



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

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

TEMA:

**DETERMINACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO QUE PERMITA LA
REDUCCIÓN DE PESO EN UN ELEMENTO DE LA CARROCERÍA DE UN
VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO RENAULT TWIZY.**

**AUTORES: STEVEN GONZALO BELTRÁN CUATÍN
EDISON FERNANDO TERÁN POSSO**

DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO SEGOVIA TROYA, MSc.

IBARRA, DICIEMBRE 2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR


En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento 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 "ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTO PARA LA REDUCCIÓN DE PESO EN LA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO". presentado por el señor: BELTRÁN CUATÍN STEVEN GONZALO con número de cédula 1003689146, 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, a los 12 días del mes diciembre de 2022.

Atentamente


A handwritten signature in black ink, appearing to be 'CS', is written over a vertical line that extends from the word 'Atentamente' above.

Ing. Carlos Segovia, MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

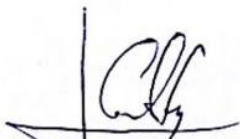
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ESTUDIO DE UN MATERIAL COMPUESTO PARA LA REDUCCIÓN DE PESO EN LA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO". presentado por el señor: TERÁN POSSO EDISON FERNANDO con número de cédula 1003829999, 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, a los 12 días del mes diciembre de 2022.

Atentamente



Ing. Carlos Segovia, 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 IDENTIDAD:	DE	1003829999	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Terán Posso Edison Fernando	
DIRECCIÓN:	Atuntaqui – San Luis		
EMAIL:	eferanp@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2907176	TELÉFONO MÓVIL:	0990671507

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTO PARA LA REDUCCIÓN DE PESO EN LA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO"
AUTOR (ES):	Beltran Cuatin Steven Gonzalo y Terán Posso Edison Fernando
FECHA: DD/MM/AAAA	12/12/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Segovia, 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, a los 12 días del mes de diciembre de 2022

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Fernando Terán



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

3. 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:	DE	1003689146	
APELLIDOS Y NOMBRES:	Y	Beltran Cuatin Steven Gonzalo	
DIRECCIÓN:		Ibarra – La Quinta	
EMAIL:		sgbeltranc@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	2511527	TELÉFONO MÓVIL:	0995951140

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ESTUDIO DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA REDUCCIÓN DE PESO EN LA CARROCERÍA DE UN VEHÍCULO URBANO ELÉCTRICO"
AUTOR (ES):	Beltran Cuatin Steven Gonzalo y Terán Posso Edison Fernando
FECHA: DD/MM/AAAA	12/12/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Segovia, MSc

4. 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, a los 12 días del mes de diciembre de 2022

EL AUTOR:

(Firma).....
Nombre: Steven Beltrán

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación quiero dedicarlo a Dios que ha guiado este camino dándome fortaleza; a mis familiares que siempre están a mi lado brindándome cariño y el apoyo incondicional para lograr cumplir esta meta y convertirme en una mejor persona.

Edison Fernando Terán Poso

Agradeciendo a Dios en primer lugar por brindarme la salud y la sabiduría para poder salir adelante y ser una persona de bien y poder alcanzar todos mis objetivos planteados.

El presente trabajo de grado está dedicado con mucho cariño a todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional en todo momento y creyeron en mí, dedicado de manera especial a mis padres Gonzalo Beltran y María Cecilia que me apoyaron en toda mi preparación académica y nunca desmayaron hasta poder lograr mi título universitario y me siento muy privilegiado en ser su hijo y todo lo que soy es por mis padres y me faltará vida para darles agradecerles todo lo que han hecho por mí, son los mejores papás.

Steven Gonzalo Beltrán Cuatín

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y la virgen del Quinche por todas las bendiciones recibidas que me dan la capacidad para cumplir mis metas.

A mi madre Silvia Posso por estar apoyándome en cada etapa de mi vida con su amor desinteresado, su confianza en mí, llevándome por el camino del bien y que a logrado que culmine mi carrera universitaria para bien de toda la sociedad.

A mi abuelita Inés Cadena y a mi tía Anita Posso gracias que me llenaron de cuidados y amor a lo largo de mi vida. A mi hermana Silvia Terán, mi cuñado David Pabón y mi sobrino Alan Acosta por sus consejos ánimos y ocurrencias que han sido fundamental para mi formación.

A la Universidad Técnica del Norte mi imperecedera gratitud porque en este tiempo a sido el mejor templo del saber entregándome toda la instrucción y educación necesaria para convertirme en un profesional digno de representar a esta magna institución.

Al Ingeniero Carlos Segovia brillante docente y tutor del presente trabajo por su magistral guía; así mismo a todo el personal docente y administrativo que conforman la carrea de Ingeniería Automotriz.

Para mis asesores Ing. Fausto Tapia MSc e Ing. Ramiro Rosero MSc mi sentimiento de gratitud y respeto por los conocimientos, recomendaciones y sugerencias que me fueron entregados para la culminación de este proyecto.

A mis amigos y compañeros todo mi agradecimiento y mi cariño porque en el diario compartir esta vida universitaria, se formó un vínculo de amistad y compañerismo para juntos alcanzar un sueño.

Edison Fernando Terán Poso

AGRADECIMIENTO

Dios siempre estará presente en primeras instancias ante cualquier alegría en mi vida ya que me siento bendecido por Dios y la Virgen del Quinche ya que me han brindado la calma y sabiduría para poder salir adelante con mucha fe y nunca desistir en mis objetivos.

A mi querida madre María Cecilia, gracias a su apoyo incondicional como madre siempre me a sabido guiar de manera correcta para ser una persona correcta y siempre tener la frente en alto, gracias por los consejos, las enseñanzas y los llamados de atención, todo lo que soy se lo debo en gran parte a mi madre.

A mi querido padre Gonzalo Beltran, gracias sus consejos me a ensañado que la vida no es fácil pero que todo se puede lograr con esfuerzo, gracias por enseñarme valores y por apoyarme moral y económicamente a pesar de las dificultades que se a presentado a lo largo del camino.

A mis hermanas, gracias por sus enseñanzas en todo el proceso académico ya que sin sus tutorías y su buena voluntad en enseñarme hemos podido llegar hasta el final.

A mi querida abuela, gracias por todo ya que siempre a sido como mi segunda madre y poder darle la satisfacción de verme graduado ya que es el sueño de ella también.

Agradecido con la Universidad Técnica del Norte y los docentes de la carrera Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, agradecido por todos sus conocimientos impartidos en las aulas ya que sin su apoyo el desarrollo de este proyecto no hubiera sido posible.

Steven Gonzalo Beltrán Cuatin

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
INTRODUCCIÓN	xi
CAPITULO I	1
1.REVISION BIBLIOGRAFICA	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Justificación	1
1.3 Alcance	3
1.4 Antecedentes	3
1.5 La carrocería	4
1.5.1 Paneles del vehículo	5
1.5.2 Tipos de carrocerías y bastidores	5
1.6 Ingeniería de materiales	6
1.7 Materiales utilizados en carrocerías	6
1.7.1 Polímeros	7
1.8 Material de la carrocería del renault twizy	7
1.8.1 Acrilonitrilo butadieno estireno (abs)	7
1.9 Propiedades de los materiales	9
1.10 Selección de los materiales	9
1.11 Materiales compuestos	10
1.11.1 Componentes de los materiales compuestos	10
1.11.2 Clasificación de materiales compuestos	11
1.11.2.1 Refuerzo de Fibras	11
1.12 Matrices y refuerzos	12
1.12.1 Unión y falla	12
1.12.2 Refuerzo con fibras	12
1.13 Fibras	13
1.13.1 Orientación de las fibras	13
1.13.2 Tipos de fibras	14
1.13.2.1 Fibras vegetales	14
1.14 Fibra de cabuya	15
1.14.1 Características	15
1.14.2 Composición química	15
1.14.3 Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya	16
1.15 Resina epóxica	17
1.15.1 Aplicaciones	17
1.16 Caracterizacion de materiales compuestos	17
1.17 Análisis de impacto	18
CAPITULO II	20
2. MATERIALES Y METODOS	20
2.1 Tipo de metodología	20
2.1.1 Metodología a utilizar	21
2.2 Materiales y equipos	21
2.2.1 Equipos	21

2.2.1.1	Mesa de medición	21
2.2.1.2	Balanza electrónica	22
2.2.2.1	Calibrador	23
2.2.2.2	Pistola de silicón	23
2.2.2.3	Pistola de calor	24
2.2.2	Herramientas	24
2.2.3	Materiales	25
2.2.3.1	Fibra de cabuya	25
2.2.3.2	Resina epóxica	26
2.2.3.3	Plumbagina	27
2.2.3.4	Vaselina	27
2.2.3.5	Resina poliéster	28
2.2.3.6	Fibra de vidrio	28
2.2.3.7	Láminas de cartón	29
2.3	Selección del mejor material compuesto	29
2.4	Procedimiento	33
2.4.1	Modelo original del guardapolvo	34
2.4.2	Modelado del guardapolvo en 3d/cad	34
2.4.3	Proceso de malladao para analisis mef	35
2.4.3.1	LS – PrePost	36
2.4.3.2	Malla tipo Shell	37
2.4.3.3	Jacobian Ratio	38
2.4.4	Material compuesto empleado para la simulacion	41
2.4.4.1	Aplicación del material compuesto	42
2.4.5	Análisis por el método de elementos finitos	42
2.4.5.1	Control de energía de Hourglass	44
CAPÍTULO III		46
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN		46
3.1	Resultados de la fabricación	46
3.2	Resultados de la construcción del prototipo	46
3.2.1	Cantidad de resina epoxica y fibra de cabuya usadas	46
3.2.2	Metodología de toma de medidas	47
3.2.3	Delimitación de zona a realizar el contra molde	48
3.2.4	Construcción del molde del guardafango.	49
3.2.5	Mezcla de resina poliéster	49
3.2.6	Metodología de fabricación de prototipo	50
3.2.6.1	Preparación de superficie	50
3.2.6.2	Preparación de materiales	50
3.2.6.3	Armado de contra molde	51
3.2.6.4	Desmoldeo	52
3.2.6.6	Acabados	53
3.2.6.7	Proceso de pintura	53
3.2.6.8	Resultados obtenidos en la construcción del guardapolvo	54
3.2.7	Resultados de comparación	55
3.2.7.1	Definición de los aspectos	56
3.2.7.2	Evaluación	56
3.2.7.3	Escala de rangos que puede depreciarse los valores	56
3.3	Análisis de los aspectos	57
3.3.1	Análisis de la comparación del peso	58

3.3.1.1 Explicación de resultados	59
3.3.1.2 Valoración de las tablas de resultados	59
3.3.1.3 Resultados de los cálculos de los porcentajes obtenidos	59
3.3.1.4 Análisis de costos del prototipo	60
3.3.1.5 Explicación de resultados	61
3.3.1.6 Valoración de las tablas de resultados	61
3.3.1.7 Resultados de los cálculos de los porcentajes obtenidos	61
3.3.2 Costos totales	63
3.3.2.1 Costos de la fabricación del guardapolvo	63
3.3.2.2 Costo total del proyecto	64
3.4 Analisis estructural en solidworks	64
3.4.1 Selección del material	66
3.4.2 Cargas externas	66
3.4.3 Asesor de sujeciones	68
3.4.4 Generación de malla	69
3.4.5 Resultado de análisis estructural en solidwork	70
3.4.6 Desplazamiento	71
3.4.7 Deformación	71
3.5 Resultados de simulación	72
3.5.1 Fibra de cabuya	72
3.5.2 Abs	77
3.6 Análisis y discusión de resultados	81
3.6.1 Energía interna vs energía total	81
3.6.2 Esfuerzo de von mises	82
3.6.3 Deformación plástica efectiva	84
3.6.4 Deformación general	85
3.7 Comparacion de resultados finales	86
3.7.1 Pesaje de los guardafangos	86
3.7.2 Otros materiales para utilizar en el guardafango	87
3.7.2.1 Proceso	88
3.7.2.2 Resultados	91
3.8 Resultados de la comparación de materiales compuestos.	92
3.8.1 Comparación entre la fibra de cabuya y la fibra de coco	92
3.8.1.1 Explicación de resultados	93
3.8.1.2 Valoración de las tablas de resultados	93
3.8.1.3 Resultados de los cálculos de los porcentajes obtenidos	93
3.9 Validación de la simulación	94
CAPÍTULO IV	97
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	97
4.1 Conclusiones	97
4.2 Recomendaciones	98
BIBLIOGRAFÍA	99

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA NÚM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Propiedades Físico-Mecánicas del ABS	8
1.2	Composición química de la fibra de cabuya	16
1.3	Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya	16
1.4	Compilación de caracterizaciones de materiales compuestos	18
2.1	Equipos utilizados	21
2.2	Herramientas utilizadas	25
2.3	Materiales utilizados	25
2.4	Recopilación de materiales compuestos	30
2.5	Factores para la elección del material compuesto	30
2.6	Rango de ponderación	30
2.7	Ponderación a los diferentes esfuerzos	31
2.8	Procedimiento de multiplicación	31
2.9	Resultado de la multiplicación de los porcentajes	32
2.10	Procedimiento de sumatoria	33
2.11	Resultado de la sumatoria con el rango de ponderación	33
3.1	Resina epóxica utilizada.	47
3.2	Fibra de cabuya utilizada.	47
3.3	Medidas del guardapolvo	48
3.4	Aspectos principales de comparación del guardapolvo	55
3.5	Aspectos del guardapolvo	56
3.6	Valores y porcentajes de evaluación	56
3.7	Rangos de depreciación	56
3.8	Valores de la masa del guardapolvo dividido en 4 rangos	58
3.9	Resultados de la calificación de los guardapolvos	59
3.10	Valores del costo del guardafango dividido en 4 rangos	61
3.11	Resultados de la calificación de los guardafangos	61
3.12	Costos para la construcción del guardapolvo	63
3.13	Costos totales	64
3.14	Comparación de resultado	86
3.15	Peso de los guardafangos	87
3.16	Resultado de los materiales alternos	91
3.17	Compilación de caracterizaciones de materiales compuestos	92
3.18	Valores de las dos caracterizaciones dividido en 4 rangos	92
3.19	Resultados de las dos caracterizaciones	93
3.20	Comparación de resultado	96

