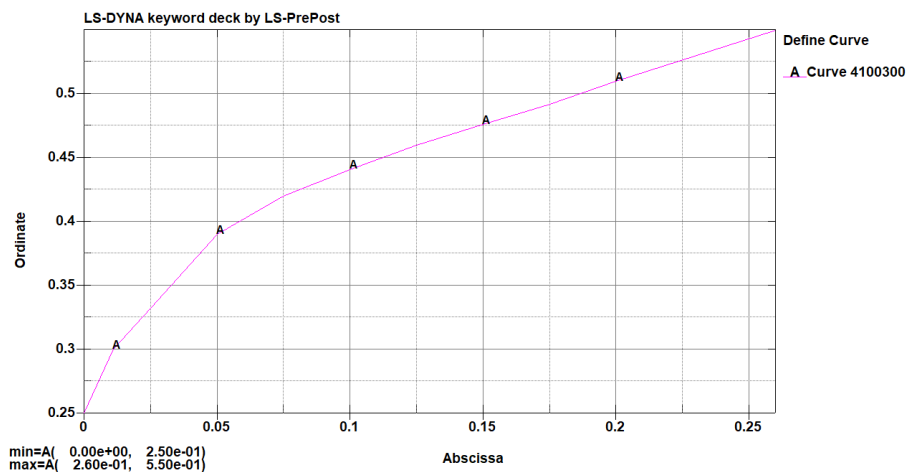
1	<b>MID</b>	<b>RO</b>	<b>E</b>	<b>PR</b>	<b>SIGY</b>	<b>ETAN</b>	<b>FAIL</b>	<b>TDEL</b>
	2005893	7.800e-06	200.00000	0.2600000	0.2500000	0.0	1.000e+21	0.0
2	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>LCSS</b>	<b>LCSR</b>	<b>VP</b>			
	8.0000000	8.0000000	4100300	0	0.0			
3	<b>EPS1</b>	<b>EPS2</b>	<b>EPS3</b>	<b>EPS4</b>	<b>EPS5</b>	<b>EPS6</b>	<b>EPS7</b>	<b>EPS8</b>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	<b>ES1</b>	<b>ES2</b>	<b>ES3</b>	<b>ES4</b>	<b>ES5</b>	<b>ES6</b>	<b>ES7</b>	<b>ES8</b>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot   Raise   New   Padd

COMMENT:

**Figura 3.38** Propiedades del material Acero A36

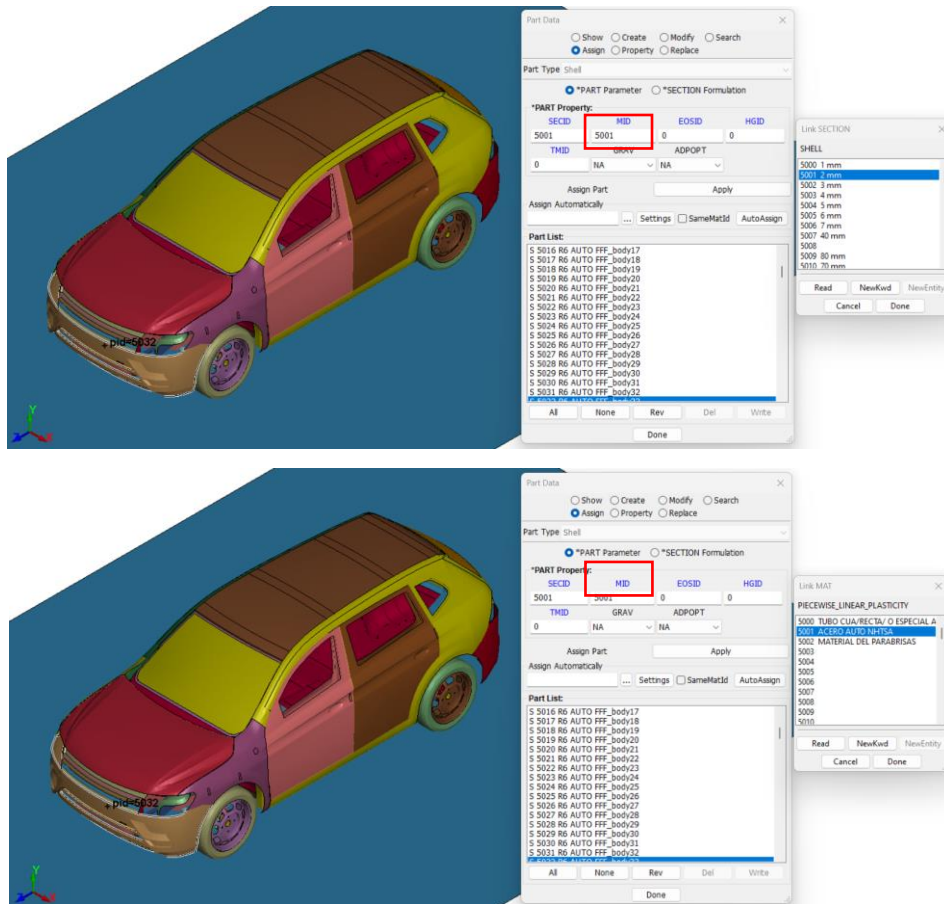
También se debe configurar la curva característica del material en donde se indican los valores de esfuerzo - deformación, de la “zona de cedencia” y de la “zona de endurecimiento” que se establece desde el Esfuerzo de fluencia (0,250 GPa) y Esfuerzo de resistencia última a la tracción (0,550 GPa) y se indica en la Figura 3.41.



**Figura 3.39** Gráfica de la curva esfuerzo deformación del acero A36

### 3.7.3 ASIGNACIÓN DEL MATERIAL Y ESPESORES

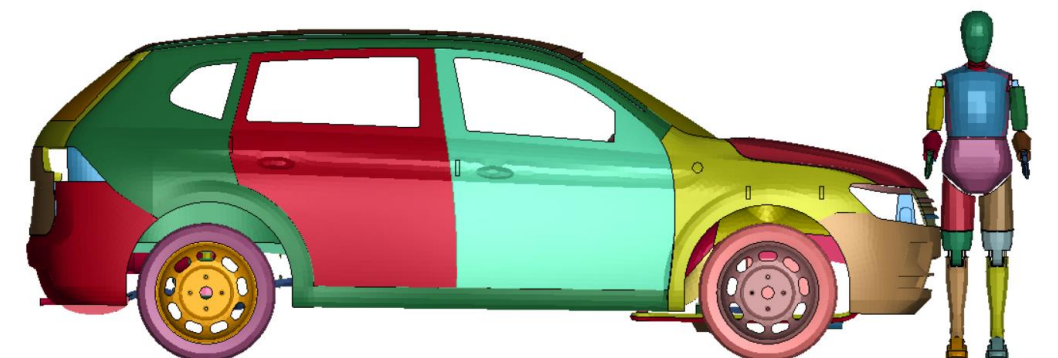
Para asignar el material y espesores se utiliza el módulo *Part Data – Assign – SECI – MID*, donde en *SECID* se asigna el espesor y en *MID* se asigna el material como se indica en la Figura 3.44.



**Figura 3.40** Asignación de material y espesores

### 3.7.4 POSICIÓN DEL MANIQUÍ

Para esta simulación se utilizó el maniquí de pruebas de impacto denominado HÍBRIDO III 50% percentil masculino versión de pie, que debe estar posicionado en frente al vehículo de tipo SUV como se muestra en la Figura 3.45.



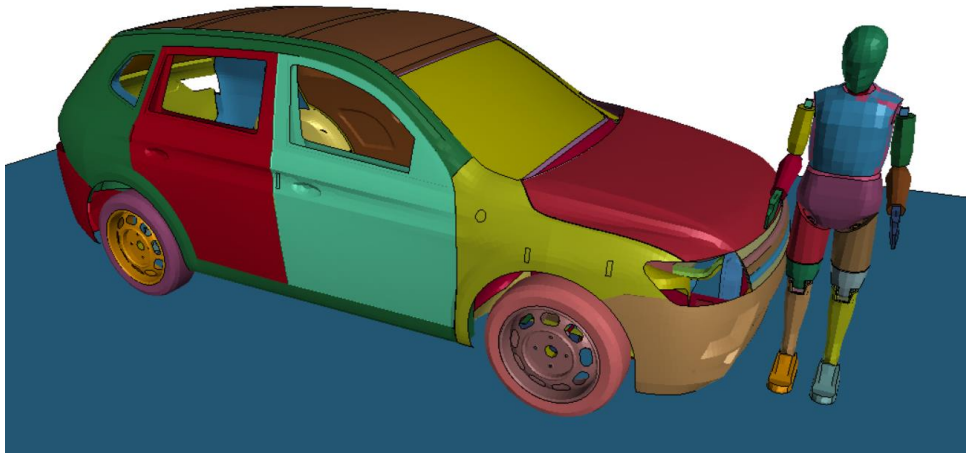
**Figura 3.41** Posición del maniquí frente al vehículo

### 3.7.5 SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO

Se van a realizar 3 simulaciones de atropellamiento en donde va a variar para cada una el material que se asignará al guardachoque frontal del vehículo tipo SUV.

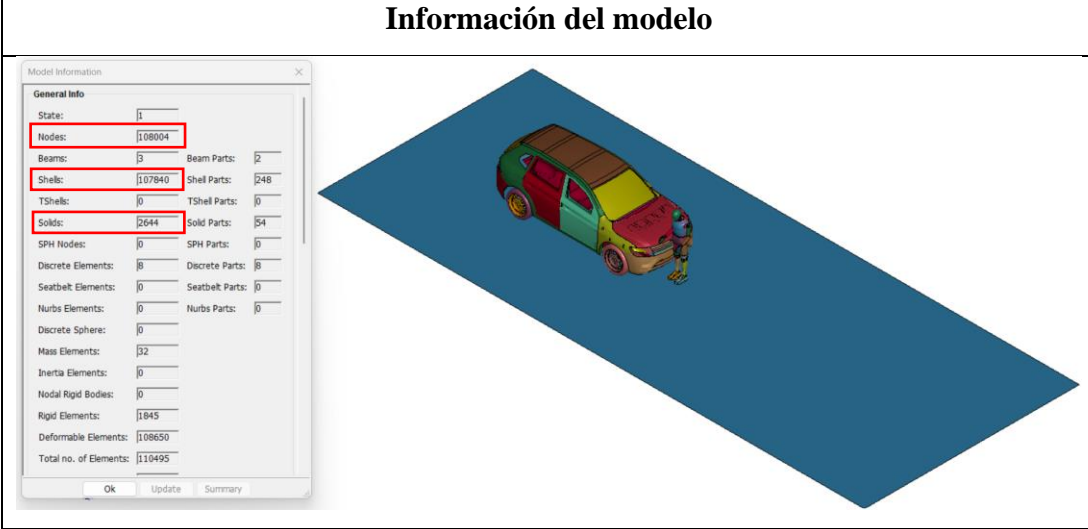
La primera simulación se va a realizar con el material original del guardachoque, para la segunda simulación se utilizará el material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de cabuya y para la tercera simulación se utilizará el material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de caña de azúcar.

La simulación consta de todos los elementos necesarios en un entorno virtual que está previsto para un atropellamiento de una persona, la cual consta de un vehículo de tipo SUV, el maniquí HÍBRIDO III 50% percentil masculino versión de pie y el piso.



**Figura 3.42** Entorno virtual de simulación para el atropellamiento de una persona  
El modelo utilizado para el entorno de simulación para el atropellamiento de una persona contiene la información que se indica en la Figura 3.46.

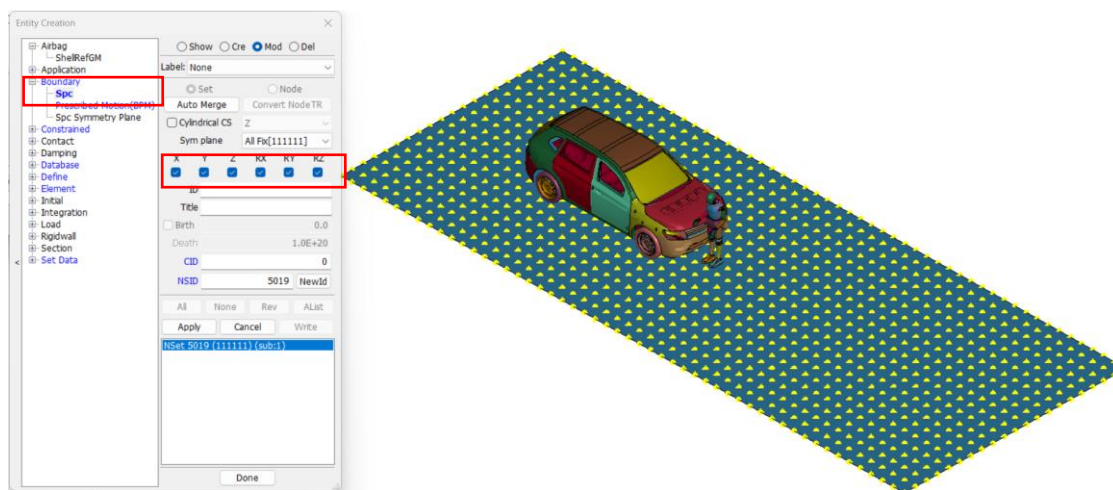
**Tabla 3.18** Información del entorno virtual de simulación

Información del modelo	
	
Elementos	Característica/Cantidad
<b>Nodos</b>	108004
<b>Shells</b>	107840
<b>Solids</b>	2644
<b>Tipos de elementos</b>	Shell 2D y Solids