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA NÚM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.1	Estructura del ABS	8
1.2	Composición básica de un material reforzado con fibra	11
1.3	Orientación de refuerzo en un material compuesto	14
2.1	Mesa de medición	22
2.2	Balanza electrónica	22
2.3	Pistola de silicón	23
2.4	Pistola de calor	24
2.5	Fibra de cabuya	26
2.6	Resina epóxica	26
2.7	Plumbagina	27
2.8	Vaselina	28
2.9	Fibra de vidrio	29
2.10	Modelado 3D del guardapolvo diseñado en SolidWorks	34
2.11	Vistas en 2D del guardapolvo del vehículo Renault Twizy	35
2.12	Proceso de generación de malla	35
2.13	Importación del modelado CAD al software Ls-PrePost	36
2.14	Mallado del guardafango	37
2.15	Elementos triangulo (3 nodos), cuadriláteros (4 nodos)	37
2.16	Jacobian Ratio para triángulos	38
2.17	Jacobian Ratio para cuadriláteros	38
2.18	Número de elementos y nodos	39
2.19	Mallado con calidad Jacobiana	40
2.20	Espesor del guardapolvo	40
2.21	Curva esfuerzo vs deformación del material compuesto	41
2.22	Carta de control para la asignación del material compuesto	42
2.23	Proceso para análisis MEF	42
2.24	Set de partes	43
2.25	Velocidad de colisión	43
2.26	Contacto entre elementos	44
2.27	Hourglass	45
3.1	Toma de medidas	48
3.2	Delimitación con cartón	48
3.3	Contra molde	49
3.4	Preparación de la superficie	50
3.5	Molde del guardafango	52
3.6	Desmoldeo	52
3.7	Acabados	53
3.8	Proceso de pintura	54
3.9	Resultado	54
3.10	Resultado	55
3.11	Peso de los dos guardafangos	58
3.12	Resultados de los porcentajes de ambos guardapolvos	60
3.13	Resultados de los porcentajes de ambos guardapolvos	62

3.14	Guardapolvo CAD	65
3.15	Selección de material	66
3.16	Cargas Externas	67
3.17	Geometría fija	68
3.18	Aplicación de malla	69
3.19	Tensión	70
3.20	Desplazamiento	71
3.21	Deformación	72
3.22	Resultados de simulación – Material Fibra de Cabuya	73
3.23	Balance de Energía.	73
3.24	Esfuerzo de Von Mises – Material Fibra de Cabuya	74
3.25	Flujo de Energía Interna – Material Fibra de Cabuya	75
3.26	Deformación Plástica Efectiva – Material Fibra de Cabuya	75
3.27	Desplazamiento en X – Material Fibra de Cabuya	76
3.28	Resultados de simulación – Material ABS	77
3.29	Balance de Energías	77
3.30	Esfuerzo de Von Mises – ABS	78
3.31	Flujo de Energía Interna – ABS	79
3.32	Deformación Plástica Efectiva – Material ABS	79
3.33	Desplazamiento en X – Material ABS	80
3.34	Flujo de Energía Interna – 2 simulaciones	81
3.35	Porcentaje de Energía Interna – 2 simulaciones	82
3.36	Esfuerzo de Von Mises – 2 simulaciones	83
3.37	Effective Plastic Stran – 2 simulaciones	84
3.38	Desplazamiento en X – 2 simulaciones	85
3.39	Densidad de materiales	87
3.40	Resultados de los porcentajes de las dos fibras caracterizadas	94
3.41	Resultado de la simulación	95
3.42	Ensayo	95

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO NÚM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
1.	Vistas en solid works	105
2.	Medidas de la parte exterior del guardapolvo	106
3.	Medidas de la parte exterior del guardapolvo	107
4.	Cepillado de la fibra de cabuya	108
5.	Orientación de las fibras	109
6.	Resultado final	110
7.	Acabados	111

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN NÚM	DESCRIPCIÓN	PÁGINA
2.1	Resultado de Porcentaje	32
2.2	Resultado sumatoria	¡Error! Marcador no definido.
3.1	Porcentaje obtenido del guardafaros construido	57
3.2	Porcentaje obtenido del guardafaros construido	57
3.3	Sistema internacional de unidades	67
3.4	Aceleración	67
3.5	Fuerza	68
3.6	Control de energía de hourglass	¡Error! Marcador no definido.
3.7	Deformación del guardafango	76
3.8	Densidad	89

RESUMEN

El presente proyecto de titulación: “Determinación de un material que permita la reducción de peso en un elemento de la carrocería de un vehículo urbano Renault Twizy; muestra una recopilación de información con la finalidad realizar la comparativa entre los distintos tipos de fibras vegetales, en los cuales se evaluaron algunos aspectos indispensables como: la composición química, propiedades mecánicas, la facilidad para la extracción de la fibra. Teniendo algunas opciones de fibras vegetales que fueron: fibra de coco, fibra de piña, fibra de cabuya y fibra de caña de azúcar. Después de investigar en algunas tesis de caracterizaciones ya realizadas, se pudo finalmente elegir la fibra de cabuya como la más idónea para realizar la mezcla con resina epóxica; crear un material que sea resistente, liviano para la construcción del elemento de la carrocería del vehículo Renault Twizy. Los vehículos eléctricos en la actualidad son una de las mejores opciones a la hora de cuidar al medio ambiente; son silenciosos, más eficaces. Los materiales utilizados para la construcción de los vehículos eléctricos son resistentes y están muy posicionados en el mercado automotriz, sin embargo, existen materiales compuestos que nos brindan cierta similitud en propiedades, características y aplicaciones, de las cuales se trata en el presente trabajo de grado. Este trabajo tiene como objetivo principal determinar el material compuesto que permita la reducción de peso en un elemento de la carrocería del vehículo urbano eléctrico monoplaza Renault Twizy; hay muchos factores por mencionar, pero uno de los más importantes del presente proyecto es el diseño y construcción del guardapolvo del vehículo antes mencionado con ayuda de los programas CAD y CAE los cuales son: Solid Works y Ansys. Con ayuda de estos softwares computacionales se preparó y validó el modelo con la asignación del material como es la fibra de cabuya y al finalizar la simulación de impacto ante un simulador de pierna de elementos finitos, donde se pudo observar la deformación del mismo después de los 25 ms de ensayo computacional y la comparativa con los mismos aspectos anteriormente mencionados, con el material policarbonato con ayuda del software Ls-Prepost.

Palabra clave: Fibras vegetales, programas CAD y CAE, Fibra de cabuya

ABSTRACT

This degree project: “Determination of a material that allows weight reduction in an element of the bodywork of a Renault Twizy urban vehicle; shows a compilation of information in order to make a comparison between the different types of vegetable fibers, in which some essential aspects were evaluated such as: chemical composition, mechanical properties, ease of fiber extraction. Having some options of vegetable fibers that were: coconut fiber, pineapple fiber, cabuya fiber and sugar cane fiber. After investigating in some theses of characterizations already carried out, it was finally possible to choose the cabuya fiber as the most suitable for mixing with epoxy resin; create a material that is resistant, light for the construction of the bodywork element of the Renault Twizy vehicle. Electric vehicles are currently one of the best options when it comes to caring for the environment; they are silent, more efficient. The materials used for the construction of electric vehicles are resistant and are highly positioned in the automotive market, however, there are composite materials that provide us with a certain similarity in properties, characteristics and applications, which are discussed in this degree work. The main objective of this work is to determine the composite material that allows weight reduction in an element of the bodywork of the single-seater electric urban vehicle Renault Twizy; There are many factors to mention, but one of the most important in this project is the design and construction of the aforementioned vehicle dust cover with the help of CAD and CAE programs, which are: Solid Works and Ansys. With the help of these computational softwares, the model was prepared and validated with the assignment of the material such as the cabuya fiber and at the end of the impact simulation before a finite element leg simulator, where the deformation of the same could be observed after the 25 ms of computational test and the comparison with the same aspects mentioned above, with the polycarbonate material with the help of the Ls-Prepost software.

Key word: Vegetable fibers, CAD and CAE programs, Cabuya fiber

INTRODUCCIÓN

Los paneles de la carrocería cumplen una función muy importante en el vehículo ya que son los encargados de brindar la seguridad necesaria a todos los ocupantes del vehículo, eficiencia aerodinámica, confort, estética, proteger componentes eléctricos y electrónicos entre otros. Las primeras carrocerías en fabricarse eran empleadas en los carruajes de madera que datan de los años 1770, desde entonces los paneles de la carrocería fueron evolucionando considerablemente hasta obtener nuevos materiales como lo son el acero, el aluminio, aleaciones y fibras naturales.

Los materiales compuestos en la industria automotriz cumplen un rol muy fundamental porque las propiedades que ofrecen pueden llegar a ser muy similares al material original, con ayuda de los materiales compuestos se puede elaborar componentes auxiliares y estructuras no muy industrializados, una de las ventajas principales que pueden presentar los materiales compuestos es la reducción de peso en la carrocería y de esta manera se aumentaría la autonomía de cualquier tipo de vehículo y el consumo sería menor, un aspecto muy importante a tomar en cuenta es la contaminación ambiental ya que en la industria automotriz los polímeros están presentes en la gran mayoría de los vehículos sea en paneles, tablero de instrumentos, autopartes, etc, todos los componentes al ser desechos no biodegradables se convierten en un grave problema ambiental.

El proyecto está enfocado en el análisis de materiales compuestos destinados a los paneles de la carrocería mediante el método de elementos finitos que sirve para la generación del mallado en todo el guardapolvo, se construye en modelo CAD donde se detalla todo el guardapolvo con información del material y características que proporciona el fabricante, se realiza una comparación de su resistencia estructural y validar los resultados obtenidos mediante software CAE. Para la elaboración del guardapolvo del vehículo eléctrico monoplaza Renault Twizy se utilizó como matriz fibra de cabuya en un 60% y la resina epóxica como refuerzo en un 40%, estas fracciones volumétricas serán utilizadas para la elaboración del guardapolvo.

CAPITULO I

1. REVISION BIBLIOGRAFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar el material compuesto que permita la reducción de peso en un elemento de la carrocería del vehículo urbano eléctrico monoplace Renault Twizy.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación bibliográfica de materiales compuestos ya caracterizados que permitan la reducción de peso en el vehículo eléctrico monoplace Renault Twizy.
- Diseñar el prototipo mediante la utilización de software CAD con el fin de iniciar el proceso de simulación de elementos finitos.
- Simular condiciones de choque frontal del guardapolvo fabricado con el material más idóneo mediante el uso de software CAE.
- Fabricar el guardafango del vehículo eléctrico y validar el material compuesto seleccionado para poder determinar si es viable o no el uso de materiales compuestos en paneles de la carrocería.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El hombre empeñado en innovar la tecnología en todos los ámbitos de la actividad humana, el área de la movilidad tiene una gran ambición desde hace algunos años atrás como es la creación del auto eléctrico que sea idóneo y capaz de competir con los actuales modelos de coches a combustión. Se trata de lograr un modelo con carrocería liviana, que brinde

seguridad, rendimiento y confianza, para pensar en reemplazar los modelos a gasolina o Diesel.

La carta magna del Ecuador, a través los objetivos nacionales de desarrollo para el plan nacional del buen vivir sustenta la investigación ya que la diversificación de los coches eléctricos lograría desde el campo de la movilidad cumplir el objetivo # 11: “Conservar, restaurar, proteger y hacer un uso sostenible de los recursos naturales”, hace referencia a incentivar la producción y el consumo ambiental responsable, con base en los principios de la economía circular y bio-economía, fomentando el reciclaje y combatiendo la obsolescencia programada (Plan de Creación de Oportunidades, 2021-2025).

De la misma forma el cambio de la matriz energética es fundamental en este proyecto por lo que se ha tomado el objetivo #12: “Fomentar modelos de desarrollo sostenibles aplicando medidas de adaptación y mitigación al cambio climático”, hace referencia a optimizar la matriz energética diversificada de manera eficiente, sostenible y soberana, como eje de transformación productiva y social ya que la implementación de los coches eléctricos a gran escala determinará que se diversifique la utilización de los recursos energéticos de una manera más sostenible es decir se disminuiría la explotación indiscriminada del petróleo (Plan de Creación de Oportunidades, 2021-2025).

El reto más importante es encontrar el material idóneo para disminuir el peso, manteniendo la resistencia del vehículo. Tomando en cuenta que la batería tiene que ser de gran capacidad que eleve la eficiencia y como se conoce éste es un aspecto que incrementa el peso total del automotor. Por lo tanto, se cree que al utilizar resina epoxi con refuerzo de fibra de cabuya se lograría un material compuesto óptimo para la reducción de peso en los paneles de la carrocería y consecuente en la fabricación del guardapolvo. En Ecuador hay muy pocos coches eléctricos porque no se tiene confianza en el uso de estos vehículos debido a la limitada cantidad de estaciones de carga a nivel nacional, falta de conocimiento para el mantenimiento de estos, los altos costos de las baterías y especialmente la baja autonomía en ciudades por todos estos factores negativos en Latinoamérica los vehículos eléctricos aun no tienen una buena aceptación, pero poco a poco estos vehículos eléctricos van entrando al mercado.

1.3 ALCANCE

En el desarrollo del proyecto para la reducción de peso en un elemento de la carrocería del vehículo urbano eléctrico monoplaza Renault Twizy, surge la necesidad de buscar un material compuesto que sea ligero y de cuerpo rígido con la finalidad de que sea funcional y estético bajo las condiciones a las que estará sometido el vehículo.

El estudio se enfocará en una investigación bibliográfica de diferentes materiales compuestos ya caracterizados con el fin de encontrar la materia prima más idónea para trabajar y que permita la reducción de peso en el vehículo eléctrico. Este estudio se someterá a pruebas de impacto frontal a una velocidad referencial de 40 km/h. Se utilizará el software de diseño SolidWorks para realizar el modelado del guardafango y para la simulación de impacto entre el material elegido y un simulador de pierna de elemento finitos se realizará en el software LS-Dyna en su versión estudiantil para comprobar experimentalmente el valor máximo que puede fallar el material compuesto. La selección del material compuestos permitirá la fabricación artesanal del guardafango que corresponde al vehículo urbano eléctrico Renault Twizy y poder determinar si es viable o no el elemento que será fabricado.

1.4 ANTECEDENTES

En la Universidad Internacional se realizó una investigación donde afirma que una de las principales combinaciones de materiales compuestos es aquellos reforzados con fibras naturales ya que presentan excelentes propiedades mecánicas como resistencia a la tracción y módulo de flexión elevado una vez fabricados, partiendo de elementos bases de baja densidad tanto en la matriz y la fibra (Pucha Tambo, 2018, p. 33)

Un estudio realizado en la Universidad Técnica de Ambato, sobre la fibra de piña mezclada con la resina epóxica dio como resultado la construcción de asientos deportivos siendo estéticos a la vista y cómodos al tacto donde se obtuvo un mejor resultado cuando el porcentaje de la mezcla es 70% resina epóxica como matriz y 30% de fibra de piña como refuerzo, la fabricación de las butacas deportivas fue de manera artesanal (Jácome León, 2015, p. 68).

La selección de un buen material para manufacturar la carrocería es un factor importante para un vehículo monoplaza, ya que el material seleccionado debe ser resistente al paso del tiempo y lo menos pesado posible de esta manera poder aprovechar la potencia del motor y que su autonomía. Para la selección de un buen material se establecen ciertos criterios como: densidad, resistencia compresiva, rigidez, costo, conductividad (Morocho Granda, 2018, p. 3). Un proyecto de investigación el cual fue realizado en la Escuela Superior Politécnica del Ejército en el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica de la ciudad de Latacunga en el año 2015 data que se diseñó y construyó con estructura tubular una carrocería en fibra de vidrio y acrílico, donde se priorizo cumplir con todos los parámetros establecidos en la forma del diseño del bastidor y ser seguro para los ocupantes. También se utiliza otro tipo de materiales como es el aluminio el cual es ligero, reciclable e inoxidable, otro material el cual es muy utilizado hasta la actualidad son los polímeros los cuales son fáciles de moldear, ligeros, resistentes y tienen una gran flexibilidad, la fibra de vidrio es un buen aislante térmico, soporta altas temperaturas, es moldeable y de bajo costo, la fibra de carbono que paulatinamente se ha incorporado a los moldes de alta gama posee una alta resistencia mecánica, peso ligero, excelente tenacidad, resistencia a la corrosión, y una gran flexibilidad (Arteaga Edison, 2015, p. 26).

El acero es un material muy utilizado para la fabricación de carrocerías o chapa metálica ya que tiene una gran rigidez, resistencia, fácil mecanizado y además admite tratamientos para mejorar sus propiedades y es un material con un bajo costo económico (Guevara Tituaña, 2015), un proyecto realizado en la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, construyeron una carrocería utilizando medidas de seguridad industrial con el buen manejo de herramientas y maquinaria, se procede a la construcción de un bastidor tipo tubular y la carrocería en fibra de vidrio, éste último material ayudaría a reducir el peso en la carrocería y lograr de esta manera que el vehículo tenga más autonomía (Cunalata Carlos, 2014, p. 2).

1.5 LA CARROCERÍA

Se define a la carrocería como un contenedor encargado de alojar a los ocupantes, mercancía y cargas útiles, durante el transcurso de desplazamiento del automóvil, la carrocería puede ir sobre el bastidor del chasis o combinarse con el cómo en los automóviles

modernos. La estructura de la carrocería incluye el bastidor del chasis y la carrocería, el bastidor es el encargado de soportar todos los componentes mecánicos los que son, motor, transmisión, suspensión y sistema de dirección (López Iván, 2014, p. 7). La funcionalidad de la carrocería también es brindar la seguridad requerida a todos los ocupantes del vehículo de agentes naturales externos como son la lluvia, el sol, el polvo, el viento, los insectos, entre otros. Todos los elementos de la carrocería deben estar fabricados de materiales resistentes y de buena calidad ya que de eso dependerá su longevidad y resistencia, el buen mantenimiento del vehículo es un aspecto importante ya que si la pintura de la carrocería se mantiene en buen estado los paneles de la carrocería llegarían a durar más.

1.5.1 PANELES DEL VEHÍCULO

Los paneles exteriores son de gran importancia al momento de fabricar un vehículo ya que son los encargados de brindar seguridad activa y pasiva a los ocupantes, cubrir componentes eléctricos y brindar estética al vehículo. Los paneles también están encargados en la aerodinámica ya que es fundamental para minimizar la resistencia al viento y redirigir el aire de manera óptima, la superficie de los paneles puede ayudar a transmitir la intención del modelo del vehículo, para estos acabados influyen el proceso de producción como el lijado, el pulido, el revestimiento y la pintura. La carrocería en un vehículo se puede diferenciar según forma estos pueden ser sedan, coupé, hatchback, suv, entre otros, esto conlleva a que los paneles son indispensables en la fabricación de vehículos y pueden llegar a hacer de diferentes materiales como lo son el aluminio, polímeros, etc.

1.5.2 TIPOS DE CARROCERÍAS Y BASTIDORES

Uno de los principales elementos del vehículo es la carrocería que forma parte del sistema de seguridad y confort a los ocupantes, los distintos tipos de carrocería empleados según su tipo de construcción son carrocería con chasis separada, carrocería con plataforma separada, carrocería monocasco y carrocería autoportante, ésta última es la más utilizada en la actualidad y se explica a continuación, en la actualidad este tipo de carrocería es la más utilizada por ofrecer varias ventajas entre ellas la reducción de peso, flexibilidad y bajo costo,

es un sistema compacto donde el bastidor está acoplado a la carrocería. Se clasifican en autoportante unida por soldadura y autoportante con elementos desmontables. La carrocería autoportante se trata de un conjunto de piezas unidas mediante soldadura que crean la estructura completa del automóvil.

1.6 INGENIERÍA DE MATERIALES

La ciencia e ingeniería de materiales, es la encargada de estudiar y manipular la composición y la estructura de los materiales mediante escalas de longitud, de esta manera se podrá controlar las propiedades de los materiales a estudiar a través de la síntesis y el procesamiento, en la actualidad gracias a la investigación y desarrollo de nuevos programas existe la posibilidad de crear nuevos materiales y el procesamiento y producción de estos materiales constituyen una fracción muy importante en la economía actual.

Al referirnos a Ingeniería de materiales está orientado en como convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles. La ingeniería de materiales tiene como objetivo primordial analizar lo perjudicial que podría llegar hacer para el medio ambiente la creación e implementación de un nuevo material, por esta razón se realizan estudios donde se busca determinar que los materiales sean amigables con el medio ambiente, y que el nuevo material presente propiedades similares o mejores al original (Askeland Donald, 2002, p. 4).

1.7 MATERIALES UTILIZADOS EN CARROCERÍAS

En la actualidad los materiales utilizados para la fabricación de carrocerías son varios, esto se debe a que cada material empleado tiene sus ventajas y desventajas, la elección adecuada dependerá del tipo de carrocería a construirse y donde el material será aprovechado al máximo, por esta razón es habitual hallar elementos combinados de diferente naturaleza (Beltran Gabriel, 2016, p. 9). La manera óptima para fabricar un vehículo depende de varios factores como la reducción de peso, alta resistencia, seguridad y confort, entre los materiales más usados para paneles de carrocería son aluminio, aleaciones de acero y los polímeros.

1.7.1 POLÍMEROS

Se define como polímeros a la unión de cientos de miles de moléculas muy pequeñas llamadas monómeros que son las encargadas de constituir enormes cadenas de las formas más diversas, la unión de todos los monómeros en un determinado elemento se conoce como polimerización. Los polímeros son utilizados con gran frecuencia en los acabados interiores y exteriores de un vehículo por su bajo peso, la resistencia a la oxidación, bajo precio, duradero y fácil de moldear. Son empleados en piezas como el tablero de instrumentos, manijas, rejillas, faros, molduras, parachoques, entre otros, llegando a representar hasta el 45% de la fabricación de los vehículos (Herrera Mónica, 2015, p. 34). Los termoplásticos, es un material que al estar sometido a altas temperaturas se funde y se vuelve deformable lo que facilita que pueda ser moldeado en diferentes formas y cuando es sometidos a bajas temperaturas se endurece tomando la forma que se le ha dado. La mayor parte de los plásticos que se utilizan en la actualidad pertenecen a los termoplásticos.

1.8 MATERIAL DE LA CARROCERÍA DEL RENAULT TWIZY

Todos los revestimientos exteriores e interiores del monoplaza son de materiales varios polímeros duros y resistentes, en su gran mayoría se presume que los paneles del vehículo están fabricados del material plástico acrilonitrilo butadieno estireno ABS que es uno de los materiales más popular en la industria automotriz siendo resistente liviano cumpliendo todos los requerimientos para su uso (Montes Juan, 2019, p. 21).

1.8.1 ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)

El ABS es un plástico muy utilizado en la industria automotriz y la obtención de este polímero es más complejo que los plásticos comunes ya que posee una buena resistencia mecánica, resistencia al impacto y facilidad para el procesado, para tener ese conjunto de propiedades deseadas es gracias a que logra combinar tres monómeros los cuales son el acrilonitrilo, butadieno y estireno. Al ser un material que está formado por tres monómeros se lo conoce también como terpolímero.

Las propiedades que tiene el ABS son gracias a las características que posee cada uno de los monómeros que lo conforman en primer lugar, el acrilonitrilo le otorga rigidez y dureza, resistencia a ataques químicos, resistencia térmica, resistencia a la fatiga, el segundo lugar está el butadieno que otorga ductilidad a baja temperatura, resistencia al impacto, resistencia a la fusión, en tercer lugar está el estireno que otorga facilidad de procesamiento, brillo, dureza y rigidez. El ABS es un plástico de ingeniería perteneciente a la familia termoplásticos, es un material idóneo para piezas automotrices por sus propiedades equilibradas y estables logrando combinar la resistencia al impacto y la resistencia a la tracción, además de ser un elemento liviano (Ojeda Mariano, 2011, p. 1). En la Tabla 1.1 se representa las propiedades físico-mecánicas del ABS, donde se puede observar el módulo elástico, resistencia a la tracción, entre otros:

Tabla 1.1 Propiedades Físico-Mecánicas del ABS

Módulo elástico	1.1-2.9 Gpa
Coefficiente de Poisson	0,391-0,422
Resistencia mecánica a la compresión	31-86,2 Mpa
Resistencia mecánica a la Flexión	47,8-76Mpa
Resistencia mecánica a la tracción	27,6-55,2 Mpa
Temperatura de transición vítrea	87,9-118°C
Temperatura de fusión	200-245 °C

Fuente: (Pacheco Gustavo, 2019, p. 14)

En la industria automotriz el ABS es muy utilizado para la fabricación de paneles de carrocería, consolas, tablero de instrumentos, persianas. En el vehículo Renault Twizy el material ABS es utilizado en el interior como el exterior de la carrocería, ya que al ser un material fuerte y liviano es el idóneo para la fabricación de la carrocería.

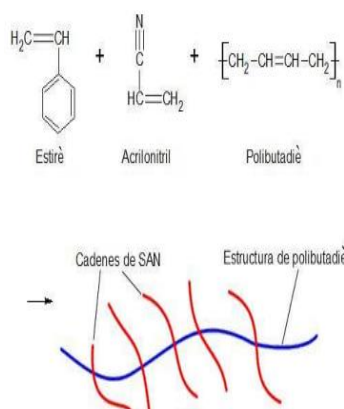


Figura 1.1 Estructura del ABS
(Mariano, 2011, pág. 1)

En la Figura 1.1 se indica la estructura del ABS que está comprendida en primer lugar por una mezcla de copolímero vítreo (estireno-acrilonitrilo), segundo el polímero de butadieno que es un compuesto elástico. La fase elastómera del polibutadieno está inmersa en el interior de la matriz rígida y dura de SAN.

1.9 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las propiedades de los materiales se clasifican en categorías las cuales son mecánicas y físicas. Las propiedades mecánicas son descritas dependiendo de la forma en que el material responde a una fuerza que se le aplica, que puede incluir la resistencia, la rigidez y ductilidad.

La manera en que se comporta un material al ser expuesto a un golpe repentino e intenso impacto sometido a la aplicación de cargas cíclicas en el tiempo fatiga, expuestos a altas temperaturas termofluencia o sujeto a condiciones abrasivas desgaste las propiedades mecánicas también determinan la facilidad con la que se puede formar un material para llegar una forma útil a menudo cambios estructurales pequeños tienen un efecto profundo sobre las propiedades mecánicas.

Las propiedades físicas las cuales están incluidas con el comportamiento óptico magnético térmico y químico tienen una dependencia directa ya sea en la estructura como en el proceso de un material (Askeland Donald, 2002, p. 2).