### 3.7.5.1 CONDICIONES DE SIMULACIÓN

- Restricciones

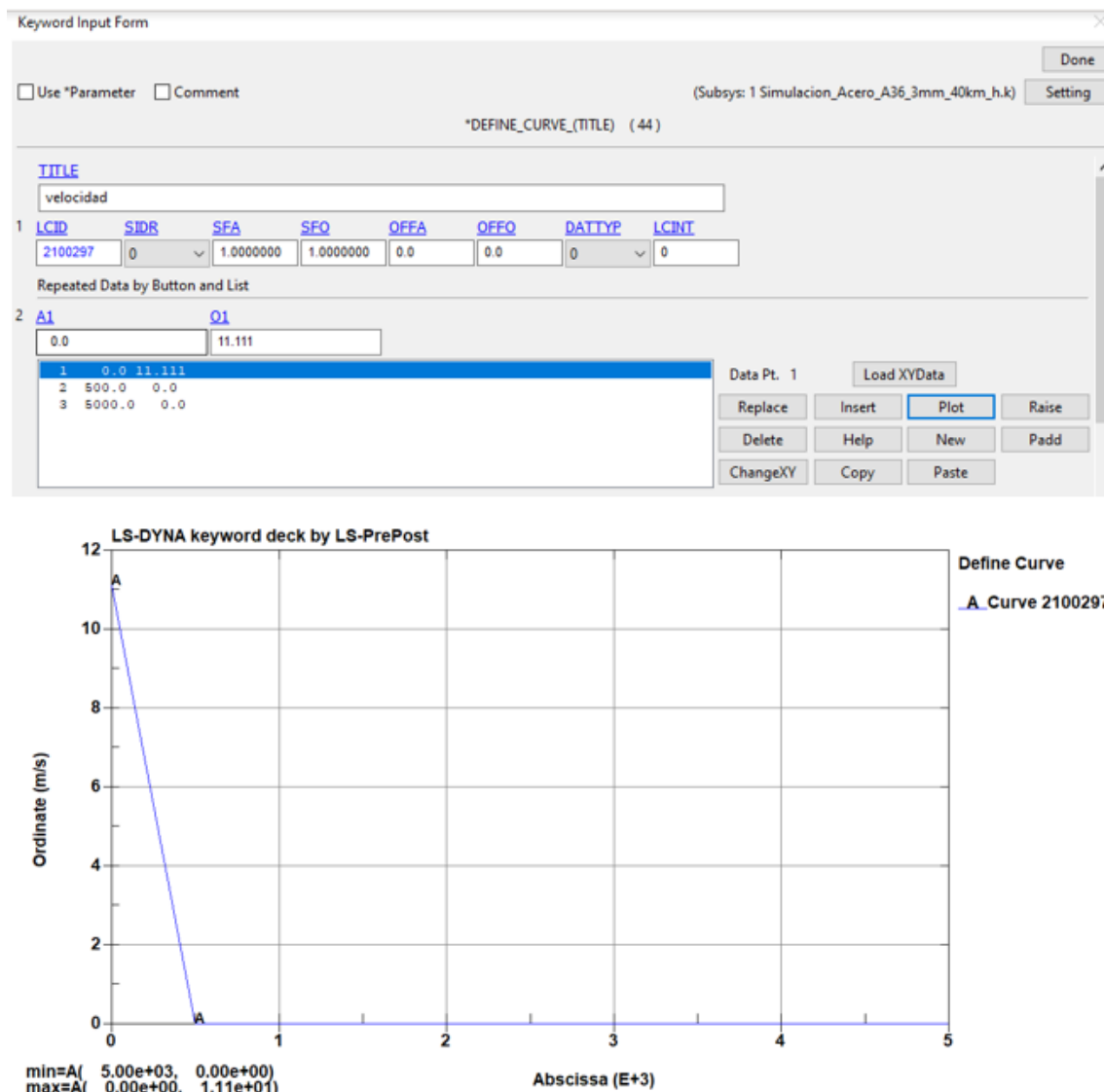
Se restringió los desplazamientos y rotaciones en todos los ejes de los nodos que forman parte del piso a través del módulo Entity creation – Boundary – Spc, como se indica en la Figura 3.47.

**Figura 3.43** Restricciones de desplazamiento y rotación del piso

- **Velocidad de impacto.**

La velocidad de impacto introducida es 40 km/h (11,11 m/s) que es un valor moderado al permitido en zonas urbanas. La velocidad que se debe asignar debe tener el comportamiento de este tipo de accidentes en donde por lo general el conductor tiende a frenar después de que ocurre el choque.

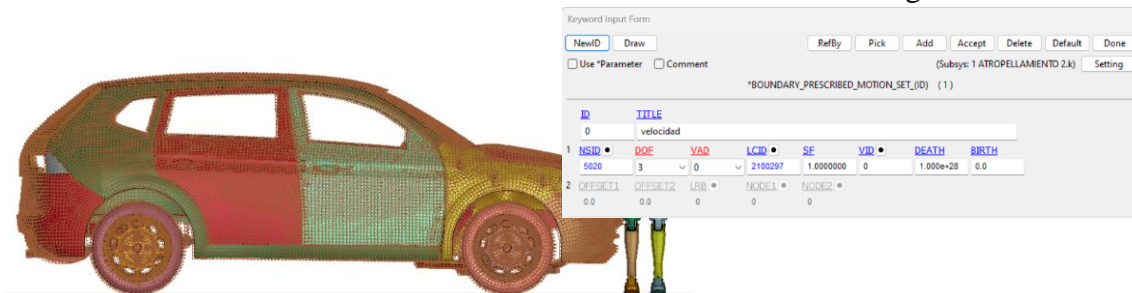
Para generar esta velocidad primero se debe generar una curva característica que describe el comportamiento de este tipo de accidente, para lo cual se utilizó el módulo *Model and Part – Keyword Manager – DEFINE – CURVE* en donde se generó la curva que se indica en la Figura 3.48.



**Figura 3.44** Curva de velocidad a 40 km/h



Una vez creada la curva para una velocidad de 40 km/h (11,11 m/s) se la asigna a toda la estructura del vehículo mediante el módulo *Model and Part – Keyword Manager – BOUNDARY – PRESCRIBED\_MOTION\_SET* como se indica en la Figura 3.49.

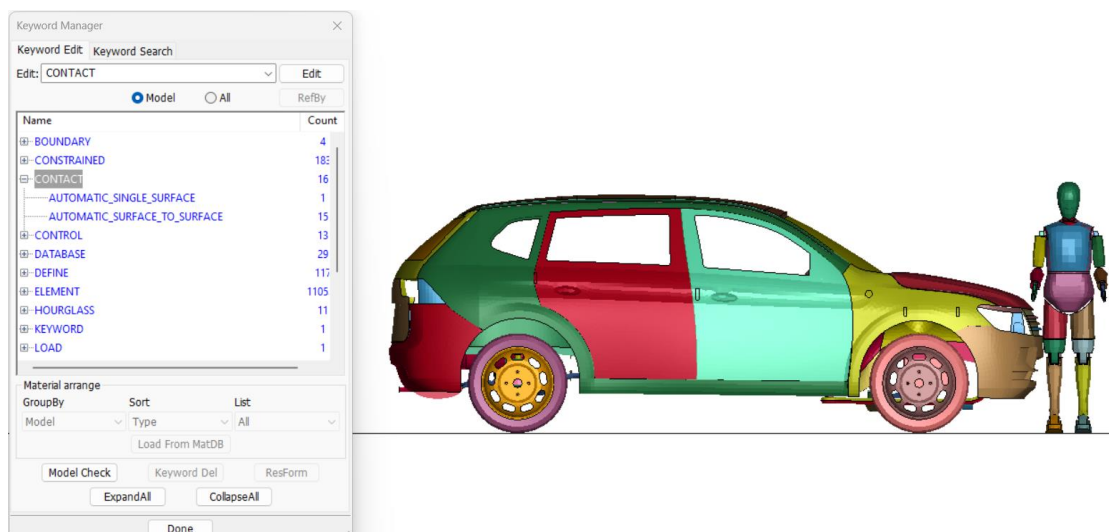


**Figura 3.45** Velocidad de 40 km/h asignada al vehículo

- **Contactos**

Debe existir algún tipo de contacto entre todos los componentes que conforman el entorno de simulación, por lo que cual se asignó un tipo de contacto entre todos los elementos que conforman el vehículo, entre el vehículo y el piso, entre el vehículo y el maniquí y entre el maniquí y el piso. Para esto se utilizó el módulo *Model and Part – Keyword Manager – CONTACT – AUTOMATIC\_SINGLE\_SURFACE* y *AUTOMATIC\_SURFACE\_TO\_SURFACE*, como se indican en la Figura 3.46.

Existen otros tipos de contacto que se observan en la Figura 3.50 que ya viene asignados para el maniquí.



**Figura 3.46** Contactos asignados entre todos los componentes

En la Tabla 3.21, se resumen todas las condiciones y restricciones que se utilizaron para la simulación de atropellamiento y los materiales del guardachoque frontal que se utilizaron para las simulaciones 1, 2 y 3.

**Tabla 3.19** Condiciones del entorno virtual de simulación de atropellamiento

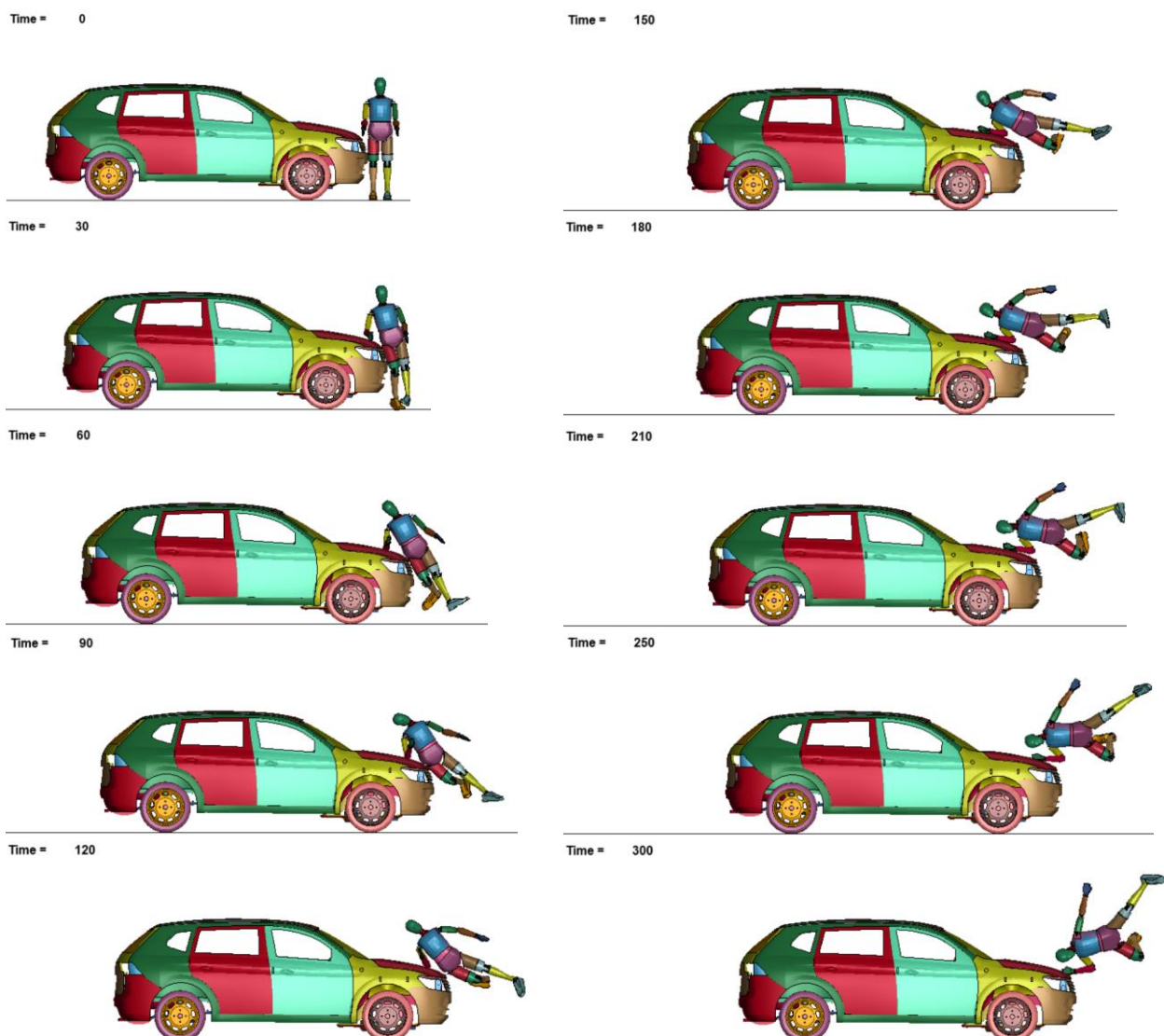
<b>CONDICIONES DE SIMULACIÓN</b>	
<b>Tipo de vehículo</b>	SUV
<b>Restricciones de desplazamiento y rotación</b>	En los ejes X, Y, Z.
<b>Modelo de maniquí de prueba de impacto</b>	HÍBRIDO III 50% percentil masculino versión de pie.
<b>Velocidad</b>	40 km/h (11,11 m/s)
<b>Gravedad</b>	0.0098066 mm/ms <sup>2</sup>
<b>Tipos de contactos</b>	AUTOMATIC_SINGLE_SURFACE AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE
<b>Tiempo de simulación</b>	300 ms
<b>SIMULACIÓN 1</b>	
<b>Material del guardachoque frontal</b>	Material original exportado del vehículo Toyota Venza.
<b>SIMULACIÓN 2</b>	
<b>Material del guardachoque frontal</b>	Material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de cabuya.
<b>SIMULACIÓN 3</b>	
<b>Material del guardachoque frontal</b>	Material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de caña de azúcar.
<b>SIMULACIÓN 4</b>	
<b>Material del guardachoque frontal</b>	Material acero A36

## CAPITULO IV

## 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

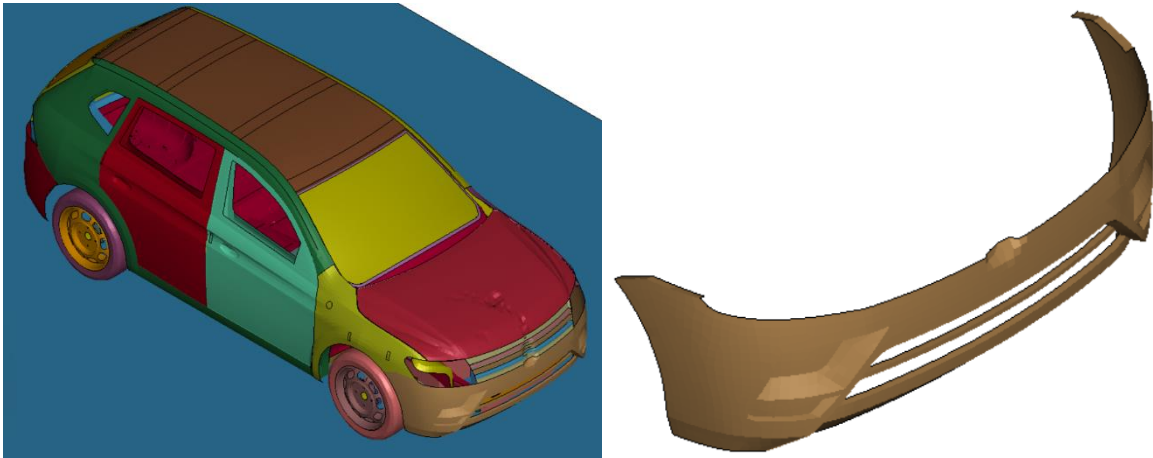
## 4.1 SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL ORIGINAL DEL GUARDACHOQUE

Los resultados finales se muestran en una secuencia en diferentes intervalos de tiempo como se indica en la Figura 4.1.