1.10 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

En el diseño de un material para un uso determinado se debe tomar en cuenta consideraciones y factores ya que el material debe tener un sinnúmero de propiedades físicas y mecánicas para que se desee su proceso y manufactura óptimo y debe ser una solución a un problema que se está queriendo resolver, es fundamental lograr la satisfacción de estas demandas teniendo en cuenta la protección del entorno y también resaltando el reciclaje de materiales (Marcillo Alexis, 2009, p. 14).

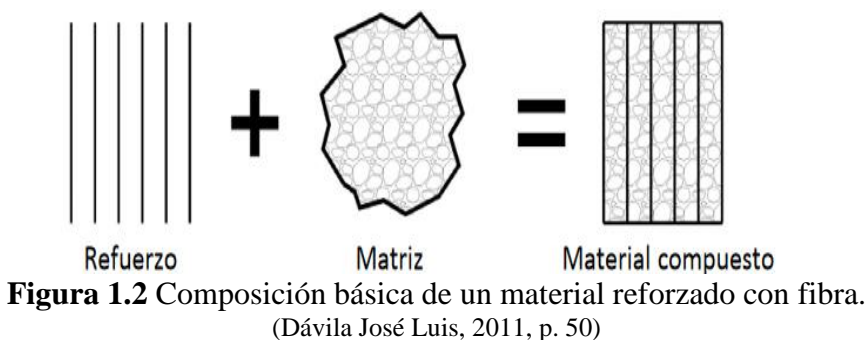
1.11 MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos se definen como la unión de dos o más materiales que permitan obtener un nuevo material con propiedades diferentes, con la diferencia en su composición y forma sin tener una reacción química entre ellos, el resultado de esta unión busca un material compuesto que brinde únicas cualidades, las cuales permitan satisfacer necesidades que los materiales constituidos por un solo elemento no logren (Chávez Romel, 2017, p. 5).

Los materiales compuestos se aplican en diversos usos de la ingeniería, debido a esto es necesario encontrar materiales que permitan mejorar las propiedades a cualquier tipo de fibra de origen vegetal al momento de la aplicación, es por ello que al unir dos materiales con diferentes características y propiedades se obtiene un tercer material donde las propiedades de los dos elementos se unen formando un material compuesto, obteniendo mejoras esenciales en sus propiedades físicas, mecánicas y algunas veces se logra obtener características únicas que separados los elementos no logran tener, por este motivo el objetivo de esta investigación es encontrar el mejor material compuesto (Newell James, 2011, p. 27).

1.11.1 COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Se denomina material compuesto aquel que en su constitución tiene múltiples fases; considerando que cada una de ellas juegan un gran papel en el funcionamiento de estos materiales. Se han diseñado los materiales compuestos ya que estos ofrecen características muy propias mismas que los hacen específicos para algunos requerimientos en la industria automotriz, es indispensable considerar exactamente el tipo de componentes, la cantidad proporcional de material, su morfología, distribución, grado de cristalinidad, textura cristalográfica y su interfaz (Pacheco Jorge, 2016, p. 16). La composición de un material compuesto está definida por: matriz y refuerzo, mientras que interfaz es la superficie de conexión se puede agregar también agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, que nos permite mejorar la superficie de la interfaz del compuesto, para aumentar las propiedades del material. Los materiales compuestos ofrecen características muy similares a los originales por esa razón son muy utilizados.



En la Figura 1.2 se indica la composición básica de un material reforzado con fibra, para crear un material compuesto es necesario el refuerzo que es el encargado de dar rigidez y resistencia y la matriz es la encargada de configurar geoméricamente la pieza teniendo como resultado un material compuesto.

1.11.2 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

La clasificación de los materiales compuestos se los puede clasificar principalmente por el tipo de matriz, tipo de refuerzo y según la geometría. En la clasificación por el tipo de matriz existe tres tipos de matrices, la matriz cerámica la cual ofrece una resistencia a altas temperaturas, la matriz polimérica la cual es maleable en condiciones de temperatura normal, su densidad es baja y en costos es económica, la matriz metálica la cual mejora las propiedades mecánicas del material.

En la clasificación por el tipo de refuerzo existe tres tipos, el refuerzo de partículas el cual otorga al material más rigidez y dureza, refuerzo estructural otorga rigidez al material compuesto en volviendo a las fibras y adaptándose geoméricamente al elemento por último está el refuerzo con fibras el cual fue el tipo de refuerzo utilizado en la investigación el cual se detalla a continuación.

1.11.2.1 Refuerzo de Fibras

Los materiales conformados por fibras se han posicionado como los más utilizados, puesto que se logra aumentar la tolerancia adecuada a la fatiga, rigidez y relación peso-

resistencia, gracias a que se juntan una matriz suave y maleable con las fibras más duras y resistentes.

1.12 MATRICES Y REFUERZOS

Al hablar de materiales compuestos hay que entender cómo se relacionan la matriz y el refuerzo. La matriz es la encargada de brindar consistencia y continuidad al material ya que define las propiedades físicas y químicas del material brindando las propiedades que puedan soportar los diferentes ensayos mecánicos a realizarse como ensayo de tracción, flexión e impacto. El refuerzo es el encargado de pulir las características de la matriz otorgando al material características como conductividad eléctrica o aislante, estabilidad térmica entre otros (Jácome León, 2015, p. 20).

1.12.1 UNIÓN Y FALLA

Según (Jácome León, 2015, p. 21), al realizar la mezcla para formar el material compuesto debemos tomar en cuenta que las fibras deben unirse con firmeza a la matriz, si este proceso es débil se corre el riesgo de que las fibras se salgan de la matriz al momento de la carga por esto consecuentemente se disminuye la resistencia a la fractura del material compuesto y puede ser no tan beneficioso. Una de las propiedades que debe ser tomada en cuenta para la unión de las fibras con una matriz es la similitud de los coeficientes de expansión térmica de los dos materiales. En el caso de que la fibra la fibra natural pueda expandirse y contraerse de manera diferente a la matriz del material compuesto, se podría presentar la ruptura del material, o podría destruirse la unión provocando una falla prematura del material.

1.12.2 REFUERZO CON FIBRAS

Según (Dávila José Luis, 2011, p. 51), indican que, para la obtención de nuevos materiales compuestos se está usando con más frecuencia las fibras naturales junto con materiales

poliméricos, con relación a otros materiales se logra aumentar la resistencia a la fatiga, tenacidad y rigidez, así como la relación peso-resistencia, las fibras deben ser rígidas resistentes y unirse con una matriz más blanda y dúctil. Las fibras reforzadas toleran una mayor carga gracias a que la matriz les transmiten la carga a las fibras y refuerzo ayuda a soportar dichas cargas.

Un material compuesto tiene la característica de ser isotrópico cuando las fibras se disponen en forma aleatoria, por ejemplo, el módulo de Young no es muy sencillo lograr porque casi todos los métodos de fabricación tienden a colocar las fibras en cierta orientación colocando las fibras en forma continua como hojas o láminas para lograr material compuesto anisotrópico.

1.13 FIBRAS

Al referirnos a los materiales compuestos que utilizan refuerzos de fibras, podemos aseverar que adquieren características muy superiores a las que tienen las matrices sin refuerzos, inclusive tendrían mejores propiedades que las mezclas comunes realizadas con metal y plásticos. Estos compuestos con fibras alcanzarían más resistencia debido a su peso, buena resistencia a la fatiga y rigidez aceptable (Ponce Tobar, 2020a, p. 18).

1.13.1 ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS

Al adicionar las fibras a la matriz, la dirección en la que se colocan podría ser de forma aleatoria al introducir las fibras cortas, en cambio las largas deben seguir una sola dirección debido a que así se consigue tener propiedades anisotrópicas con resistencia y rigidez paralelas al resto de fibras. La capa cero la constituyen las fibras que se ponen el refuerzo en la misma dirección del arreglo, consiguiendo muy buenos resultados, pero si reforzamos de manera perpendicular a las fibras los resultados no serán muy adecuados (Vaca & Mazón, 2018, p. 16). Las fibras pueden estar en tres tipos de orientación continuas, discontinuas y alineadas al azar.

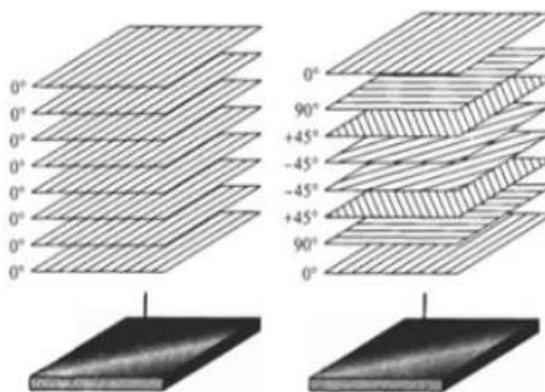


Figura 1.3 Orientación de refuerzo en un material compuesto
(Vaca & Mazón, 2018, p. 16)

En la Figura 1.3 se indica la orientación de las fibras al reforzar con una matriz colocando fibras largas en muchas direcciones que permiten obtener capas desde 0° , 45° y 90° consiguiendo un refuerzo multidireccional.

1.13.2 TIPOS DE FIBRAS

La clasificación de las fibras son de tres tipos fibras convencionales, fibras de origen natural y las fibras de origen orgánico, las fibras naturales se subclasifican en fibras de origen mineral y fibras de origen vegetal, éstas últimas son las más populares y utilizadas en la actualidad ya que son fáciles de obtener y ayudan al cuidado del medio ambiente a través de la reutilización de para crear nuevos materiales.

1.13.2.1 Fibras vegetales

En la estructura microscópica de las fibras naturales se encuentran porciones cristalinas y las que carecen de forma; mismas que forman enlaces fuertes de hidrógeno intramolecular; esto dificulta la penetración de químicos ya que se forma un bloque de celulosa. Pero las porciones amorfas logran absorber con más facilidad colorantes y resinas; así también los Hidroxilos contenidos en estas porciones hacen hidrofílica polar a la fibra, cuya compatibilidad disminuye en relación con las matrices industriales que son hidrofóbicas no polares. Para lograr el material compuesto adecuado es necesario eliminar los grupos hidroxilos, así como también toda impureza de carácter seroso, esto se logra con algunos

tipos de tratamiento de la fibra vegetal antes de unirla con la matriz, entre estos métodos están la mercerización, acetilación y benzoilación (Trejos Juan, 2014, p. 18).

1.14 FIBRA DE CABUYA

La cabuya pertenece al género agave a la familia Furcraea Andina, es una planta con diversos usos y muy abundante en la zona central del Ecuador para la extracción de la fibra es necesario seguir un proceso manual el cual comprende en el despenque, machacado, cocción, secado y claseado. La utilización de fibras naturales en la industria automotriz es para ser más amigable con el medio ambiente incentivando al uso de alternativas de tipo vegetal remplazando de esta manera los materiales comunes que no son biodegradables como lo son el aluminio, polímeros, aleaciones de hierro, entre otros materiales que son perjudiciales para el medio ambiente.

1.14.1 CARACTERÍSTICAS

Según (Pacha Guashco, 2017, p. 14), la fibra de cabuya está dentro del grupo de fibras duras, esto se debe a que sus hojas están estructuradas de fibrillas o fibras elementales de fibras duras, unidas a través de un cemento vegetal que brinda aspereza y rigidez, además sus ejes fibrosos se constituyen en pilares de sostén para los vasos conductores de savia brindando dureza y resistencia, debido a estas funciones se les denomina fibras estructurales, por esta razón esta fibra es muy importante en el desarrollo de esta investigación.

1.14.2 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Al realizar una indagación bibliográfica se llegó a obtener los datos de los elementos constituyentes de la fibra de la cabuya, de la misma manera se identifican las técnicas de cultivo, cosecha y los procesos a los que se somete la fibra para que sea utilizada y otorgue

sus mejores beneficios. En la Tabla 1.2 se muestra los diferentes componentes químicos de la fibra de cabuya

Tabla 1.2 Composición química de la fibra de cabuya

Humedad, ceras y grasas	1.90
Cenizas	0.70
Pentosanos	10.50
Celulosa	73.80
Lignina	11.30
Otros	1.80
TOTAL	100

Fuente: (Paredes Salinas Juan Gilberto, 2017, p. 14)

1.14.3 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA FIBRA DE CABUYA

El elemento celuloso está en la fibra natural y son fibras microscópicas cuya función es darle resistencia a la hidrólisis y evitar la oxidación; la celulosa se combina con la pectina gracias a la hemicelulosa que cubre las microfibrillas. El incremento de dureza de la pared celular se logra por la unión de alcoholes fenilpropílicos misma que forma la Lignina. Según (Velásquez Sandra, 2016, p. 78) con esto la fibra alcanza mucha más resistencia a la flexión e impacto y es una de las fibras más fáciles de adquirir ya que se la puede conseguir en la región central del Ecuador la misma que se usa para alimentar ganado vacuno. En la Tabla 1.3 se muestra las diferentes propiedades mecánicas de la fibra de cabuya.

Tabla 1.3 Propiedades mecánicas de la fibra de cabuya

Propiedades del material	Valor
Densidad (g/mm ³)	2.6e-03
Módulo de elasticidad (MPa)	1540.53
Radio poisson	0.19
Límite de fluencia (MPa)	2.59
Resistencia ultima a la tracción (MPa)	110.07
Deformación unitaria máxima en tracción	0.0714

Fuente: (Paredes Salinas Juan Gilberto, 2017, p. 13)

1.15 RESINA EPÓXICA

Este componente es de gran ayuda al momento de crear nuevos materiales compuestos ya que la resina epóxica no provoca ninguna reacción adversa al instante de su endurecimiento, el uso de esta resina se ha ampliado en aquellas actividades que necesiten un polímero de gran resistencia mecánica. La resina epoxi también se conoce con el nombre de poliepóxidos la cual se encarga de otorgar al material excelentes propiedades mecánicas, dieléctricas, resistencia química y térmica (Mazón Eduardo, 2017, p. 13) sus usos son varios ya que se utiliza en diferentes aplicaciones como en la electricidad para evitar cortocircuitos, en la industria alimentaria para evitar la corrosión en envases metálicos por efecto de algunas frutas ácidas.