**Figura 4.1** Secuencia de atropellamiento con el material original de un guardachoque

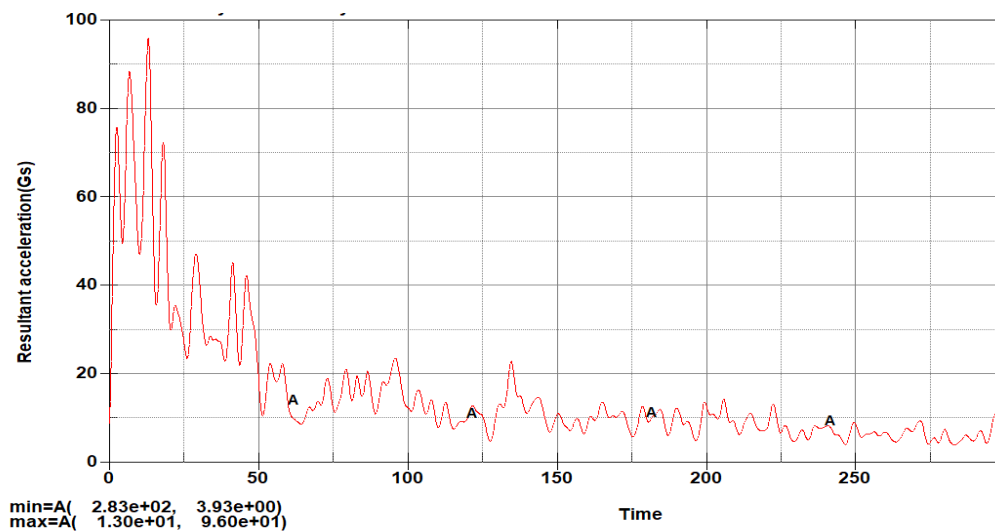
En la Figura 4.2, se indica el estado final del parachoques con el material original después de realizada la simulación de atropellamiento.



**Figura 4.2** Estado final del capó y guardachoque frontal

#### 4.1.1 FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS

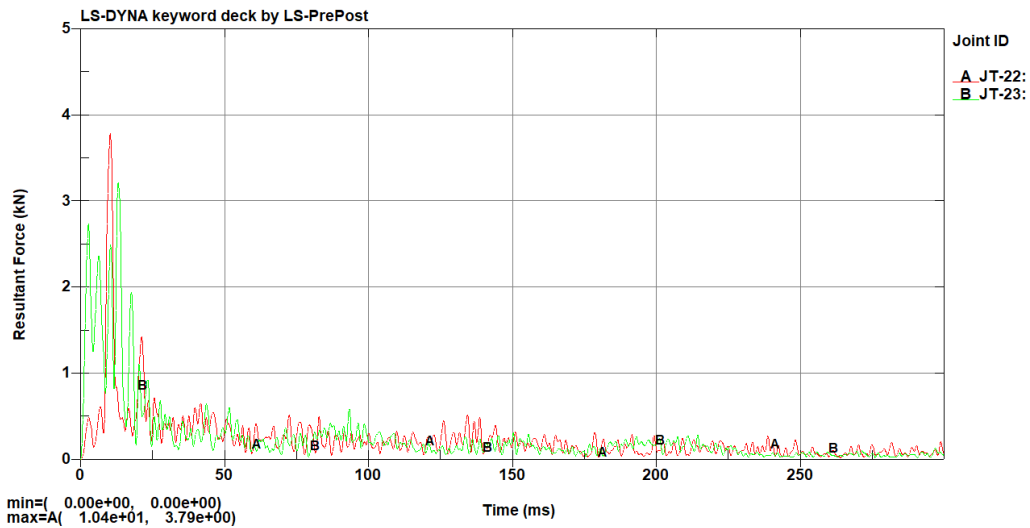
Es importante evaluar la aceleración que se produce en la pelvis a través de la fuerza g obtenida después del atropellamiento como se indica en la Figura 4.3, obteniendo un valor de 96,0 (Gs) como valor máximo en un tiempo de 13,0 ms que se da al primer contacto del maniquí con el vehículo de tipo SUV.



**Figura 4.3** Fuerza G producida en la pelvis simulación 1

#### 4.1.2 FUERZA RESULTANTE DE LA PELVIS

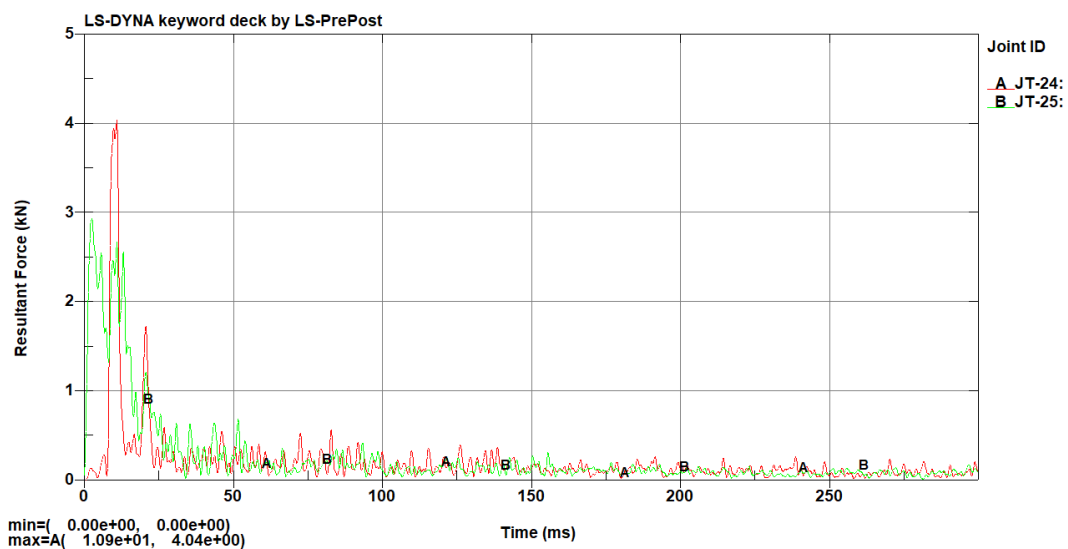
Para identificar el valor resultante de la pelvis, se identifican las uniones de la pelvis del maniquí, que para este caso son los Joint 22 y 23 para la parte izquierda y derecha respectivamente. En la Figura 4.4, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 3,79 kN en un tiempo de 10,4 ms que se da en la parte izquierda de la pelvis.



**Figura 4.4** Fuerza producida en la pelvis simulación 1

#### 4.1.3 FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR

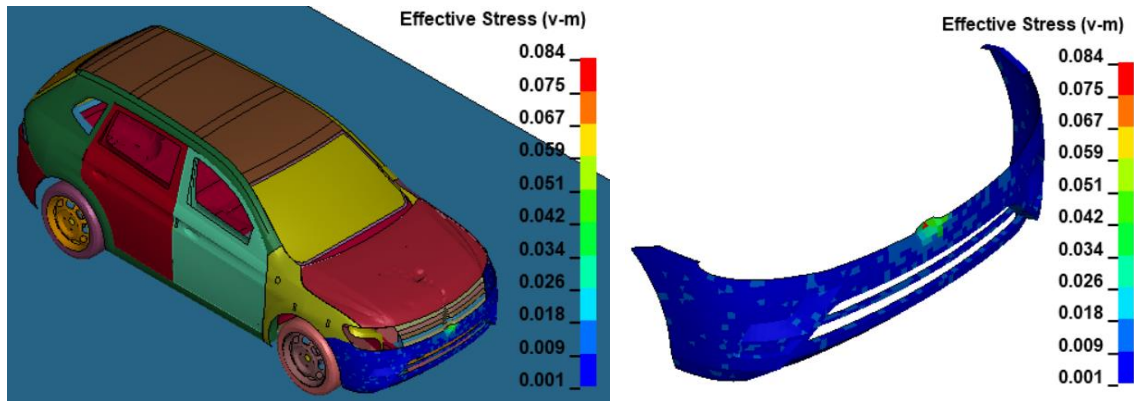
Para identificar el valor resultante del fémur, se identifican las uniones de fémur del maniquí, que para este caso son los Joint 24 y 25 para el lado izquierdo y derecho respectivamente. En la Figura 4.5, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 4,04 kN en un tiempo de 10,9 ms que se da en el fémur de lado izquierdo.



**Figura 4.5** Fuerza producida en el fémur simulación 1

#### 4.1.4 ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARDACHOQUE FRONTAL

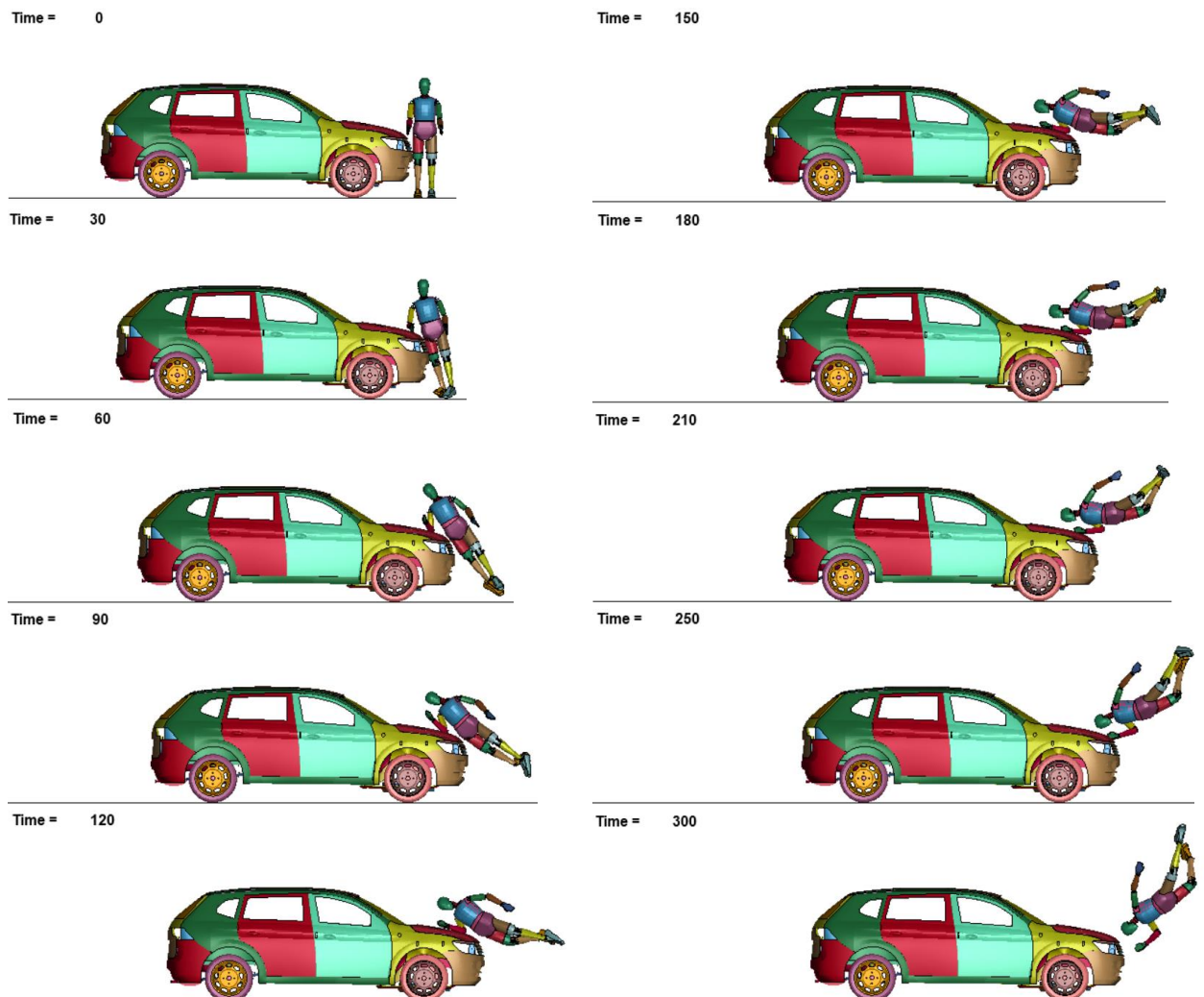
El valor máximo de esfuerzo de Von Mises es 84 MPa como se muestra en la Figura 4.6, este valor está por sobre el límite de fluencia del material (45 MPa) por lo que existirá una deformación plástica permanente, pero al no sobrepasar el límite de resistencia última a la tracción (200 MPa) no llega a romperse, además el desplazamiento máximo es de 40 mm.



**Figura 4.6** Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación 1

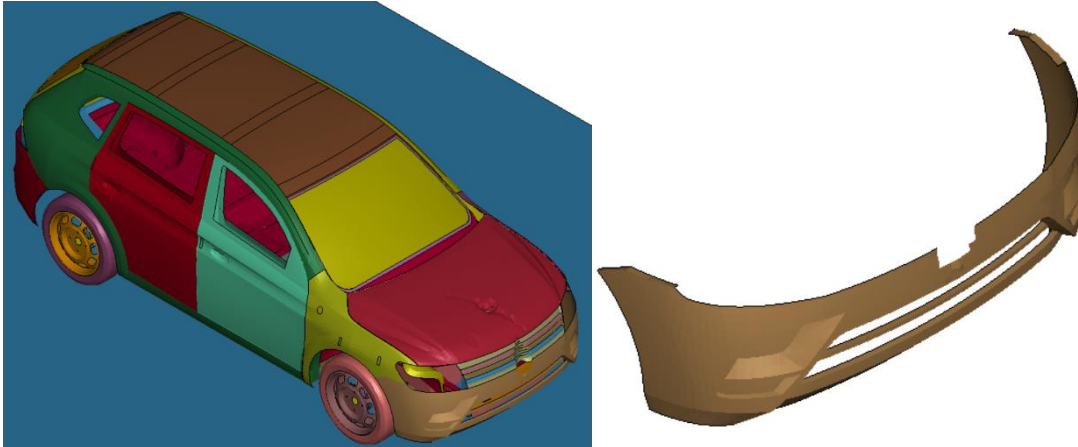
## 4.2 SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CABUYA EN EL GUARDACHOQUE

Los resultados finales se muestran en una secuencia en diferentes intervalos de tiempo como se indica en la Figura 4.7.



**Figura 4.7** Secuencia de atropellamiento con el material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de cabuya en el guardachoque

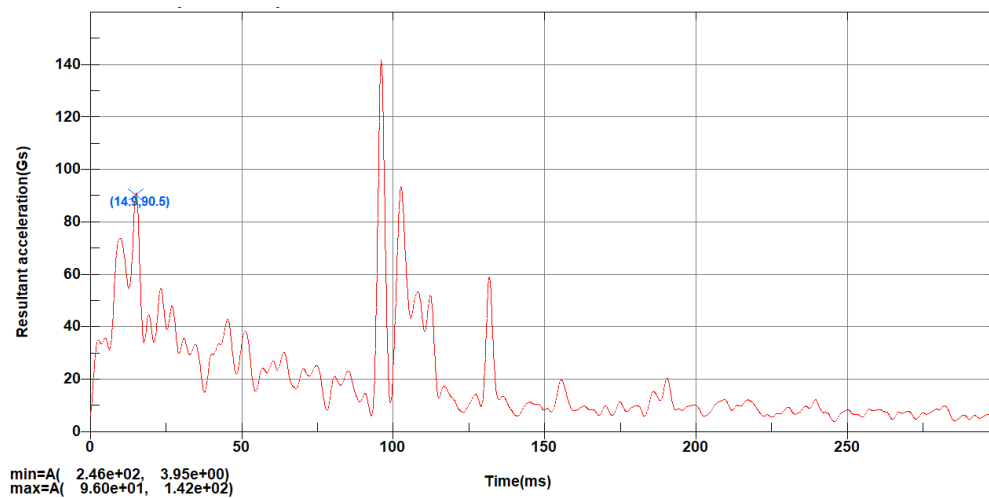
En la Figura 4.8, se indica el estado final del parachoques con el material original después de realizada la simulación de atropellamiento.



**Figura 4.8** Estado final del capó y guardachoque frontal simulación 2

#### 4.2.1 FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS

Es importante evaluar la aceleración que se produce en la pelvis a través de la fuerza g obtenida después del atropellamiento como se indica en la Figura 4.9, obteniendo un valor de 90,5 (Gs) como valor máximo en un tiempo de 14,9 ms que se da al primer contacto del maniquí con el vehículo de tipo SUV.

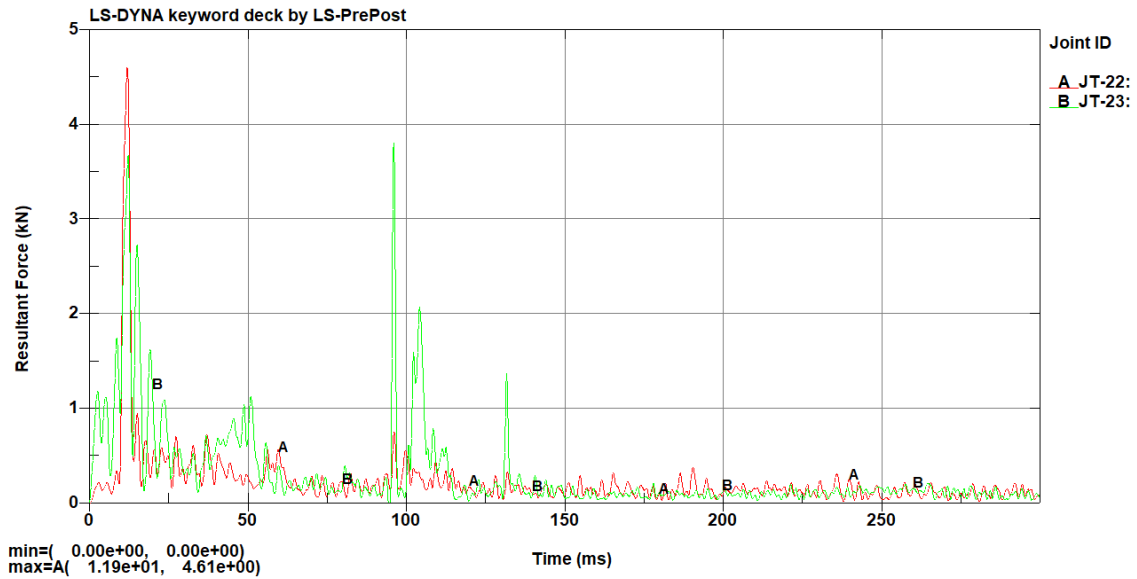


**Figura 4.9** Fuerza G producida en la pelvis simulación 2

#### 4.2.2 FUERZA G RESULTANTE DE LA PELVIS

Para identificar el valor resultante de la pelvis, se identifican las uniones de la pelvis del maniquí, que para este caso son los Joint 22 y 23 para la parte izquierda y derecha respectivamente. En la Figura 4.10, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 4,61 kN en un tiempo de 11,9 ms que se da en la parte izquierda de la pelvis.

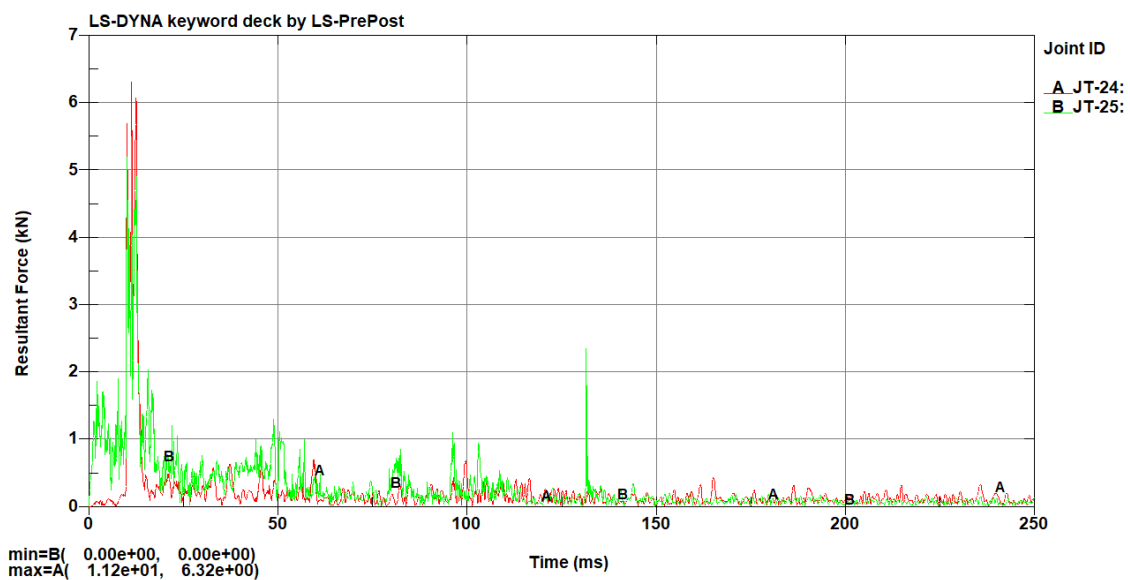




**Figura 4.10** Fuerza producida en la pelvis simulación 2

#### 4.2.3 FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR

Para identificar el valor resultante del fémur, se identifican las uniones de fémur del maniquí, que para este caso son los Joint 24 y 25 para el lado izquierdo y derecho respectivamente. En la Figura 11, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 6,32 kN en un tiempo de 11,2 ms que se da en el fémur de lado izquierdo.



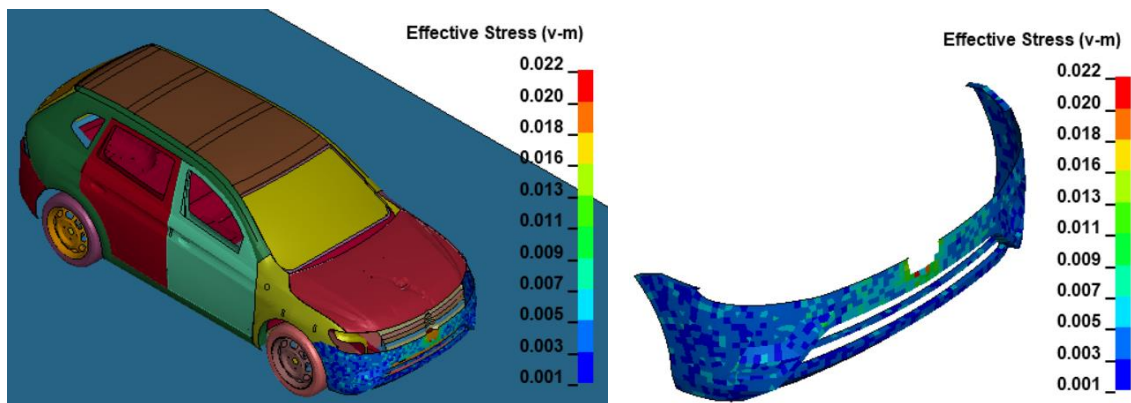
**Figura 4.11** Fuerza producida en el fémur simulación 2

#### 4.2.4 ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARDACHOQUE FRONTAL

El valor máximo de esfuerzo de Von Mises es 22 MPa como se muestra en la Figura 4.12, este valor está por sobre el límite de fluencia del material (2 MPa) aunque no ha sobrepasado el límite de resistencia última a la tracción (63 MPa) para presentar rotura,

pero el guardachoque si lo muestra en la simulación. Esto se debe a que el valor del esfuerzo de Von Mises en un punto del primer intervalo de la simulación es más alto que los demás, pero no se muestra ya que ocurre en un valor de tiempo mucho más pequeño. En este caso la simulación muestra resultados cada 5 ms, pero la rotura se presenta al primer contacto que sucede antes de completar 5 ms, y el software LS Dyna no reconocen este valor, para poder reconocer este valor se tendría que trabajar con tiempos más pequeños lo que involucra aumentar el uso computacional.

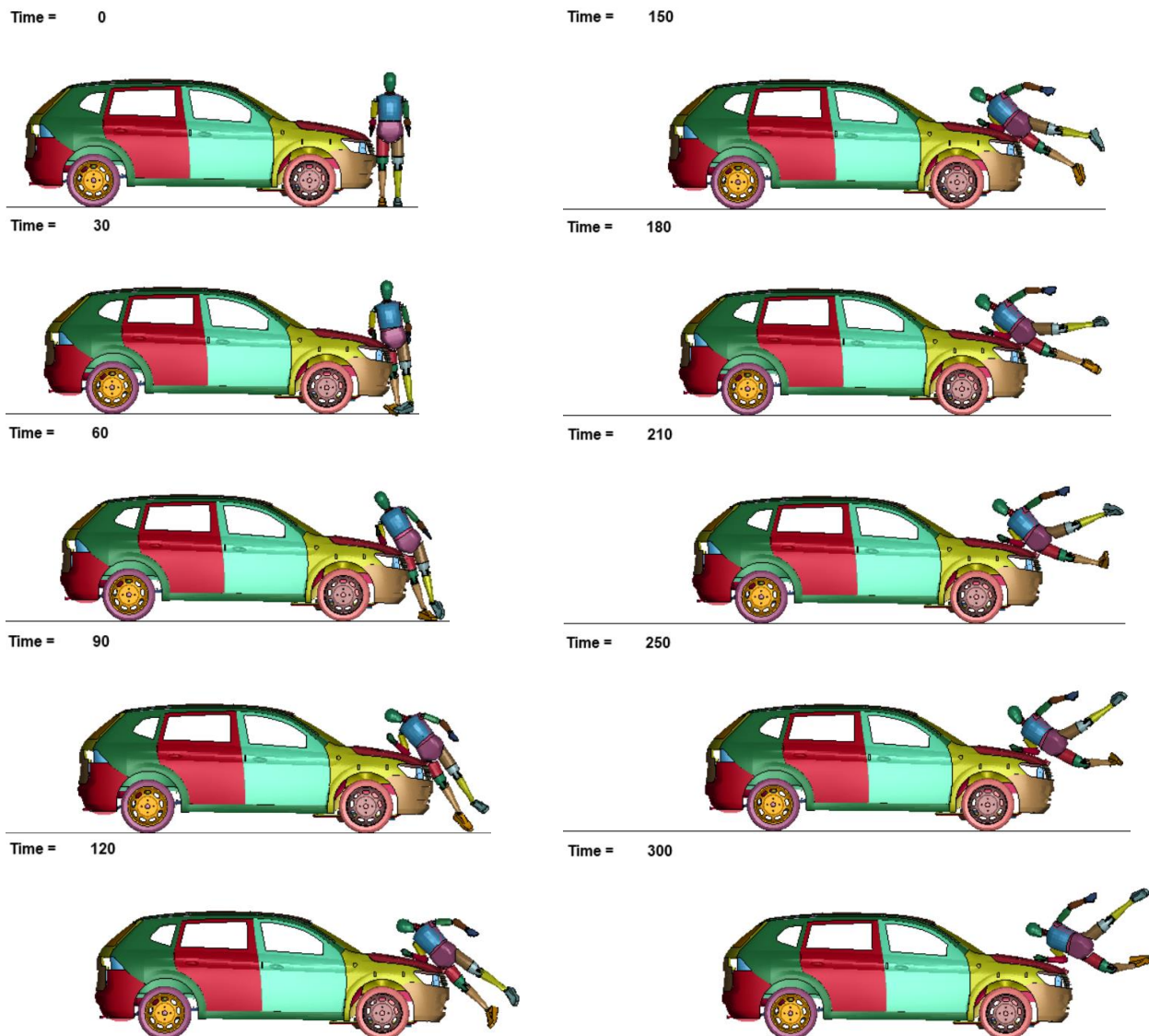
El desplazamiento máximo es de 74 mm.



**Figura 4.12** Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación

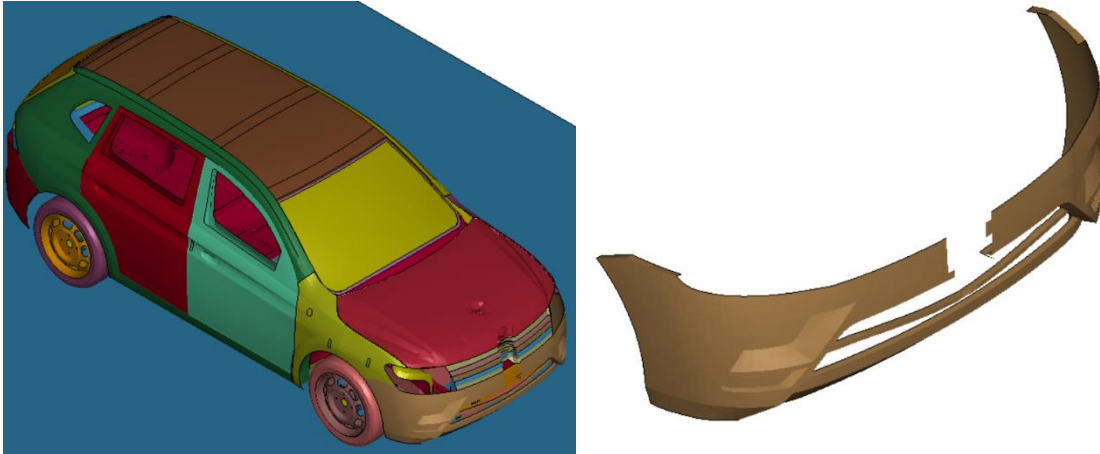
### 4.3 SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR EN EL GUARDACHOQUE

Los resultados finales se muestran en una secuencia en diferentes intervalos de tiempo como se indica en la Figura 4.13.