1.15.1 APLICACIONES

La resina epóxica es utilizada en su gran mayoría en recubrimientos protectores para otorgar dureza y en decorativos por su excelente adhesión, resistencia química y mecánica. En el campo automotriz esta resina es utilizada para recubrimiento de pintura en automóviles y también para la creación de nuevos materiales compuestos. La industria eléctrica también es muy beneficiada gracias a la implementación de la resina epóxica, ya que como propiedades importantes presenta extremada resistencia dieléctrica, baja contracción durante el curado y facilidad de almacenamiento de sus propiedades con diferentes condiciones en el ambiente (Tecnología de los plásticos, 2011, p. 3).

1.16 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Para la selección del mejor material compuesto se realizó una compilación de diferentes investigaciones y proyectos enfocadas a la caracterización de materiales compuestos relacionadas a la industria automotriz, se pudo investigar una amplia variedad de ensayos experimentales, obteniendo como información las propiedades mecánicas de los distintos materiales lo que permite que esta investigación tenga algunas opciones a elegir y de esta

manera determinar el mejor material a nivel industrial. En la Tabla 1.4 se recopila la información con respecto a la caracterización de diferentes materiales compuestos.

Tabla 1.4 Compilación de caracterizaciones de materiales compuestos

MATRIZ	REFUERZO	ORIENTACIÓN	ESFUERZO MÁXIMO A TRACCIÓN (MPA)	ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN (MPA)	RESISTENCIA MÁXIMO AL IMPACTO (J)
Resina epoxica 60%	Fibra de cabuya 40%	90°- 0°- 90°	63,70	118,73	1,31
Resina epoxica 75%	Fibra de cabuya 25%	90°- 0°- 90°	52,25	118,81	1,53
Resina epoxica 60%	Fibra de caña de azúcar 40%	90°- 0°- 90°	24,54	50,36	1,31
Resina epoxica 75%	Fibra de caña de azúcar 25%	90°- 0°- 90°	24,19	45,77	0,77
Resina epoxica 60%	Fibra de coco 40%	90°- 0°- 90°	97,06	104,35	-
Resina epoxica 75%	Fibra de coco 25%	90°- 0°	67,80	-	0,67
Resina epoxica 70%	Fibra de coco 30%	90°- 0°	-	108,84	
Resina epoxica 75%	Fibra de coco 25%	90°- 0°- 90°	-	-	0,67
Resina poliéster insaturada	Cascarilla de arroz	90°-0°-90°-0°-90°	15,45	0,67	1,26

Fuente: Autores

1.17 ANÁLISIS DE IMPACTO

El análisis se lo realiza mediante la utilización de ensayos virtuales de colisiones, se utilizó el software ANSYS mediante el módulo LS DYNA dicho programa es esencial para

estudios de dinámica explícita donde existe grandes deformaciones en intervalos cortos de tiempo, en Ecuador no existe una normativa donde regule la velocidad para este tipo de ensayos por lo que para poder determinar la velocidad del guardafango nos hemos basado en entidades que realizan pruebas de choque o "Crash Test" en todo tipo de vehículos.

Estas entidades son las encargadas de evaluar el nivel de seguridad que ofrece determinado modelo de vehículo en caso de un siniestro o colisión contra peatones, las principales entidades que realizan estos ensayos son organismos de homologación, fabricantes y organizaciones privadas, el vehículo Renault Twizy tiene una velocidad máxima de 80 km/h, se utilizó esta velocidad como una referencia para esta investigación y se ha establecido al guardafango como objetivo de análisis a una velocidad referencial de 40km/h de impacto contra un elemento rígido (Imbaquingo Rommel, 2018, p. 66).

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y MÉTODOS

INTRODUCCIÓN

El vehículo Renault Twizy gracias a su fácil maniobrabilidad y diseño aerodinámico es muy popular en el mundo automotriz, contando también con una autonomía de 80 km totalmente eléctrico ideal para traslados en distancias cortas y economizar en traslados de cualquier tipo de persona, teniendo en cuenta que la carrocería del vehículo en su mayoría está compuesto por materiales plásticos resistentes y livianos, los paneles de la carrocería del vehículo son fabricados por medio de la inyección de plástico.

Tomando en cuenta la resistencia del material y el peso de este podemos encontrar materiales compuestos que podrían mejorar notablemente la característica físicas y mecánicas de cada una de las partes de los paneles del vehículo. Teniendo en cuenta el tipo de fabricación y la aceptación que tiene el monoplaza en países densamente poblados, se ha seleccionado la cabuya como fibra principal de nuestro material compuesto que será utilizado en la fabricación del guardafango del vehículo en mención. En el presente estudio se aplicó una Investigación bibliográfica en la recolección de elementos teóricos, que cimentaron este trabajo y la investigación de campo.

2.1 TIPO DE METODOLOGÍA

La metodología utilizada en la presente investigación es de tipo bibliográfico y experimental, corresponde a un enfoque de recolección investigativo como lectura de libros, artículos científicos, biblioteca virtual, pruebas de laboratorio, todo lo anteriormente mencionado se lo considera necesario para obtener un vasto conocimiento bibliográfico acerca de materiales compuestos, al momento de obtener el material más idóneo se realizará diferentes propuestas de diseño utilizando algunos programas computacionales que ayudaran de gran manera en el proceso tecnológico como en el físico, logrando así profundizar la investigación.

2.1.1 METODOLOGÍA A UTILIZAR

En el proceso metodológico se realizará mediante un proceso de ponderación, donde se elegirá al material más idóneo y con mejores beneficios para su elaboración. El elemento estructural por fabricarse del vehículo monoplaça es el guardapolvo el mismo que estará sometido a un análisis mediante programas computacionales enfocados a estructuras automotrices.

2.2 MATERIALES Y EQUIPOS

Las herramientas utilizadas para el debido proceso de diseño, elaboración y simulación del guardapolvo son programas computacionales o software específicos con licencia educativa, se utilizará materiales como fibras naturales, resina epoxi, catalizador entre otros.

2.2.1 EQUIPOS

Para el desarrollo y elaboración del guardapolvo se utilizó varios equipos lo cuales fueron de gran utilidad para la investigación y la fabricación del guardapolvo, en la Tabla 2.1 se muestra los equipos utilizados en la presente investigación.

Tabla 2.1 Equipos utilizados

Número	Detalle
1	Mesa de medición
1	Balanza electrónica
1	Calibrador
1	Pistola de silicón
1	Pistola de calor

Fuente: Autores

2.2.1.1 Mesa de medición

Se utilizó una mesa con superficie plana y suficiente espacio para la obtención de medidas para su posterior dimensionamiento y diseño en SolidWorks, este procedimiento fue

indispensable para que el elemento diseñado en el software CAE pueda tener las dimensiones lo más similares al guardapolvo original.



Figura 2.1 Mesa de medición

En la Figura 2.1 se muestra la mesa de medición la cual fue utilizada para obtener las medidas de guardafango original, se utilizó esta mesa porque tiene una superficie plana y uniforme.

2.2.1.2 Balanza electrónica

Es un instrumento de pesaje su funcionamiento se basa en la utilización de sensores y por ayuda de la acción de la gravedad se puede conocer el valor del peso que se deposita encima de la balanza, este equipo es electrónico y debe estar bien calibradas de esta manera pueden llegar a tener una exactitud muy precisa en sus valores.



Figura 2.2 Balanza electrónica

En la Figura 2.2 se muestra la balanza electrónica la cual fue utilizada para poder pesar con mayor exactitud qué cantidad de resina epóxica y catalizador se utilizará ya que en el proceso de fabricación del elemento a fabricarse para tener un buen proceso de fabricación y acabado.

2.2.2.1 Calibrador

Es una herramienta muy utilizada para poder medir longitudes, diámetros exteriores e interiores, espesores y profundidades de una determinada pieza o elemento, posee dos reglas una fija y otra móvil que se acoplan a la medida que se desea saber y permite en ella lecturas fraccionales exactas.

Para este estudio el calibrador o también conocido como pie de rey fue utilizado para una correcta toma de medidas de ancho, largo y profundidad del elemento a fabricarse, de esta manera se asegura un buen dimensionamiento de la pieza a replicar.

2.2.2.2 Pistola de silicón

Es una herramienta que se utiliza para aplicar cantidades de silicona derretida que se inserta en forma de barra sólida y es cilíndrica de varios diámetros de un material copolímetro del acetato del etileno vinilo, esta silicona derretida es calentada por medio de una resistencia caliente.



Figura 2.3 Pistola de silicón

En la Figura 2.3 se indica la utilización de la pistola de silicón la cual fue utilizada para delimitar los bordes del guardafango original y para poder sujetar el cartón para que el mismo se mantenga firme al momento de la fabricación del molde.

2.2.2.3 Pistola de calor

Es una herramienta eléctrica muy utilizada en el campo automotriz, su funcionamiento se basa en succionar aire del exterior y comprimirlo en su interior para después ser liberado a mayor temperatura y presión, la temperatura alcanzada es entre aproximadamente los 100 °C y los 750 °C.



Figura 2.4 Pistola de calor

En la Figura 2.4 Para este estudio la pistola de calor fue utilizada para secar la superficie en todo el proceso de moldeo para que de esta manera la combinación entre resina epóxica y fibra de cabuya tenga un proceso de secado más rápido y poder desarrollar la investigación de la manera más oportuna.

2.2.2 HERRAMIENTAS

En la Tabla 2.2 se muestra los programas computacionales que fueron utilizados para el diseño y simulación del guardafango los cuales son detallados a continuación.

Tabla 2.2 Herramientas utilizadas

Descripción	Software
Software de diseño y modelo CAD 2D	SolidWorks
Software de simulación dinámica - versión estudiantil	LS – DYNA Program Manager
Software de post y pre procesamiento para análisis MEF	LS – PrePosT

Fuente: Autores

2.2.3 MATERIALES

En la Tabla 2.3 se muestra los diferentes materiales utilizados con sus respectivos pesos en kilogramos, se realizó dicho proceso para el buen desarrollo de la investigación los cuales son detallados a continuación.

Tabla 2.3 Materiales utilizados

Cantidad	Materiales
6 kg	Fibra de cabuya
3 kg	Resina Epóxica
1kg	Plumbagina
1kg	Vaselina
3 kg	Resina poliéster
3kg	Fibra de vidrio
-	Láminas de cartón

Fuente: Autores

2.2.3.1 Fibra de cabuya

Esta fibra está dentro del grupo de fibras duras, esto se debe a que sus hojas están estructuradas de fibrillas o fibras elementales de fibras duras, unidas a través de un cemento vegetal que brinda aspereza y rigidez, sus ejes fibrosos se constituyen en pilares de sostén para los vasos conductores de savia brindando dureza y resistencia, debido a estas funciones se les denomina fibras estructurales. Para obtener esta fibra hay que seguir un proceso riguroso de extracción ya que se encuentran en pencas y hay que extraer toda el agua que tienen en su interior.



Figura 2.5 Fibra de cabuya

En la Figura 2.5 se muestra la fibra de cabuya la cual está completamente seca y presenta un color amarillo pálido, por las ventajas de esta fibra es la matriz polimérica utilizada en la elaboración del guardafango.

2.2.3.2 Resina epóxica

Este componente es de gran ayuda al momento de crear nuevos materiales compuestos ya que la resina epóxica no provoca ninguna reacción adversa al instante de su endurecimiento, el uso de esta resina se ha ampliado en aquellas actividades que necesiten un polímero de gran resistencia mecánica



Figura 2.6 Resina epóxica

En la Figura 2.6 se muestra la resina epóxica la cual cumple la función de otorgar al material excelentes propiedades mecánicas, dieléctricas, resistencia química y térmica, además puede ser combinada con cualquier tipo de refuerzo.

2.2.3.3 Plumbagina

Es un tipo de grafito, es un material indispensable para la fabricación del guardapolvo con el material de resina epóxica con fibra de cabuya y se utilizó en el proceso de desmoldeo del elemento, con la ayuda de este material permite que la primera capa de la combinación entre la resina epóxica y la fibra de cabuya no se pegue en la elaboración del molde del guardafango.



Figura 2.7 Plumbagina

En la Figura 2.7 se muestra la plumbagina la cual permite la extracción del elemento sin ningún tipo de riesgo a que se quede pegado en la elaboración del molde del guardafango.

2.2.3.4 Vaselina

La vaselina industrial es muy utilizada para lubricar maquinaria o instalaciones que requieran un mantenimiento predictivo y preventivo, es muy útil para la lubricación de mecanismos delicados. Las características de la vaselina pueden variar porque dependerá del tipo de refinado que se emplee.



Figura 2.8 Vaselina

En la Figura 2.8 se muestra la vaselina la cual fue utilizada en la elaboración del molde del guardafango se realiza esto para que al momento de extraer el elemento fabricado éste no se pegue y pueda ser extraído de manera sencilla sin que el elemento presente fallas o imperfecciones

2.2.3.5 Resina poliéster

La resina poliéster es de tipo polímero insaturado termo endurecible siendo este su mayor característica ya que al estar en un estado líquido y si son sometidos a las condiciones apropiadas es muy moldeable y mediante un proceso químico se vuelve sólido. Este tipo de resina es muy utilizado para diversos usos domésticos e industriales, para este estudio se utilizó la resina poliéster para la fabricación del molde del guardafango donde se fabricará el guardafango del Renault Twizy.