**Figura 4.13** Secuencia de atropellamiento con el material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de caña de azúcar en el guardachoque

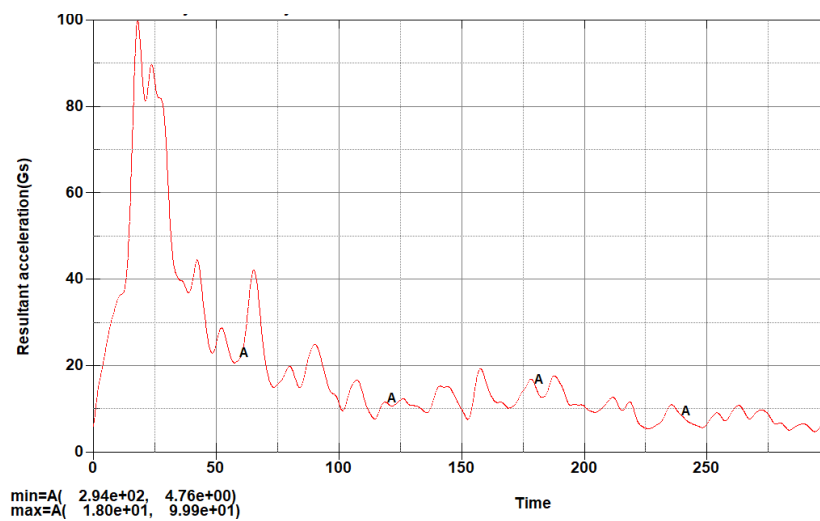
En la Figura 4.14, se indica el estado final del parachoques con el material original después de realizada la simulación de atropellamiento.



**Figura 4.14** Estado final del capó y guardachoque frontal simulación 3

#### 4.3.1 FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS

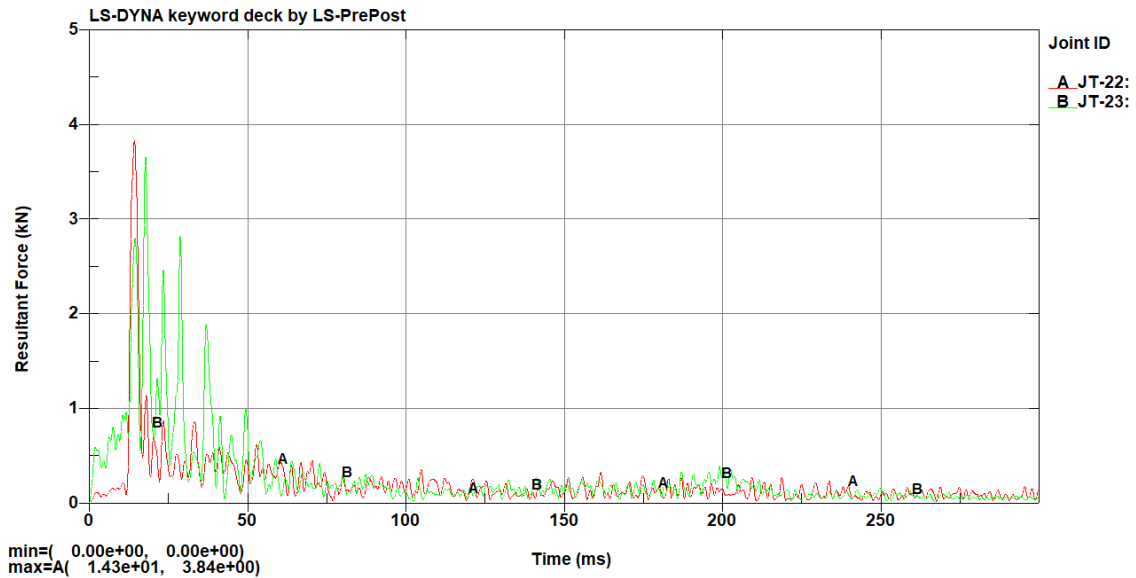
Es importante evaluar la aceleración que se produce en la pelvis a través de la fuerza g obtenida después del atropellamiento como se indica en la Figura 4.15, obteniendo un valor de 99,9 (Gs) como valor máximo en un tiempo de 18,0 ms que se da al primer contacto del maniquí con el vehículo de tipo SUV.



**Figura 4.15** Fuerza G producida en la pelvis simulación 3

#### 4.3.2 FUERZA RESULTANTE DE LA PELVIS

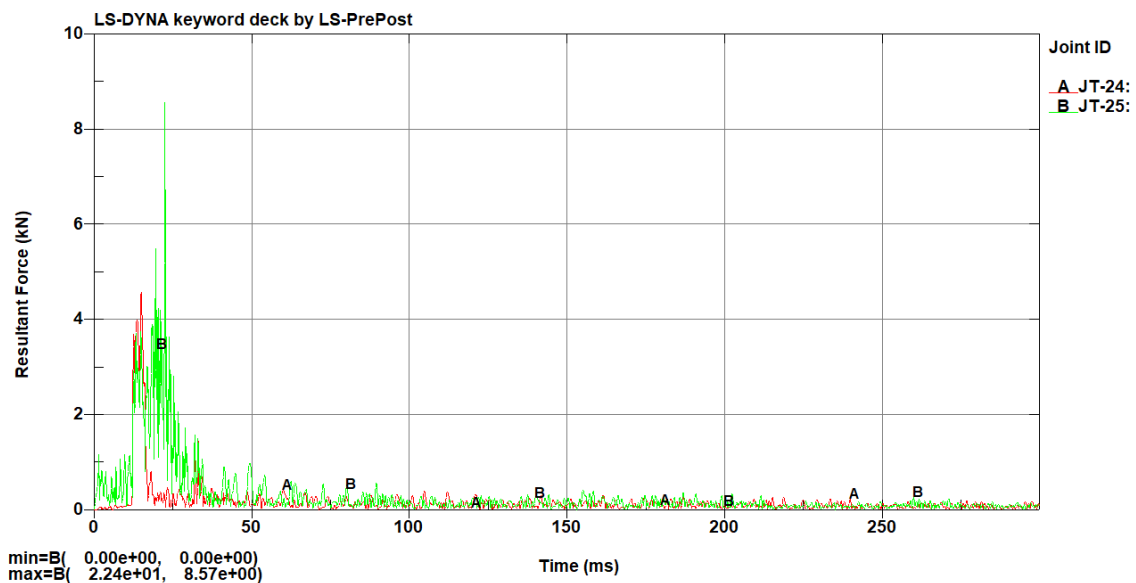
Para identificar el valor resultante de la pelvis, se identifican las uniones de la pelvis del maniquí, que para este caso son los Joint 22 y 23 para la parte izquierda y derecha respectivamente. En la Figura 4.16, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 3,84 kN en un tiempo de 14,3 ms que se da en la parte izquierda de la pelvis.



**Figura 4.16** Fuerza producida en la pelvis simulación 3

### 4.3.3 FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR

Para identificar el valor resultante del fémur, se identifican las uniones de fémur del maniquí, que para este caso son los Joint 24 y 25 para el lado izquierdo y derecho respectivamente. En la Figura 4.17, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 8,57 kN en un tiempo de 22,4 ms que se da en el fémur de lado derecho.



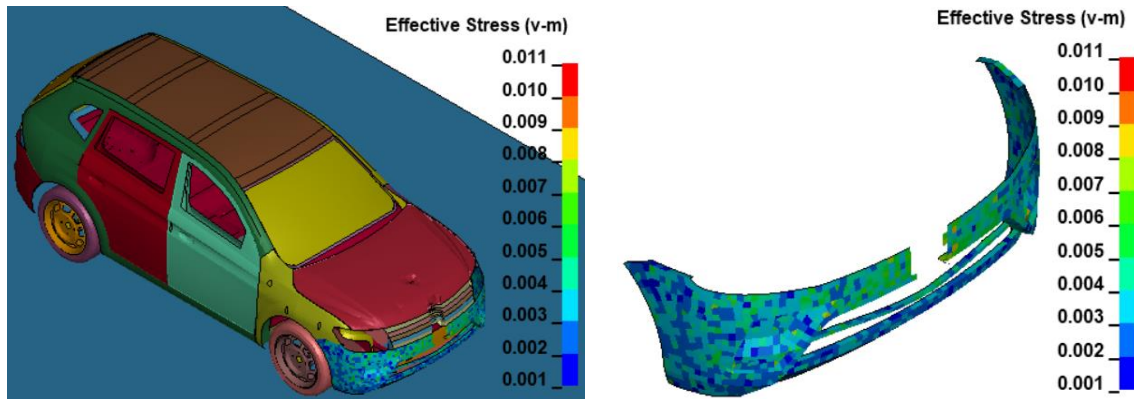
**Figura 4.17** Fuerza producida en el fémur simulación 3

### 4.3.4 ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARCHOQUE FRONTAL

El valor máximo de esfuerzo de Von Mises es 11 MPa como se muestra en la Figura 4.18, este valor está por sobre el límite de fluencia del material (1,4 MPa) aunque no ha sobrepasado el límite de resistencia ultima a la tracción (24,1 MPa) para presentar rotura,

pero el guardachoque si lo muestra en la simulación. Esto se debe a que el valor del esfuerzo de Von Mises en un punto del primero intervalo de la simulación es más alto que los demás, pero no se muestra ya que ocurre en un valor de tiempo mucho más pequeño. En este caso la simulación muestra resultados cada 5 ms, y el software LS Dyna no reconoce este valor, para poder reconocer este valor se tendría que trabajar con tiempos más pequeños lo que involucra aumentar el gasto computacional.

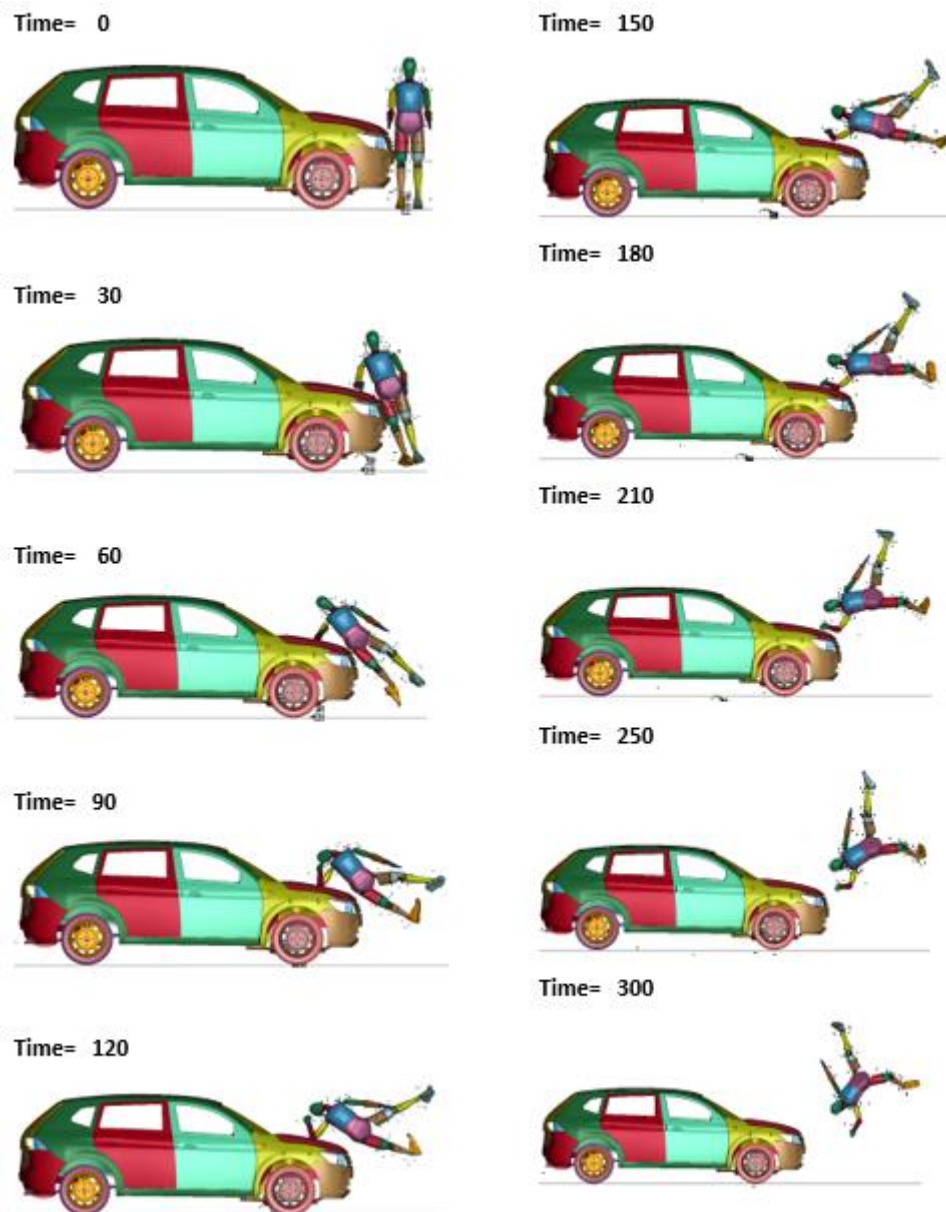
El desplazamiento máximo es de 91 mm.



**Figura 4.18** Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación

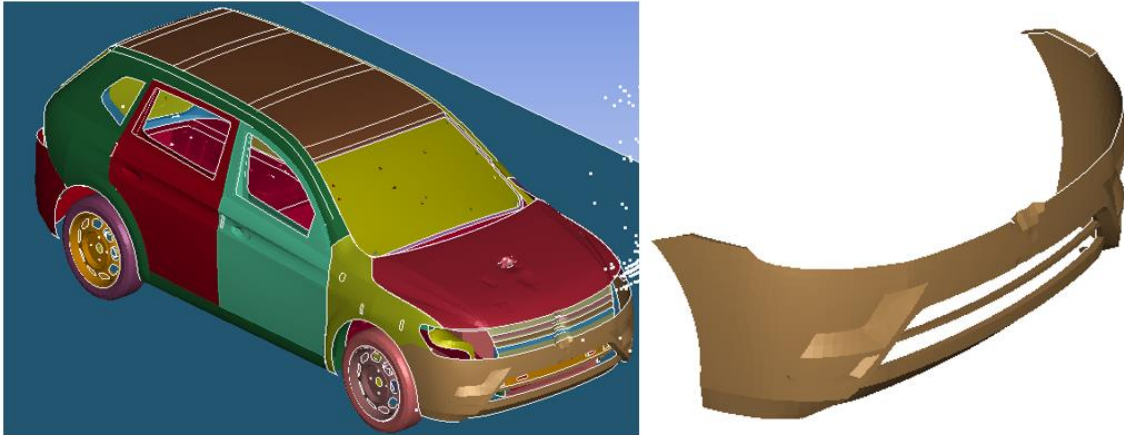
#### 4.4 SIMULACIÓN DE ATROPELLAMIENTO CON EL MATERIAL ACERO A36 EN EL GUARDACHOQUE

Los resultados finales se muestran en una secuencia en diferentes intervalos de tiempo como se indica en la Figura 4.19.



**Figura 4.19** Secuencia de atropellamiento con el material acero A36 en el guardachoque

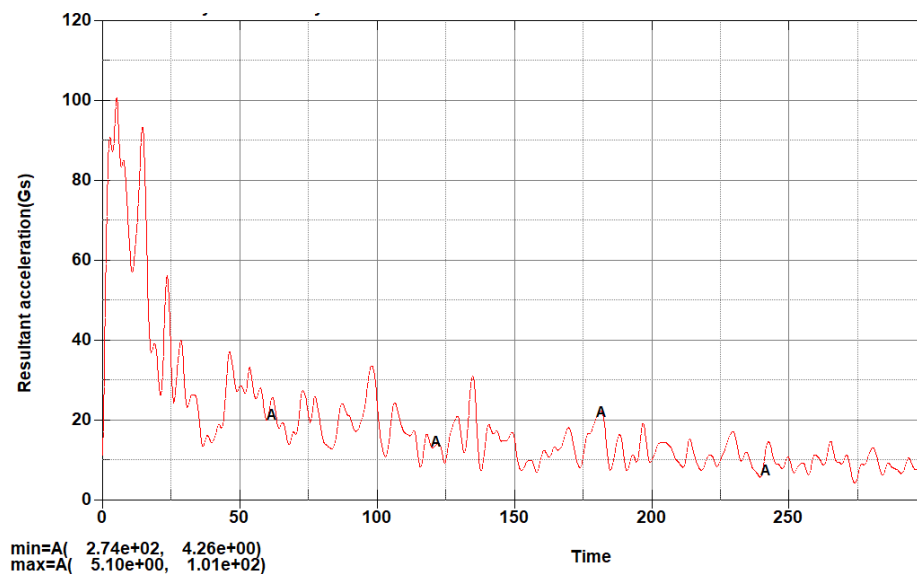
En la Figura 4.20, se indica el estado final del parachoques con el material acero A36 después de realizada la simulación de atropellamiento.



**Figura 4.20** Estado final del capó y guardachoque frontal simulación 4

#### 4.4.1 FUERZA G RESULTANTE EN LA PELVIS

Es importante evaluar la aceleración que se produce en la pelvis a través de la fuerza g obtenida después del atropellamiento como se indica en la Figura 4.21, obteniendo un valor de 101 (Gs) como valor máximo en un tiempo de 5,1 ms que se da al primer contacto del maniquí con el vehículo de tipo SUV.

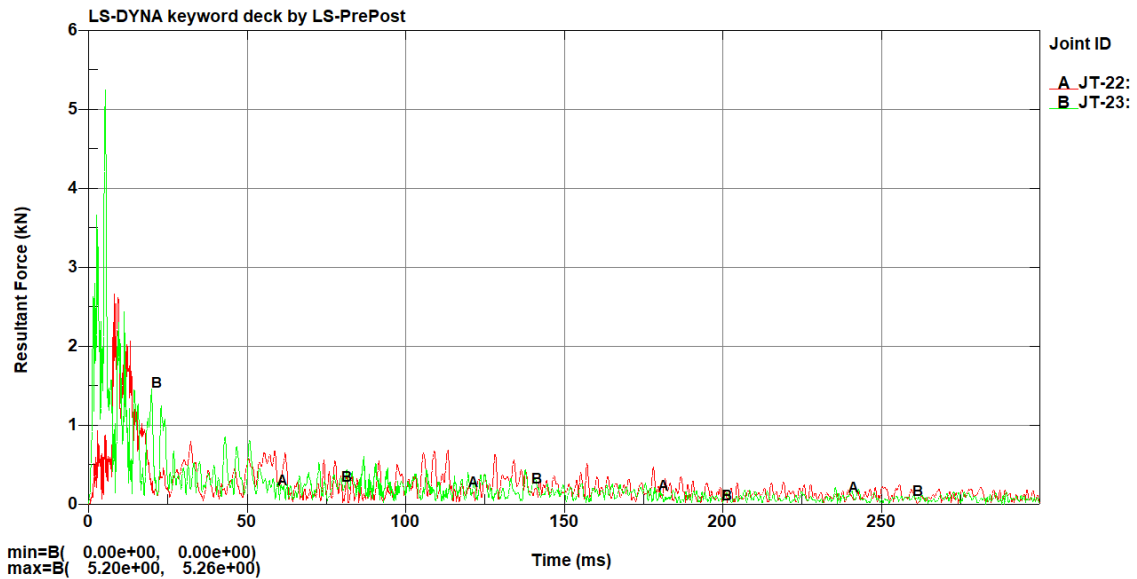


**Figura 4.21** Fuerza G producida en la pelvis simulación 4

#### 4.4.2 FUERZA RESULTANTE DE LA PELVIS

Para identificar el valor resultante de la pelvis, se identifican las uniones de la pelvis del maniquí, que para este caso son los Joint 22 y 23 para la parte izquierda y derecha respectivamente. En la Figura 4.22, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 5,26 kN en un tiempo de 5,2 ms que se da en la parte derecha de la pelvis.

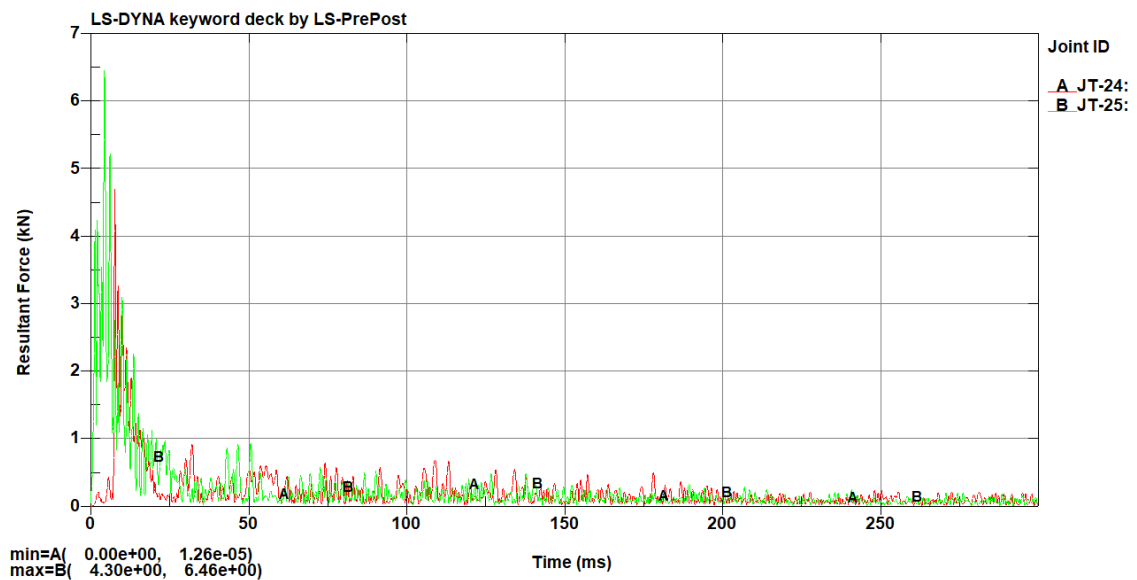




**Figura 4.22** Fuerza producida en la pelvis simulación 4

#### 4.4.3 FUERZA RESULTANTE EN EL FÉMUR

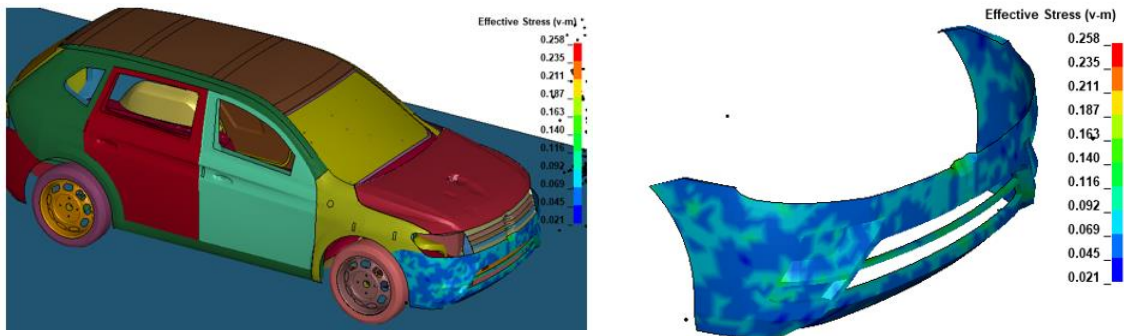
Para identificar el valor resultante del fémur, se identifican las uniones de fémur del maniquí, que para este caso son los Joint 24 y 25 para el lado izquierdo y derecho respectivamente. En la Figura 4.23, se puede observar el valor máximo de la Fuerza de 6,46 kN en un tiempo de 4,3 ms que se da en el fémur de lado derecho.



**Figura 4.23** Fuerza producida en el fémur simulación 4

#### 4.4.4 ESFUERZO RESULTANTE EN EL GUARCHOQUE FRONTAL

El valor máximo de esfuerzo de Von Mises es 258 MPa como se muestra en la Figura 4.24, este valor está por sobre el límite de fluencia del material (250 MPa) por lo que existirá una deformación plástica permanente, pero al no sobrepasar el límite de resistencia última a la tracción (550 MPa) no llega a romperse, para este caso el desplazamiento máximo es de 10 mm.



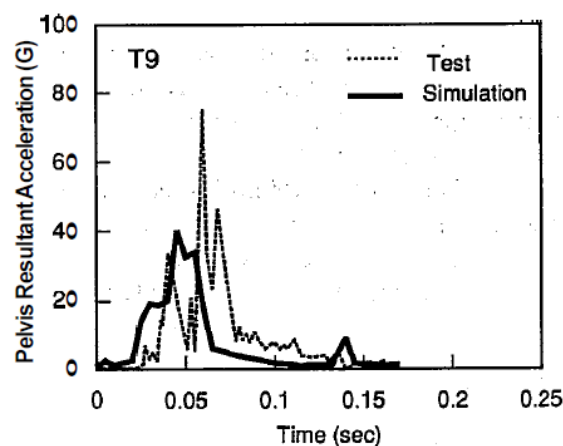
**Figura 4.24** Esfuerzo de Von Mises resultante del guardachoque frontal simulación

## 4.5 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Después de haber realizado las diferentes simulaciones con el vehículo tipo SUV empleando el material importado del vehículo Toyota Venza (Baseline BL) de la NHTSA para su estructura, con las diferentes configuraciones de materiales como el plástico original del vehículo importado, material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de cabuya, material compuesto a base de resina epoxi reforzada con fibra de caña de azúcar y acero A36, se obtuvieron los siguientes resultados en relación con las lesiones que se produjeron en el dummy, comparado con los criterios de la Euro NCAP y GTR 9 de la UE.

### 4.5.1 Comparación de los resultados de la simulación del material original con artículos de simulaciones de otros vehículos a 40 km/h

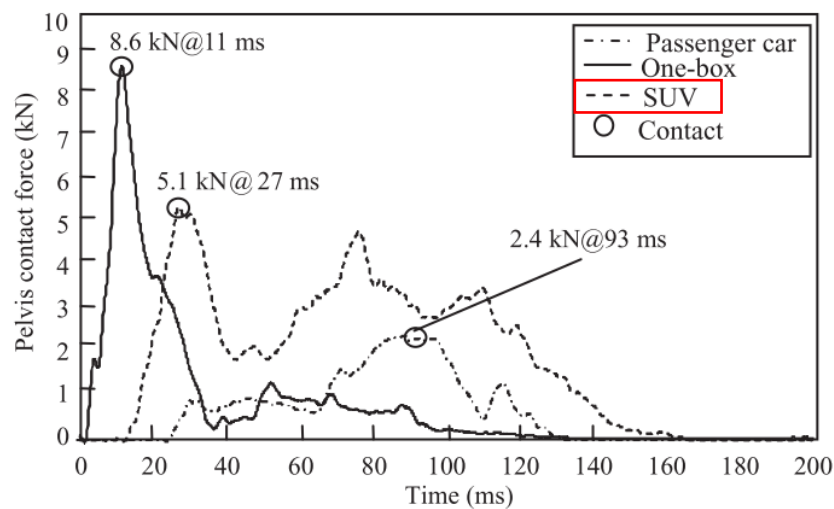
Al realizar la simulación con el material original se obtuvo una fuerza g de 96 en el tiempo de 13 milisegundos, este resultado se comparó con los datos de un ensayo real donde se analizó la respuesta al impacto del cuerpo humano en accidentes automovilísticos (Yang & Kajzer, 1992), en la figura 4.25 se muestra los resultados del ensayo real a 40 km/h (11,11 m/s), obteniendo un valor aproximado de 77 (G) de aceleración resultante en la pelvis.



**Figura 4.25** Aceleración resultante en la pelvis  
(Yang & Kajzer, 1992)

Con el valor obtenido de 77 (G) comparado con la simulación realizada de la cual se obtuvo un valor de 96 (G), la variación que existe entre los datos de la prueba real con nuestra simulación es de 24,68% correspondiente a fuerzas G.

El siguiente criterio analizado es la fuerza resultante en la pelvis, para este caso se compararon los datos de la simulación con el artículo “Análisis de elementos finitos del comportamiento cinemático y lesiones de peatones en colisiones de vehículos”, en este artículo se realizaron simulaciones con tres modelos genéricos de vehículos, un turismo, un monovolumen y un vehículo tipo SUV (Han et al., 2012), para la comparativa se tomaron los resultados de fuerza resultante en la pelvis de la simulación realizada a 40 km/h con el vehículo tipo SUV como se muestra en la figura 4.26.



**Figura 4.26** Fuerza resultante de contacto de la pelvis

(Han et al., 2012)

Como se puede observar la fuerza resultante máxima es 5,1 kN en el tiempo 27 ms que se da al primer contacto del vehículo con el peatón, comparado con la simulación realizada en este proyecto se obtuvo una fuerza resultante de 3,79 kN en el tiempo de 10 ms, con esto calculamos que la variación es de 25,69% menos que los valores que se obtuvieron el artículo.

Por último, para la comparación de las fuerzas resultantes del fémur, se tomaron los valores de la Evaluación técnica del simulador de parte superior de pierna para peatones TRL realizado por la NHTSA, en donde se realizaron pruebas reales con diferentes tipos de vehículos, de los cuales se tomaron los resultados de fuerzas resultantes en el fémur de un vehículo tipo SUV (Nissan Rogue) que tiene dimensiones similares al de nuestro modelo. La sumatoria de fuerzas obtenida en el ensayo real con el vehículo Nissan Rogue es de 4,42 kN (Suntay et al., 2019), comparado con la simulación realizada en donde se

obtuvo un valor de 4,04 kN, existe una variación de 8,18% menor que el valor de la prueba real.

**Tabla 4.1** Resumen y comparación de los resultados de la simulación del material original con artículos de simulaciones de otros vehículos

Criterio	Datos de artículos	Datos de la simulación	Variación
Fuerzas G en la pelvis	77 (G)	96 (G)	+24,68%
Fuerza resultante en la pelvis	5,1 kN	3,79 kN	-25,69%
Fuerza resultante en el fémur	4,4 kN	4,04 kN	-8,18%

#### 4.5.2 COMPARACIÓN DE FUERZAS G EN LA PELVIS

Si bien el valor de aceleración pélvica no se toma en cuenta para la valoración de estrellas de los vehículos nuevos, NHTSA establece que no debe exceder 130 G, ya que supondría traumatismo grave (Yoganandan et al., 2007).