2.2.3.6 Fibra de vidrio

Es un material el cual consta de una gran cantidad de filamentos cerámicos basados en dióxido de silicio muy finos su característica principal es ser un material muy ligero, estable resistente y un excelente aislante térmico. Es muy utilizado en diferentes aplicaciones que tengan que ver con la construcción o como un agente de refuerzo para productos poliméricos.

en este estudio se utilizó la fibra de vidrio para la creación del molde del guardafango el cual servirá como base principal para la elaboración del elemento del vehículo Renault Twizy.



Figura 2.9 Fibra de vidrio

En la Figura 2.9 se muestra la fibra de vidrio la cual en este estudio se utilizó para la creación del molde del guardafango el que servirá como base principal para la elaboración del elemento del vehículo Renault Twizy.

2.2.3.7 Láminas de cartón

El cartón es un material que está desarrollado por varias capas de papel sobrepuestas su principal característica es ser más duro, grueso y resistente que el papel normal, para este estudio se utilizó el cartón para poder delimitar todo el guardapolvo y de esta manera que la resina epóxica no sobresalga los bordes del elemento.

2.3 SELECCIÓN DEL MEJOR MATERIAL COMPUESTO

Para la selección del material, se tomó como base investigativa todas las caracterizaciones de materiales compuestos anteriormente mencionados y seleccionados, en la Tabla 2.4 se muestra todos los materiales recopilados:

Tabla 2.4 Recopilación de materiales compuestos

MATERIALES COMPUESTOS	
MATRIZ	REFUERZO
Resina epoxi (60%)	Fibra de cabuya (40%)
Resina epoxi (75%)	Fibra de cabuya (25%)
Resina epoxi (60%)	Fibra de caña de azúcar (40%)
Resina epoxi (75%)	Fibra caña de azúcar (25%)
Resina epoxi (60%)	Fibra de coco (40%)
Resina epoxi (75%)	Fibra de coco (25%)
Resina epoxi (70%)	Fibra de coco (30%)
Resina epoxi (75%)	Fibra de coco (25%)
Resina poliéster insaturada	Cascarilla de arroz

Fuente: Autores

Las diferentes opciones de materiales caracterizados que se han presentado requieren un proceso de cálculo para su selección, se estableció un proceso de porcentaje con un total requerido del 100% acorde a los diferentes factores. En la Tabla 2.5 se muestran los diferentes factores los cuales son el esfuerzo máximo a flexión el cual obtendrá un porcentaje del 35%, el esfuerzo máximo al impacto el cual obtendrá un porcentaje del 35%, mientras que el esfuerzo máximo a tracción obtendrá un porcentaje del 30%.

Tabla 2.5 Factores para la elección del material compuesto

FACTORES	PORCENTAJE
Esfuerzo máximo a tracción	30%
Esfuerzo máximo a flexión	35%
Esfuerzo máximo al impacto	35%
TOTAL	100%

Fuente: Autores

En la Tabla 2.6 se muestra un rango de ponderación ya que al contar con varias alternativas de materiales compuestos se utilizó la ponderación, después de haber obtenido la multiplicación de los porcentajes dados finalmente se sumarán y se obtendrá el resultado de los materiales.

Tabla 2.6 Rango de ponderación

PONDERACIÓN	PUNTAJE
Malo	1 a 4
Bueno	5 a 8
Excelente	9 a 10

Fuente: Autores

Por medio del rango de ponderación se puede evaluar los diferentes esfuerzos acordes a la necesidad que requiera el proyecto para la selección del mejor material compuesto, en la Tabla 2.7 se establecerá la ponderación para los diferentes tipos de esfuerzos.

Tabla 2.7 Ponderación a los diferentes esfuerzos

RANGO DE PONDERACIÓN		
Esfuerzo máximo a tracción	Esfuerzo máximo a flexión	Esfuerzo máximo al impacto
8	9	8
8	9	9
8	9	9
8	8	8
8	8	0
5	0	5
0	8	0
0	0	5
4	5	7
49	56	51

Fuente: Autores

Para poder calcular se realizará la multiplicación de los porcentajes definidos anteriormente con los valores de los esfuerzos de cada material como se indica en la operación matemática 2.1 de esta manera se podrá diferenciar la variación de resultados en cada material compuesto. El procedimiento que se realizó se muestra en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Procedimiento de multiplicación

PORCENTAJES		
Esfuerzo máximo a tracción (30%)	Esfuerzo máximo a flexión (35%)	Esfuerzo máximo al impacto (35%)
(63.70×0.30)	(118.73×0.35)	(1.31×0.35)
19.11	41.5555	0.4585

Fuente: Autores

$$R = E \times P \quad [2.1]$$

Donde:

R= Resultado

E= Esfuerzo (tracción, flexión, impacto)

P= Porcentajes

Con la operación realizada anteriormente, se procede hacer el mismo procedimiento a las diferentes alternativas de materiales compuestos, este será el primer paso para poder seleccionar el mejor material y el más viable para el desarrollo de la investigación. En la Tabla 2.9 se muestran los resultados de la operación matemática.

Tabla 2.9 Resultado de la multiplicación de los porcentajes

PORCENTAJES		
Esfuerzo máximo a tracción (30%)	Esfuerzo máximo a flexión (35%)	Esfuerzo máximo al impacto (35%)
19.11	41.5555	0.4585
15.675	41.5835	0.5355
7.362	17.626	0.4585
7.257	16.0195	0.4585
29.118	36.5225	0
20.34	0	0.2345
0	38.094	0
0	0	0.2345
4.635	0.2345	0.441
103.497	191.6355	2.821

Fuente: Autores

Después de obtener el resultado de cada uno de los esfuerzos multiplicados por sus porcentajes se utiliza la operación matemática 2.2 donde se procede a la sumatoria con ayuda de los resultados obtenidos en la Tabla 2.9 y el rango de ponderación de la Tabla 2.7. En la Tabla 2.10 se muestra el procedimiento a seguir para la selección del mejor material compuesto.

Tabla 2.10 Procedimiento de sumatoria

PONDERACIÓN			
Esfuerzo máximo a tracción (30%)	Esfuerzo máximo a flexión (35%)	Esfuerzo máximo al impacto (35%)	Puntaje
19.11 + 8	41.5555 + 9	0.4585 + 8	
27.11	50.5555	8.4585	86.124

Fuente: Autores

En la Tabla 2.11 se muestran los resultados finales obtenidos de las diferentes alternativas de materiales compuestos, este será el último paso para seleccionar el mejor material compuesto que servirá como base para la fabricación del guardafango.

Tabla 2.11 Resultado de la sumatoria con el rango de ponderación

PORCENTAJES			
Esfuerzo máximo a tracción (30%)	Esfuerzo máximo a flexión (35%)	Esfuerzo máximo al impacto (35%)	Puntaje
27.11	50.5555	8.4585	86.124
23.675	50.5835	9.5355	83.794
15.362	26.626	9.4585	51.4465
15.257	24.0195	8.4585	47.735
37.118	44.5225	0	27.2135
25.34	0	5.2345	10.1915
0	46.094	0	15.365
0	0	5.2345	1.7448
8.635	5.2345	7.0441	20.9136

Fuente: Autores

Se obtuvo como resultado que el mejor material compuesto es la combinación entre resina epoxi y fibra de cabuya, para el estudio se tomara en cuenta la primera configuración que tiene como fracción volumétrica 60% matriz de resina epoxi y 40% refuerzo fibra de cabuya.

2.4 PROCEDIMIENTO

Para el desarrollo del guardafango es necesario seguir un proceso, tomar medidas, desarrollo del elemento en SolidWorks importación del programa computacional LS-Dyna para la generación de malla, para el estudio de impacto se debe utilizar el programa Manager, de esta manera se puede obtener los resultados necesarios para determinar si es viable o no.

2.4.1. MODELO ORIGINAL DEL GUARDAPOLVO

Para el respectivo diseño y modelado del guardapolvo es indispensable la obtención de las medidas superficiales del guardapolvo, de esta manera se podrá dimensionar de una manera correcta el elemento a diseñar y que no exista alteraciones en el modelado.

2.4.2 MODELADO DEL GUARDAPOLVO EN 3D/CAD

El guardafango del vehículo eléctrico monoplace Renault Twizy fue el elemento elegido para realizar la simulación, este elemento es el que se empleó para el modelado en SolidWorks, este programa es muy utilizado en el área de la ingeniería ya que es un software de diseño CAD para modelado de piezas, ensamblajes mecánicos en 3D y planos en 2D gracias a su interfaz sencilla e intuitiva facilita el trabajo para crear, diseñar, simular, fabricar y gestionar los datos del proceso de diseño.

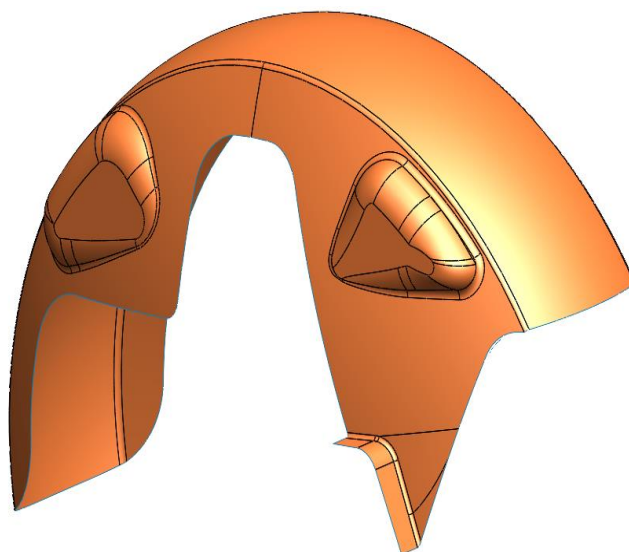


Figura 2.10 Modelado 3D del guardapolvo diseñado en SolidWorks

En la Figura 2.10 se muestra el guardafango elaborado en SolidWorks, este software utilizado para el modelado del guardafango consta en nuestra malla curricular como materia aprobar, al poseer conocimientos previos del funcionamiento del programa se procede a diseñar la autoparte en SolidWorks, realizando las acotaciones, croquis, planos, operaciones de superficies con la finalidad de obtener un diseño con las dimensiones más cercanas a la pieza original.

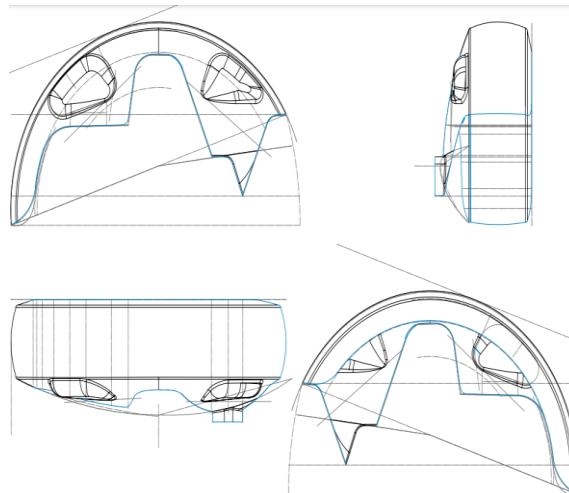


Figura 2.11 Vistas en 2D del guardapolvo del vehículo Renault Twizy

En la Figura 2.11 se muestra los diferentes planos en 2D del guardafango, donde se puede visualizar la vista frontal, lateral, superior y posterior.

2.4.3 PROCESO DE MALLADO PARA ANALISIS MEF

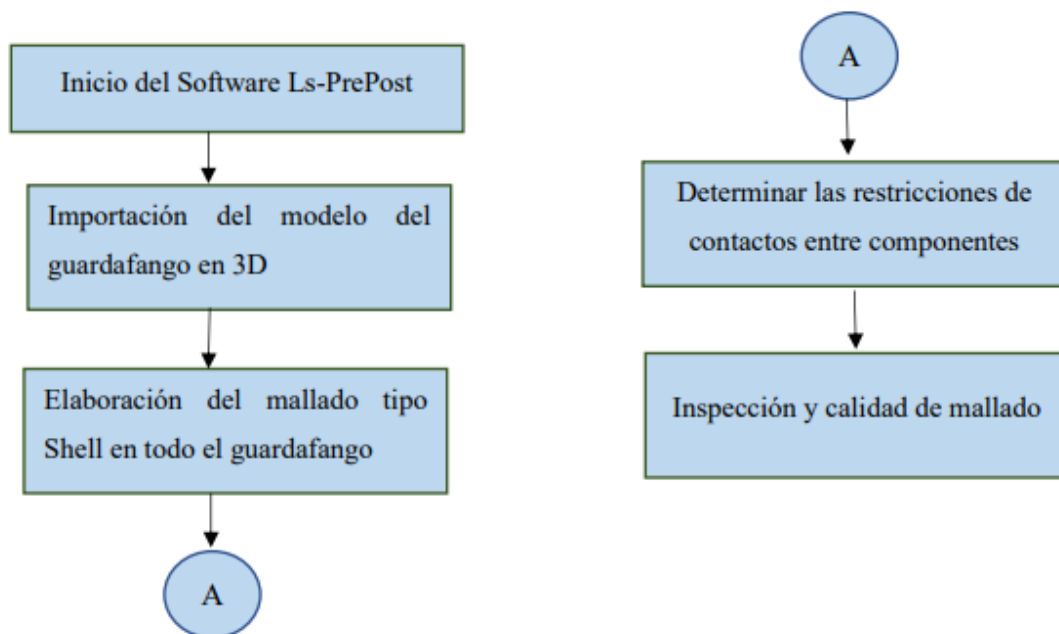


Figura 2.12 Proceso de generación de malla

En la Figura 2.12 se muestra el proceso para la generación de malla en el guardafango del vehículo se realiza el siguiente procedimiento, importación al software de método de elementos finitos (MEF), preparación total del mallado tipo Shell al guardapolvo, generación de restricciones, verificación y calidad del mallado.