Los resultados de las fuerzas G se indican en la Tabla 4.2, el límite en pruebas reales es de 77 G esto muestra que las fuerzas G que recibe la parte de la pelvis es muy alta, esto supone mucho daño en esta parte y que los materiales en cuestión no tienen un comportamiento adecuado en una situación de un impacto con un peatón lo que puede provocar un daño severo como roturas, lesiones y sangrado internos dando como resultado, el deceso del peatón excepto la fibra de cabuya.

**Tabla 4.2** Comparación de fuerzas G producidas en la pelvis

Material	Fuerzas G producidas en la pelvis	Criterio de evaluación NHTSA (130G)
Plástico (original)	96G	<130 Si cumple
Resina epoxi con fibra de cabuya	90,5G	<130 Si cumple
Resina epoxi fibra de caña de azúcar	125G	<130 Si cumple
Acero A36	101G	<130 Si cumple

El porcentaje de variación con respecto al valor real existente es el siguiente: 24,68%, 17,53%, 29,74%, 31,17% respectivamente. Por lo tanto, la resina epoxi reforzada con fibra de cabuya tiene una menor variación siendo el material más adecuado para usarse como un reemplazo del material original (plástico) que, en la simulación obtuvo un valor de 96G (24,68%), mientras que el peor material para usarse es el acero A36 (con 101 G y variación de 31,17% con respecto al valor de 77 G) lo que puede causar más daños al peatón.

#### 4.5.3 COMPARACIÓN DE FUERZAS RESULTANTES DE LA PELVIS

En relación con la fuerza resultante realizada en los cuatro tipos de materiales se obtuvo diferentes valores además de en qué pierna se ha producido dicha fuerza y en todas las pruebas cumple el criterio límite de dos tipos de evaluaciones internacionales que se realizan como se indica en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3** Comparación de la sumatoria de fuerzas producidas en la pelvis

Material	Sumatoria de fuerzas kN (pelvis)	Criterio de evaluación NCAP (5kN)	Criterio de evaluación GTR9 (7.5kN)
Plástico (original)	3,79 izquierdo	<5 kN Si cumple	<7,5 kN Si cumple
Resina epoxi con fibra de cabuya	4,61 izquierdo	<5 kN Si cumple	<7,5 kN Si cumple
Resina epoxi fibra de caña de azúcar	3,84 izquierdo	<5 kN Si cumple	<7,5 kN Si cumple
Acero A36	5,26 derecho	>5 kN No cumple	<7,5 kN Si cumple

Casi todos los materiales cumplen el límite permitido excepto el acero A36 (puesto que no cumple el límite propuesto por NCAP) sobrepasando el límite con 0,26kN, además de que el lugar en el que se produce el total de la fuerza es en la pierna derecha mientras que las demás simulaciones se producen en la pierna izquierda. Y el material más adecuado para aplicarse en el parachoques es el plástico (el material original) ya que la sumatoria de fuerzas en la pelvis es menor, lo que reduce el daño potencial en la pelvis, en segundo lugar está la resina epoxi con fibra de azúcar (con 3,84kN), en tercer lugar la resina epoxi con fibra de cabuya que tiene un valor aún más alto que los dos anteriores (4,61kN) y el

peor material para ser usado es el acero A36 (con un valor de 5,26kN) lo que produciría daños en la pelvis.

#### 4.5.4 COMPARACIÓN DE FUERZAS RESULTANTES EN EL FÉMUR

Los valores de la fuerza resultante en el fémur al momento del impacto se resumen en la Tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Comparación de las fuerzas resultantes en el fémur

Material	Sumatoria de fuerzas kN (fémur)	Criterio de evaluación NCAP (5kN)	Criterio de evaluación GTR9 (7kN)
Plástico (original)	4,04 izquierdo	<5 kN Si cumple	<7 kN Si cumple
Resina epoxi con fibra de cabuya	6,32 izquierdo	>5 kN No cumple	<7 kN Si cumple
Resina epoxi fibra de caña de azúcar	8,57 derecho	>5 kN No cumple	>7 kN No cumple
Acero A36	6,46 derecho	>5 kN No cumple	<7 kN Si cumple

El valor de la fuerza del fémur comparada entre los materiales nos da como resultado que el plástico tiene el valor más bajo (con 4,04kN) siendo el material más adecuado para su aplicación en el parachoques mientras que los demás materiales tienen valores más altos como la resina epoxi reforzada con fibra de cabuya (6,32kN), el acero A36 (6,46kN) y la resina epoxi reforzada con fibra de caña de azúcar (8,57kN) siendo en este caso el material menos adecuado para el parachoques ya que provocaría un daño más alto al fémur.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La metodología propuesta cumple las necesidades principales del proceso de análisis de información, obtención de datos y aplicación de condiciones de un entorno simulado para llevar a cabo el proceso de simulación de impacto con la parte superior de las piernas comparando datos de límites de fuerza G y fuerza resultante (en kN) en la pelvis, fuerza resultante en la tibia, esfuerzo resultante en el guardachoques y flexión de este según entidades como la NCAP y GTR9.
- El modelado de probetas y vehículo está basado en dimensiones y documentación dada por organismos nacionales e internacionales (AEADE, ASTM) que sustenta su desarrollo y uso en los procesos de simulación de ensayos de tracción, flexión e impacto con los materiales de fibra de cabuya y caña de azúcar cumpliendo con resultado cercanos a datos de campo reales apoyando la idea de que a través del proceso de modelado/simulación en software CAD/CAE cumple con los requisitos necesarios para aumentar su uso en pruebas estandarizadas de seguridad peatonal y uso de nuevos materiales en estructuras automotrices.
- En la validación de probetas, en el ensayo de tracción se obtuvo un valor de 0,058 GPa, comparado con el promedio de resultados de los ensayos reales de 0,06370 GPa representa un error del 8%, para la fibra de caña de azúcar se obtuvo un valor 0,0230 GPa en la simulación, comparado con el promedio de resultados de los ensayos reales de 0,02419 GPa representa un error del 5%; en ambos casos el porcentaje de variación es mínimo y no sobrepasa el 10% con lo cual nos aseguramos que el comportamiento de los materiales compuestos dentro del programa de simulación no difieran mucho de los ensayos reales.
- Para los ensayos de flexión, en la simulación del material de fibra de cabuya se obtuvo un valor de 15,48 mm y en la ficha de datos reales el promedio de los resultados de flexión fue de 18.38 mm, la variación fue de 2,9 mm, mientras que para el material de fibra de caña de azúcar se obtuvo un valor de 14,51mm en la simulación y el promedio de los resultados reales de flexión fue de 17,80 mm, la variación fue de 3,29 mm, para los dos casos la variación no sobrepasa los 4 mm y al correlacionar con los datos de los de ensayos de tracción se verifica que los



valores resultantes se encuentran dentro de un rango aceptable lo que permitió la correcta validación de los materiales.

- Los resultados de fuerzas G en la pelvis fueron de 96G (ABS), 90.5G (Cabuya), 125G (Caña de azúcar) y 101G (A36). Todos los materiales cumplen con el criterio de la NHTSA de 130 G debido a que el punto de impacto principal es en la zona del fémur y la rodilla, sin embargo, de estos primeros datos los mejores materiales fueron el plástico y la configuración de cabuya, y los que mayor daño causaron fueron el acero y la caña de azúcar.
- Los resultados de las simulaciones fueron de 3,79 kN (join iz, ABS), 4,61 kN (join iz, Cabuya), 3.84 kN (join iz, Caña) y 5.26 kN (join der, A36). Todos los valores se encontraron dentro de los límites aceptables excepto el del acero A36 en NCAP (5 kN) donde supera el límite permitido, esto se debe a que el material por sus propiedades mecánicas de alta dureza y poca flexibilidad, no absorbe la energía del impacto, provocando el mayor daño en el join derecho de la pelvis que es el primer punto de contacto, a diferencia del plástico que es el mejor material para este tipo de condiciones donde absorbió y distribuyó la energía del impacto a lo largo de la pelvis, por lo cual la mayor fuerza se dio en el join izquierdo que es el lado contrario de donde recibe el impacto.
- Los resultados obtenidos en la sumatoria de fuerzas del fémur fueron 4.04 kN (join iz, ABS), 6.32 kN (join iz, cabuya), 8.57 kN (join der, Caña) y 6.46 kN (join der, A36). Los valores muestran que el material que menos daño produce en el fémur es el plástico debido a que es el material más flexible de todos, mientras que la resina epóxica con fibra de caña de azúcar es la que más daño produce en esta área y al igual que el acero A36, en el caso de la caña de azúcar no absorbe la fuerza de impacto porque tiene un límite elástico muy bajo y se rompe al primer contacto lo que le impide la absorción de la energía y distribución de la fuerza, con el acero en cambio por su alta dureza y poca flexibilidad produce la misma reacción que en la pelvis, causando daño en el punto de impacto.
- Terminado de analizar los resultados se determinó que el material más adecuado para usarse en el parachoques fue el plástico ya que cumple los criterios tanto de NCAP como del GTR9 produciendo el mínimo daño posible al peatón lo que quiere decir que el material absorbe la mayoría de la energía producida, mientras que la fibra de cabuya y caña de azúcar están casi al mismo nivel en resultados de

aceptación por la NCAP y GRT9 pero no son los más adecuados ya que sus límites elásticos y resistencia última de tracción son demasiado bajos lo cual provoca la falla del material al primer contacto, estos materiales se podrían utilizar en zonas del vehículo donde no se requieran límites elásticos altos, como los guardafangos o el guardachoque trasero.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Reducir la geometría del vehículo, dejando tan sólo la parte delantera, pues los lugares que interaccionan con el dummy en la primera fase de un atropello son únicamente el frontal y la defensa.
- En el vehículo se recomienda reducir la geometría, además de reducir las partes que no tiene influencia dentro del análisis de impacto, o a su vez solo modelar la parte delantera del vehículo para reducir el gasto computacional ya que en sí solo se está utilizando la parte que más interactúa con el dummy.
- Para este tipo de simulación no se recomienda utilizar los vehículos modelados que están disponibles en la NHTSA, debido a que estos vehículos están modelados a detalle con cada parte específica y elementos de unión de cada parte, esto hace que el modelo sea muy pesado y para el caso de una simulación de atropellamiento esto significaría un costo computacional y tiempos de simulación muy elevados, además resulta innecesario utilizar un modelo de este tipo cuando solo analizamos una parte específica en este caso el guardachoque delantero.
- Para la configuración de las cartas de control de los materiales compuestos con materiales orgánicos, considerando que su resistencia es muy baja, no se recomienda configurar el material por capas mediante la opción INTEGRATION SHELL debido a que la energía al momento del impacto es demasiado alta y puede llegar a causar algunos errores al momento de simular, por eso se recomienda utilizar la carta de control MAT\_24 y considerar este material como MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY, al configurar el material de esta manera no se alteran los resultados de la simulación.
- Para poder apreciar el instante de la falla del material en las simulaciones, se recomienda asignar tiempos de simulación pequeños, en ms o menor, y que el mallado sea lo más fino posible según la disponibilidad de recursos computacionales, ya que estas consideraciones requieren de mayor tiempo de procesamiento.

## REFERENCIAS

- Aertia - Software. (n.d.). *Aertia - LS-DYNA*.
- Ley Orgánica de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial del Ecuador, 1 (2021).
- Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 13 (2014). <https://doi.org/10.1520/D3039>
- Designation: D 7264 / D 7264M -07 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1, 11 (2020).
- Asghari, A., Zarei-Hanzaki, A., & Eskandari, M. (2013). Temperature dependence of plastic deformation mechanisms in a modified transformation-twinning induced plasticity steel. *Materials Science and Engineering: A*, 579, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2013.04.106>
- Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2016). *Ciencia e Ingeniería de Materiales* (J. Reyes Martínez (Ed.); 7th ed.). Cengage Learning.
- Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador. (2022). Anuario Aeade 2022. *Anuario AEADE 2022*, 126.
- Autocrash. (2020, April 1). *¿Por qué el diseño y el material de la carrocería es fundamental en la seguridad del vehículo?* <https://www.revistaautocrash.com/por-que-el-diseno-y-el-material-de-la-carroceria-es-fundamental-en-la-seguridad-del-vehiculo/>
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2019). *CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES* (9th ed.).
- Chevez Alejandro, I. J. (2017). *ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS DIFERENTES VARIEDADES (ECU-01; EC-06; EC-08) DE BAGAZO DE CAÑA PARA LA OBTENCIÓN DEL PAPEL EN LOS PROCESOS INDUSTRIALES*. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
- Cintas Físico, J., Montes Martos, J. M., & Gómez Cuevas, F. (2014). *Ciencia e Ingeniería de los materiales* (1ra Edició). Ediciones Paraninfo S.A.
- De Cruz, D. S. (2020). *DISEÑO Y ANÁLISIS DE UN RIG PARA ESTUDIO DE CARGO CRASH*. Universidad Carlos III de Madrid.

- Escobar, C. (2021, December 23). *Seguridad activa y seguridad pasiva* .  
<https://www.comparaonline.cl/blog/autos/seguero-automotriz/como-se-diferencia-la-seguridad-activa-de-la-seguridad-pasiva/>
- Euro NCAP. (2023a). *Descripción de las valoraciones*.  
<https://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-vehículos/descripción-de-las-valoraciones/>
- Euro NCAP. (2023b). *EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP) ASSESSMENT PROTOCOL-VULNERABLE ROAD USER PROTECTION Implementation 2023 EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP). 11.2.2*. <https://cdn.euroncap.com/media/77142/euro-ncap-assessment-protocol-vru-v1122.pdf>
- Euro NCAP. (2023c). *Impacto en la parte superior de las piernas*.  
<https://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-vehículos/descripción-de-las-valoraciones/protección-para-los-usuarios-vulnerables-de-la-carretera-vru/impacto-en-la-parte-superior-de-las-piernas/>
- Euro NCAP. (2023d). *Protección para los usuarios vulnerables de la carretera (VRU)*.  
<https://www.euroncap.com/es/seguridad-en-los-vehículos/descripción-de-las-valoraciones/protección-para-los-usuarios-vulnerables-de-la-carretera-vru/>
- EuroNCAP. (2022). *Vulnerable Road User Testing Protocol* (Issue November).
- EuroNCAP. (2023). *Assessment Protocol – Vulnerable Road User Protection* (Issue Febrero).
- Gordo Güemes, A., & Piris Martín, N. (2012). *Ciencia de materiales para ingenieros* (Pearson Educación S.A. (Ed.); 1ra ed.). Miguel Martín Romo.
- Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de Manufactura Moderna*.
- Han, Y., Yang, J., Nishimoto, K., Mizuno, K., Matsui, Y., Nakane, D., Wanami, S., & Hitosugi, M. (2012). Finite element analysis of kinematic behaviour and injuries to pedestrians in vehicle collisions. *International Journal of Crashworthiness*, 17(2), 141–152. <https://doi.org/10.1080/13588265.2011.632243>
- Hourglass — Welcome to the LS-DYNA support site*. (n.d.).

- Humanetics. (2017). *HIII-50M PED Pedestrian ATD* .  
<https://www.humaneticsgroup.com/products/anthropomorphic-test-devices/pedestrian/hiii-50m-ped>
- Mancini, H. L., & Gonzáles-Viñas, W. (2003). *Ciencia de los Materiales Wenceslao Gonz ´ ector Luis Mancini* (Grupo Planeta (GBS) (Ed.); 1ra ed.).
- Murillo Martínez, F. (2018). *Análisis mediante elementos finitos del comportamiento de perfiles combinados de estructuras de autobuses*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Newell, J. (2008). *Ciencia de materiales Aplicaciones en Ingeniería* (1st ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Nyquist, G. W., Cheng, R., El-Bohy, A. A. R., & King, A. I. (1985). Tibia bending: Strength and response. *SAE Technical Papers*, 1(1).  
<https://doi.org/10.4271/851728>
- Pachacama Nasimba, V. P. (2015). *DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Ponce Tobar, L. S. (2020). *Caracterización de un material compuesto a base de resina epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma resina reforzado con fibra de caña de azúcar*. Universidad Técnica del Norte.
- Siza, H. (2020, June 1). *La carrocería y el chasis son dos elementos de gran importancia en la seguridad de los automóviles*.  
<http://noticias.espanol.autocosmos.com/2020/06/01/la-carroceria-y-el-chasis-son-dos-elementos-de-gran-importancia-en-la-seguridad-de-los-automoviles>
- SolidWorks. (2017). *¿Qué es SolidWorks? - ADR Formación*. Adrformación.
- Suntay, B., Research Center Inc, T., Stammen, J., Vehicle Research, N., & Center, T. (2019). *Technical Evaluation Of the TRL Pedestrian Upper Legform*. July.  
[www.ntis.gov](http://www.ntis.gov).
- Tierra, P., Aquino, M., Pozo, E., & Jaramillo, J. (2020). *Simulación matemática de*

*pruebas de impacto entre diferentes materiales, por medio de software para análisis no lineales. 6, 1171–1193.*

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1359>

Toyota. (2015, October 13). *New GOA Body*. Toyota Motor Corporation Official Global Website. <https://global.toyota/en/download/25946445/>

Tyler, A. K., Snider, J. N., Porta, D. J., Fuller, peter. M., Wasserman, J. F., & Tucker, G. V. (1993). Human Femur Response To Impact Loading. *International Research Council on Biomechanics of Injury, 21*, 93–104.

United Nations. (2009). *Global technical regulation No. 9*.

Vargas, S. B. (2019). Desarrollo de un Modelo Virtual para el Conformado de Aceros Inoxidables [Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ)]. In *CIATEQ*.

<https://doi.org/10.15517/ri.v28i1.29257>

Vargas Víctor Miguel, T. (2022). Active and Passive Security in Vehicles Seguridad Activa y Pasiva de Vehículos. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M., 2(2)*, 747–768. <https://doi.org/10.18502/epoch.v2i2.11426>

Villafuerte Buñay, L. E. (2017). *Análisis estructural de una carrocería autoparte para un bus interprovincial mediante elementos finitos para la producción en serie*.

<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/15653>

Volkswagen Tiguan Allspace 2018 Blueprint 3D modeling. (n.d.). Retrieved December 1, 2023, from [https://drawingdatabase.com/volkswagen-tiguan-allspace-2108/#google\\_vignette](https://drawingdatabase.com/volkswagen-tiguan-allspace-2108/#google_vignette)

Woge, O. G., Morán, C. O. G., & Chau, A. L. (2020). Introducción al método del elemento finito: Solidworks y Matlab. *Ideas En Ciencias de La Ingeniería, 1(1)*, 27–47.

Yang, J., & Kajzer, J. (1992). Computer simulation of impact response of the human knee joint in car-pedestrian accidents. *SAE Technical Papers*.

<https://doi.org/10.4271/922525>

Yoganandan, N., Pintar, F. A., Stemper, B. D., Gennarelli, T. A., & Weigelt, J. A. (2007). Biomechanics of side impact: Injury criteria, aging occupants, and airbag technology. *Journal of Biomechanics, 40(2)*, 227–243.

<https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2006.01.002>



## **ANEXOS**

## ANEXO I

## DATOS DEL ACERO EXPORTADO DEL VEHÍCULO TOYOTA VENZA

TABLA I Propiedades del material acero exportado

ACERO DEL VEHÍCULO TOYOTA VENZA	
Propiedad	Valor
Densidad del material	7.89e-6 (kg/mm <sup>3</sup> )
Módulo de Young	200 (GPa)
Radio de Poisson	0.3 (mm/mm)
Límite de fluencia	0.350 (GPa)
Resistencia última a la tracción	0.650 (GPa)

\*MAT\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY\_(TITLE) (024) (2)

**TITLE**  
ACERO AUTO NHTSA

1	<b>MID</b>	<b>RQ</b>	<b>E</b>	<b>PR</b>	<b>SIGY</b>	<b>ETAN</b>	<b>FAIL</b>	<b>TDEL</b>
	5001	7.890e-06	200.00000	0.3000000	0.3500000	0.0	1.000e+21	0.0
2	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>LCSS</b>	<b>LCSR</b>	<b>VP</b>			
	8.0000000	8.0000000	5001	0	0.0			
3	<b>EPS1</b>	<b>EPS2</b>	<b>EPS3</b>	<b>EPS4</b>	<b>EPS5</b>	<b>EPS6</b>	<b>EPS7</b>	<b>EPS8</b>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	<b>ES1</b>	<b>ES2</b>	<b>ES3</b>	<b>ES4</b>	<b>ES5</b>	<b>ES6</b>	<b>ES7</b>	<b>ES8</b>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot Raise New Padd

COMMENT:

FIGURA I Carta de control de propiedades del acero exportado

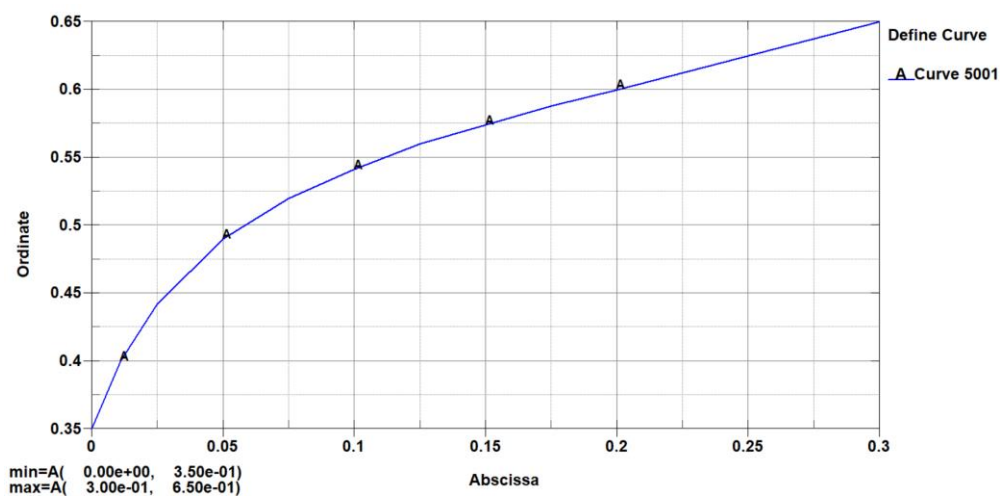


FIGURA II Gráfica de la curva esfuerzo deformación del acero usado en el Toyota Venza

## ANEXO II

## DATOS DEL VIDRIO TEMPLADO DEL VEHÍCULO TOYOTA VENZA

TABLA II Propiedades del material vidrio templado

VIDRIO TEMPLADO	
Propiedad	Valor
Densidad del material	1.87e-6 (kg/mm <sup>3</sup> )
Módulo de Young	73.9 (GPa)
Radio de Poisson	0.22 (mm/mm)

\*MAT\_MODIFIED\_PIECEWISE\_LINEAR\_PLASTICITY\_(TITLE) (123) (1)

TITLE  
MATERIAL DEL PARABRISAS

1	<u>MID</u>	<u>RO</u>	<u>E</u>	<u>PR</u>	<u>SIGY</u>	<u>ETAN</u>	<u>FAIL</u>	<u>TDEL</u>
	5002	2.500e-06	70.000000	0.2200000	0.0300000	1.0000000	0.0150000	0.0
2	<u>C</u>	<u>P</u>	<u>LCSS</u> <input type="checkbox"/>	<u>LCSR</u> <input type="checkbox"/>	<u>VP</u>	<u>EPSTHIN</u>	<u>EPSMAJ</u>	<u>NUMINT</u>
	0.0	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	1.0000000
3	<u>EPS1</u>	<u>EPS2</u>	<u>EPS3</u>	<u>EPS4</u>	<u>EPS5</u>	<u>EPS6</u>	<u>EPS7</u>	<u>EPS8</u>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	<u>ES1</u>	<u>ES2</u>	<u>ES3</u>	<u>ES4</u>	<u>ES5</u>	<u>ES6</u>	<u>ES7</u>	<u>ES8</u>
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Plot Raise New Padd

COMMENT:

FIGURA III Carta de control de propiedades del vidrio templado exportado

## ANEXO III

**FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL  
COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CABUYA**

**TABLA III** Ficha de recolección de datos del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya (Ensayo de tracción)

<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Maquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo Msc.				
<b>PARAMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	40%		
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Número de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,39mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,70°C	Humedad:	52,70%		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	8799,43	110,07	1540,53	7,14	LGB
2	5000,07	62,88	989,93	6,35	LGT
3	5410,30	54,49	840,51	6,48	LAB
4	4523,57	51,44	905,44	5,68	LAB
5	4703,44	54,62	836,41	6,53	LGM
6	4086,52	48,71	811,55	6,00	LGT
Promedio	5420,55	63,70	987,39	6,36	-
Desv Est	1714,19	23,21	278,56	0,50	-
<b>EVALUACION Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			63,70 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			987,39 MPa		
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona Calibrada	M	Medio

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

## ANEXO IV

**FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE TRACCIÓN DEL MATERIAL  
COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CAÑA DE  
AZÚCAR**

**TABLA IV** Ficha de recolección de datos del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar (Ensayo de tracción)

<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Maquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo Msc.				
<b>PARAMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Número de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,03mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,20°C	Humedad:	50,80%		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	1754,52	26,84	459,01	5,85	LGB
2	2013,28	25,24	508,07	4,97	LGM
3	1718,23	23,76	592,60	4,01	LAB
4	1849,19	24,69	445,78	5,54	LGM
5	2256,26	28,20	595,92	4,73	LGT
6	1282,76	16,41	275,61	5,95	LAB
Promedio	1812,37	24,19	479,49	5,17	-
Desv Est	326,02	4,13	118,57	0,75	-
<b>EVALUACION Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			24,19 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			479,49 MPa		
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	M	Fondo
A	Angular	G	Zona Calibrada	B	Medio

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

## ANEXO V

**FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL  
COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CABUYA**

**TABLA V** Ficha de recolección de datos del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de cabuya (Ensayo de flexión)

<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Maquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo Msc.				
<b>PARAMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	40%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Número de probetas:	6		
Espesor promedio:	5,53mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,20°C	Humedad:	52,80%		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	67,84	100,24	5152,61	16,55	OAT
2	121,49	129,88	5145,29	18,68	OAT
3	89,93	111,59	4835,79	18,16	OAT
4	132,53	142,01	5182,38	20,50	OAT
5	93,09	114,65	5088,85	17,33	OAT
6	97,82	113,99	4457,29	19,08	ObT
Promedio	100,45	118,73	4977,03	18,38	-
Desv Est	23,27	14,82	284,22	1,38	-
<b>EVALUACION Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			45,77 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			2341,60 MPa		
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
				R	Derecha
		U	No conocido	M	Medio
				U	Desconocido
				L	Izquierda
				T	Parte superior

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

## ANEXO VI

**FICHA DE DATOS DE ENSAYO DE FLEXIÓN DEL MATERIAL  
COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA CON FIBRA DE CAÑA DE  
AZÚCAR**

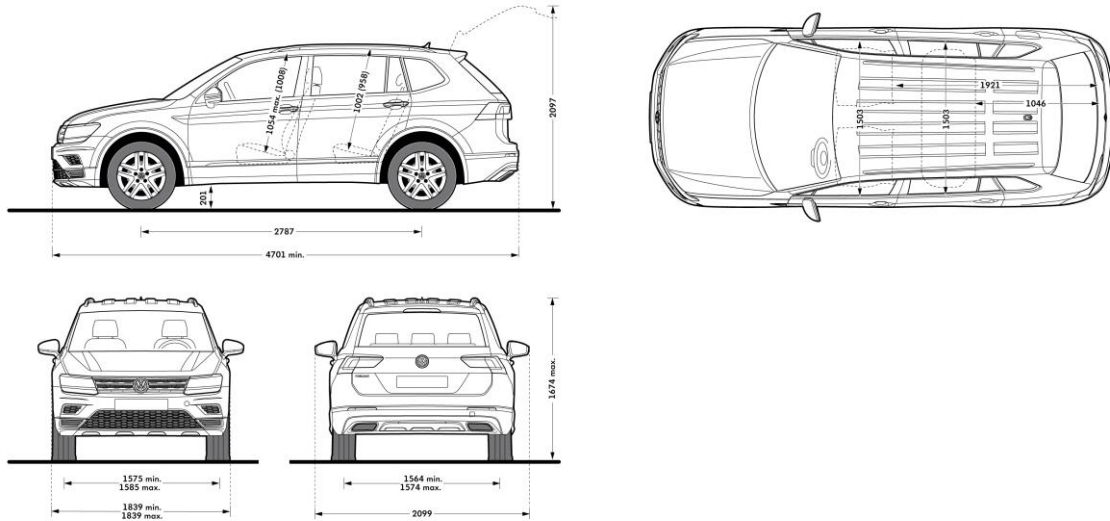
**TABLA VI** Ficha de recolección de datos del material compuesto a base de resina epóxica con fibra de caña de azúcar (Ensayo de flexión)

<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Maquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo Msc.				
<b>PARAMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Orientación:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Número de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,13mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,20°C	Humedad:	53,40%		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	28,40	48,45	2660,43	17,03	OAT
2	26,82	42,31	3313,28	11,47	OAT
3	34,71	47,11	1811,91	21,78	OAT
4	31,56	46,02	2342,70	17,36	OAT
5	28,40	40,22	2009,78	16,71	OAT
6	33,13	50,53	1911,48	22,42	OAT
Promedio	30,50	45,77	2341,60	17,80	-
Desv Est	3,10	3,86	569,47	3,98	-
<b>EVALUACION Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			45,77 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			2341,60 MPa		
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
				R	Derecha
		U	No conocido	M	Medio
				U	Desconocido
				L	Izquierda
				T	Parte superior

Fuente:(Ponce Tobar, 2020)

## ANEXO VII

## PLANOS DEL VEHÍCULO UTILIZADOS EN EL MODELADO



*(Volkswagen Tiguan Allspace 2018 Blueprint 3D Modeling, n.d.)*