En el proceso de mallado del autoparte no se incluye los soporte de sujeción del guardafango, es necesario indicar que estos soportes no se incluyeron ya que no son necesarios para dicho estudio y podrían generar resultados erróneos en los resultados de la simulación, se verifica con anterioridad que no exista aberturas ni alteraciones en el guardafango de esta manera se puede evitar errores y que el programa realice adecuadamente la simulación dando como resultados valores concretos y exactos.

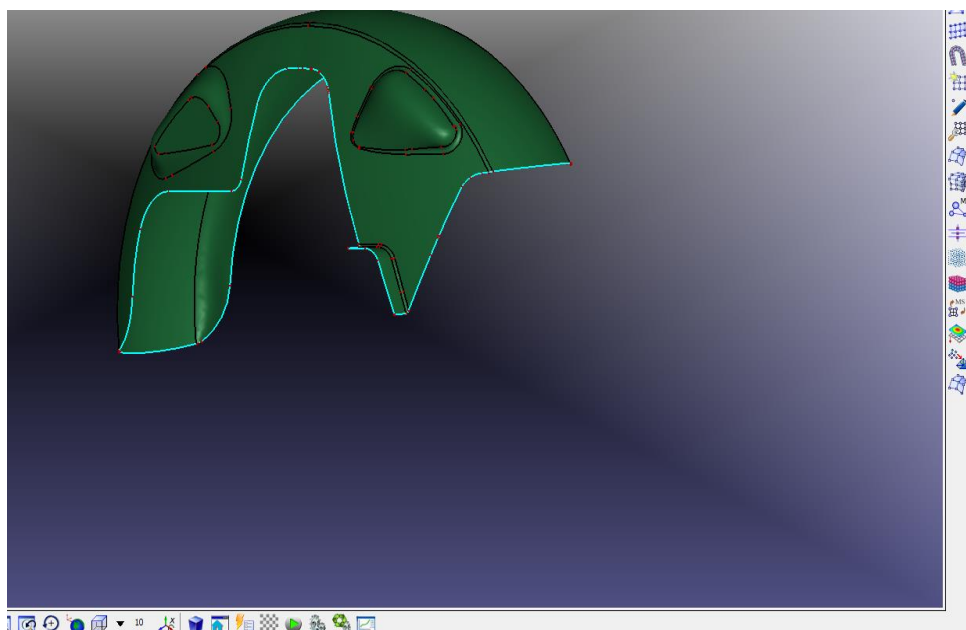


Figura 2.13 Importación del modelado CAD al software Ls-PrePost

En la Figura 2.13 se procede a indicar el guardafango que se importó desde el software de diseño y modelo CAD 3D al software de post y preprocesamiento para análisis MEF, es necesario indicar que en el modelado CAD no se determina ningún espesor, en el procesamiento por medio de la configuración en las cartas de control.

2.4.3.1 LS – PrePost

Para el mallado total del guardapolvo del vehículo se utiliza el software Ls-PrePost este es un programa interactivo, eficiente e intuitivo desarrollado por Its con la finalidad de usarse para la escritura de un archivo tipo *.k* o *.key* y para el pro procesado de una simulación ya calculada. El Pre procesado maneja una interfaz gráfica la que ayuda a ver tridimensionalmente los diversos cambios que se están aplicando al archivo. El Post

procesado no permite observar los resultados de la simulación que se a llevará a cabo y ver paso a paso lo que ocurrirá con el modelo.

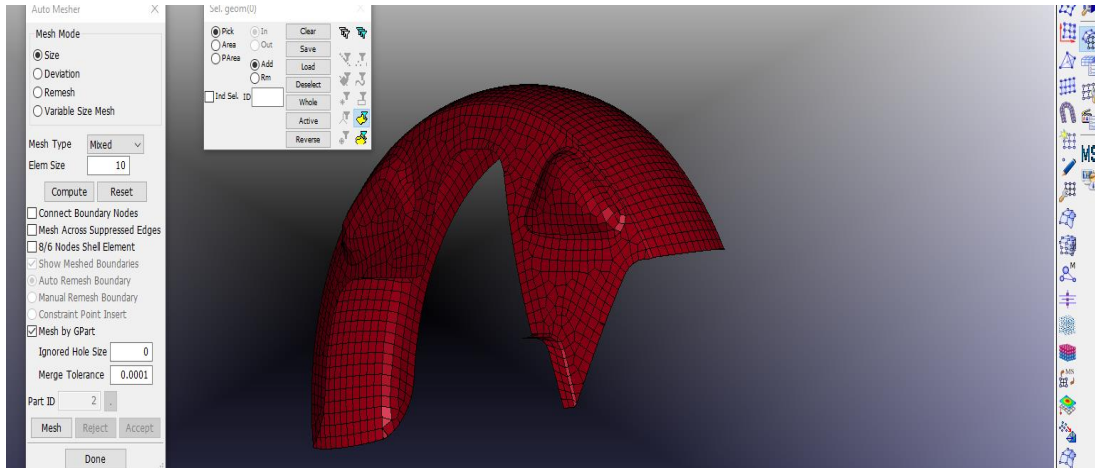


Figura 2.14 Mallado del guardafango

En la Figura 2.14 se muestra el tamaño de la malla se realizó con una longitud de 10 mm en el guardafango, se aplicó una malla bidimensional 2D de tipo Shell y el tipo de malla utilizado está validado bajo el criterio de calidad del Jacobian Ratio, la autoparte cuenta con elementos de 4 nodos de tipo cuadrilátero y de 3 nodos tipo triangular, estos elementos están bajo la normativa Jacobian.

2.4.3.2 Malla tipo Shell

Para el tipo de mallado en 2D, todos los nodos deberán estar en un mismo plano en su gran mayoría estos nodos se encuentran en el plano X, Y y también pueden ser definidos al plano Z si es definida por el operador del programa.

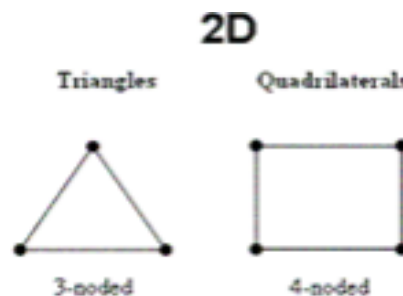


Figura 2.15 Elementos triángulo (3 nodos), cuadriláteros (4 nodos)
(Gómez Samuel, 2017)

En la Figura 2.15 se muestra los elementos más comunes en el mallado tipo Shell son los cuadriláteros y los triángulos, son muy utilizados para simular estructuras que estarán sometidas a deformaciones después de ser sometidas a cargas.

2.4.3.3 Jacobian Ratio

La manera de comprobar el mallado en un elemento es por medio de la métrica Jacobiana donde se puede observar el valor máximo, mínimo promedio y desviación en la relación jacobiana de los elementos que consten en la estructura de la malla que son de tres nodos y cuatro nodos.



Figura 2.16 Jacobian Ratio para triángulos
(Gómez Samuel, 2017)

En la Figura 2.16 se muestra el análisis de elementos finitos para triángulos, es necesario que cada lado forme un ángulo de 60° para conseguir una excelente relación jacobina igual a 1.

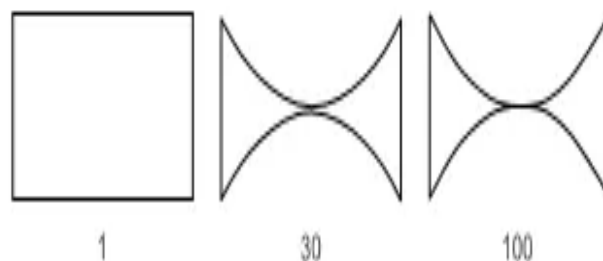


Figura 2.17 Jacobian Ratio para cuadriláteros
(Gómez Samuel, 2017)

En la Figura 2.17 se muestra los elementos cuadriláteros aplica que todos sus lados sean paralelos entre sí formando un ángulo de 90° para conseguir una buena relación jacobiana igual a 1.

La relación Jacobiana evalúa valores entre 1.0 a -1.0 en el que un valor cercano o igual a 1.0 es estimado como un elemento de mallado perfecto, por el contrario, si un valor es cercano o inferior a 0 se estima como un mallado muy pobre y deficiente lo que podría provocar fallas graves en la simulación con resultados inexactos. Ansys recomienda para el mallado de elementos finitos como valor mínimo de 0.33 y si el valor llegar aproximarse a 1.0 significa que el mallado es viable.

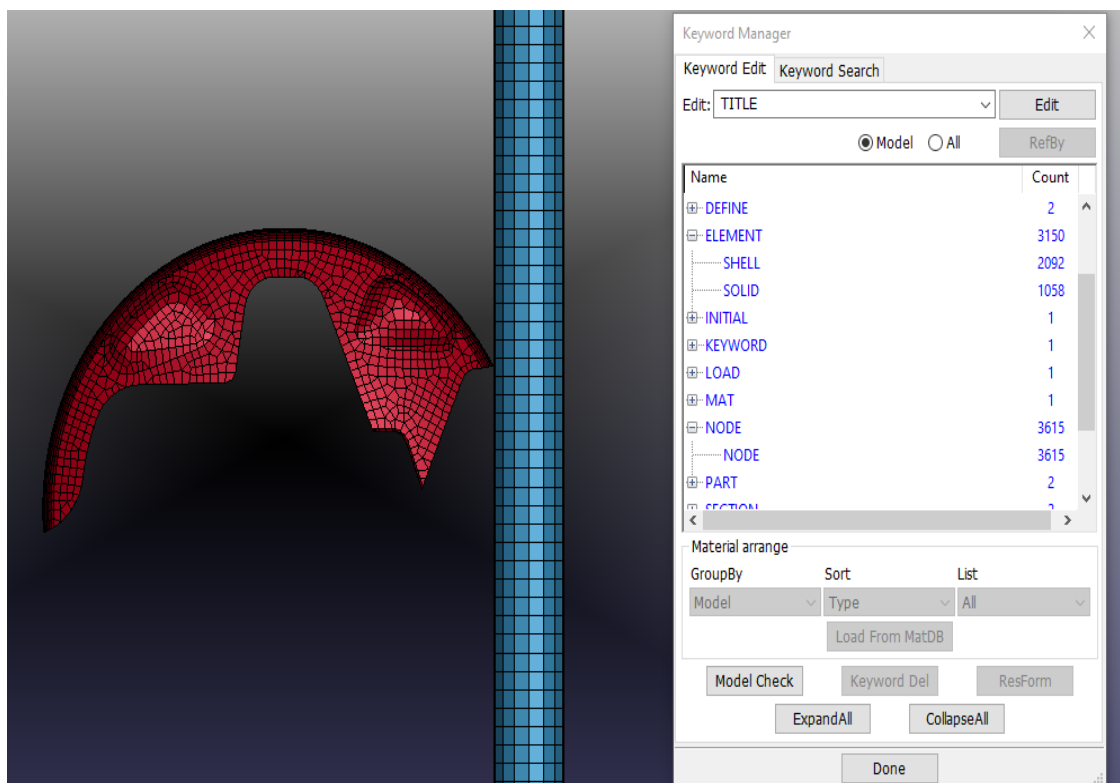


Figura 2.18 Número de elementos y nodos

En la Figura 2.18 se muestra que para los elementos de la simulación se toma como prioridad varios aspectos como el volumen, área de superficie y otros detalles geométricos del guardafango y el cilindro de impacto el cual es utilizado como el elemento sólido donde se impactará el guardapolvo, como resultado se tiene que el tamaño de malla generado es: número de elementos 3 150 y numero de nodos 3 615.

Para un correcto análisis de elementos finitos el mallado es un punto clave donde se considera la normativa del Jacobian Ratio. Esta normativa está basada bajo estándares de calidad y va a depender de los parámetros geométricos de cada elemento, es decir, si los valores están por debajo de la normativa establecida el elemento presentará fallas, en cambio

si los valores están dentro de la normativa todos los parámetros del elemento estarán en óptimas condiciones.

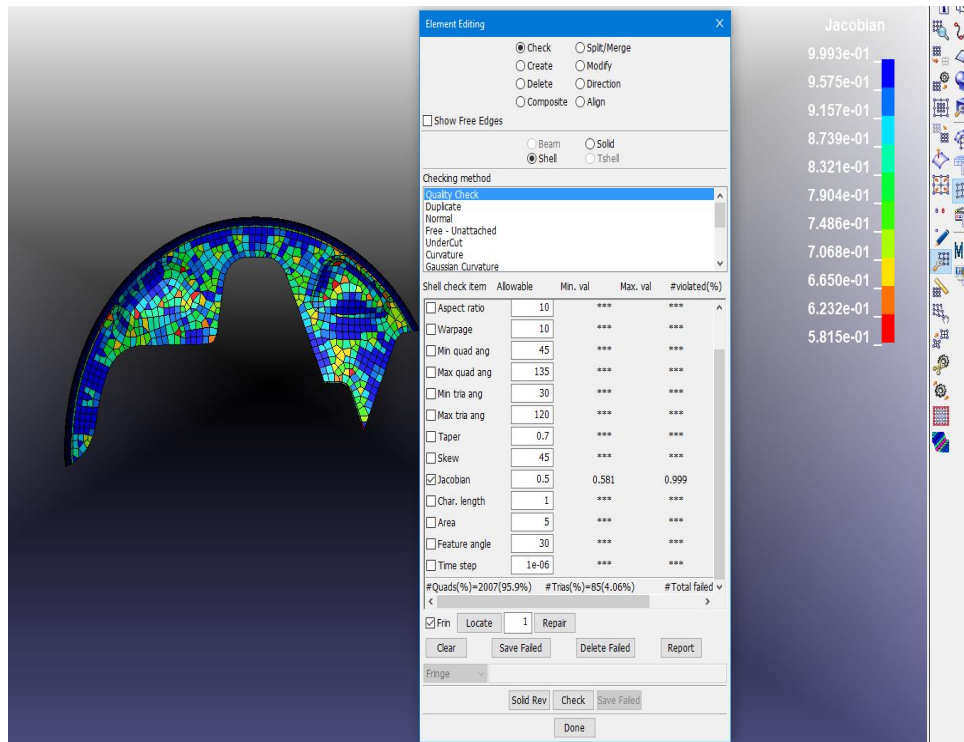


Figura 2.19 Mallado con calidad Jacobiana

En la Figura 2.19 se muestra el mallado del guardafango se aplicó el mallado tipo Shell con una longitud de 10 mm y está validado por los estándares de calidad Jacobiana, donde se obtiene el valor de 0.58 el cual está en los estándares establecidos ya que el valor mínimo permitido es de 0.33 y valor que se acerque más a 1.0 es considerado como el valor máximo

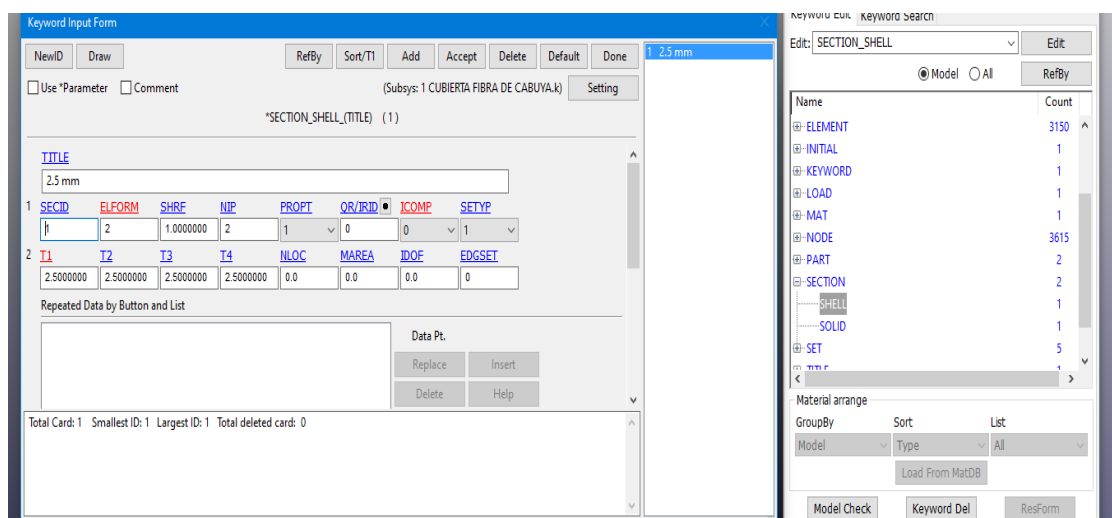


Figura 2.20 Espesor del guardapolvo

En la figura 2.20 se muestra el espesor del guardafango en la simulación es igual al guardafango original del vehículo Renault Twizy y se especifica en las cartas de control con un espesor de 2.5 mm.

2.4.4 MATERIAL COMPUESTO EMPLEADO PARA LA SIMULACION

Según (Ponce Tobar, 2020b) en su estudio “Caracterización de un material compuesto a base de resina epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma resina reforzada con fibra de caña de azúcar”, utilizó materiales compuestos resina epoxi y fibra cabuya en la siguiente fracción volumétrica 60% resina epoxi y 40% fibra de cabuya, después de un ensayo a tracción se obtuvo los valores de esfuerzo vs deformación del material compuesto estos valores son de gran validez para nuestro estudio y compilación de datos que serán ingresados en el software Ls-PrePost para definir la curva del material.

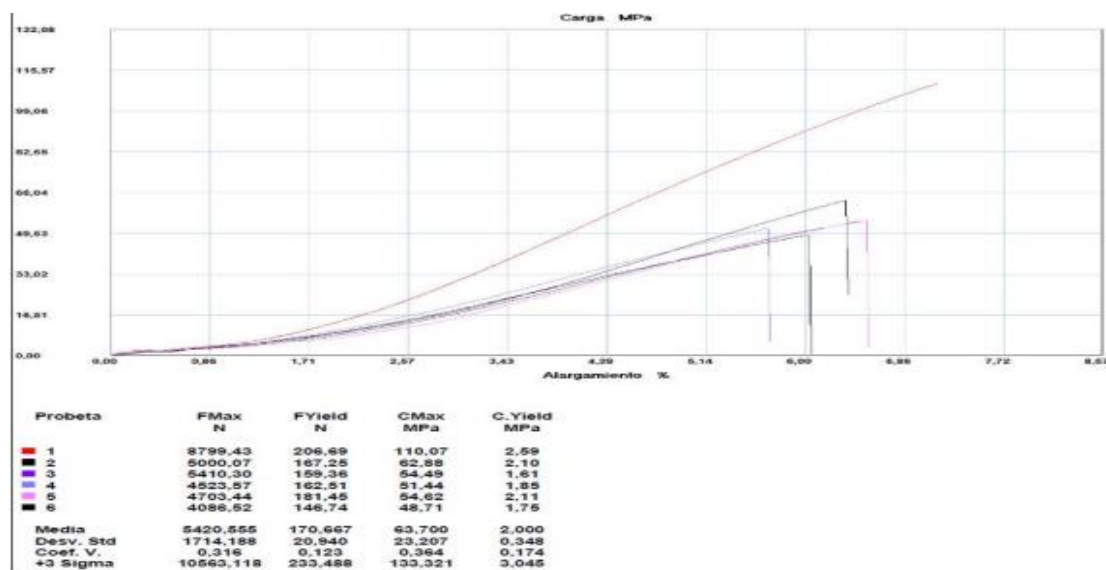


Figura 2.21 Curva esfuerzo vs deformación del material compuesto
(Ponce Tobar, 2020b)

En la Figura 2.21 se muestran los valores obtenidos con anterioridad son ingresados en las cartas de control del software Ls-PrePost, al tener la curva de esfuerzo vs deformación del material compuesto conformado de resina epoxi y fibra de cabuya, se realiza la simulación de prueba de tracción donde se observa el comportamiento del material, el cual arroja datos como resistencia ultima a la tracción y la deformación unitaria máxima en tracción que son datos importantes para el desarrollo de esta investigación.

2.4.4.1 APLICACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Para la correcta simulación del guardafango es necesario saber las propiedades mecánicas del material compuesto el cual fue seleccionado con anterioridad, de esta manera se puede ingresar el material a las cartas de control y estos valores se encuentran en la Tabla 1.4.

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	FAIL	TDEL
1		2.600e-06	0.9873900	0.1900000	0.0637000	0.0	6.3600001	0.0
2	C	P	LCSS	LCSR	VP			
2	0.0	0.0	1	0	0.0			
3	EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Figura 2.22 Carta de control para la asignación del material compuesto

En la Figura 2.22 se muestran los datos los cuales son RO que presenta la densidad de masa y su valor es de $2.6e-9$ kg/mm³, E que representa el módulo de elasticidad y su valor es de 0.98739 GPa, PR representa el radio de poisson y su valor es de 0.19, SIGY que representa la resistencia última a la tracción y su valor es de 0.0637 GPa, como último dato se ingresa la deformación unitaria máxima en tracción en el casillero FAIL 6.36.

2.4.5 ANÁLISIS POR EL MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS

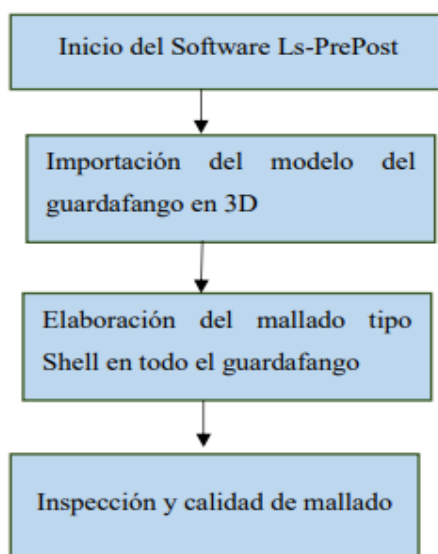


Figura 2.23 Proceso para análisis MEF

En la Figura 2.23 se muestra un proceso ordenado que es necesario para ingresar en las tablas de control el ensayo de impacto al software de pre y post procesamiento Ls-PrePost, se realiza todo este procedimiento con el propósito de definir adecuadamente todos los parámetros como la fuerza, el material y demás entidades que intervienen en la simulación de impacto.

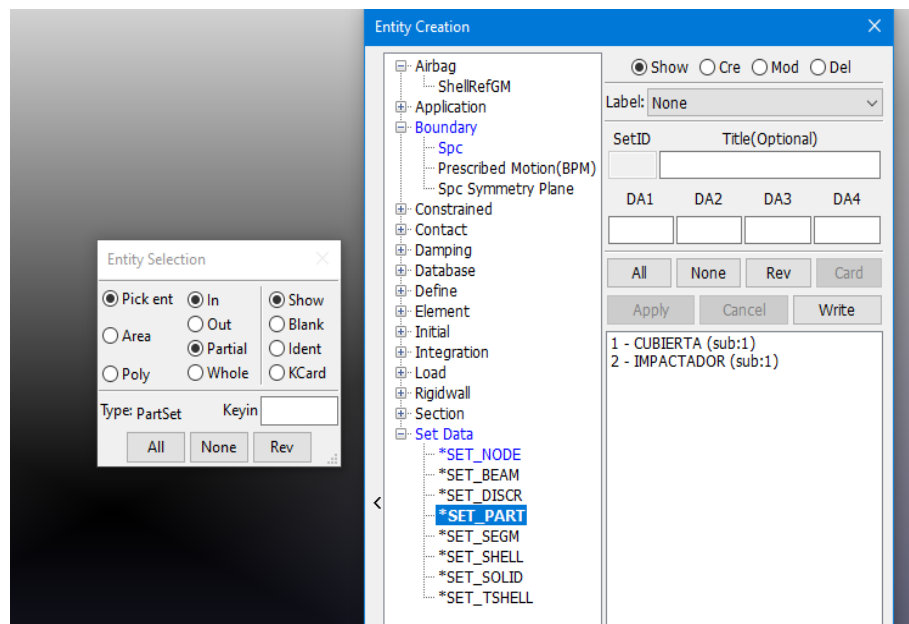


Figura 2.24 Set de partes

En la Figura 2.24 se muestran los elementos que deberán especificar al software que nodos estarán fijos o en reposo y los nodos que tendrán un desplazamiento, en este estudio se considera como cuerpo rígido al cilindro sólido y el guardafango será el elemento que se desplace e impacte contra el cilindro sólido, todo esto se realizó mediante un SET NODE.

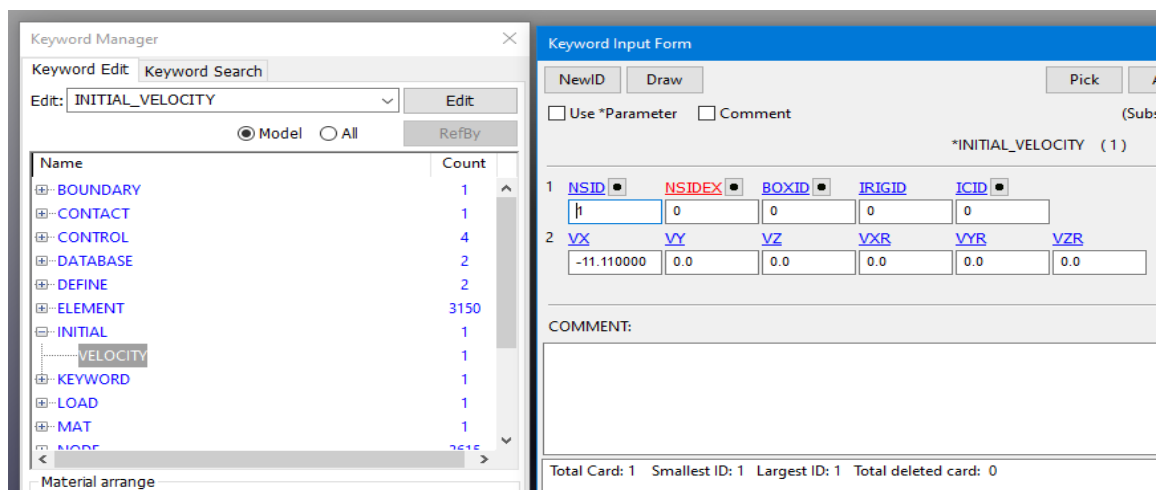


Figura 2.25 Velocidad de colisión

En la Figura 2.25 se muestra la velocidad lineal determinada a la que se desplazara el guardafango es de -11.110000 m/s que equivale a 40 km/h, esta velocidad regirá en todos los nodos del guardapolvo, el desplazamiento tiene un valor negativo esto significa que se desplazará en el eje x negativo.

Keyword Manager

Keyword Input Form

Keyword Edit Keyword Search

Edit: CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE

Use *Parameter Comment (Subsys: 1 CUBIERTA FIBRA DE C.)

*CONTACT_AUTOMATIC_SURFACE_TO_SURFACE_(ID/TITLE/MPP)_(THERMAL) (1)

4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR	MPR
	2	1	2	2	0	0	0	0
5	ES	FD	DC	VC	VDC	PENCHK	BT	DT
	0.3000000	0.2000000	0.0	0.0	0.0	0	0.0	1.000e+20
6	SFS	SFM	SST	MST	SFST	SFMT	FSF	VSF
	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000	1.0000000
<input type="checkbox"/> Thermal <input type="checkbox"/> T_Friction <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AB <input type="checkbox"/> ABC <input type="checkbox"/> ABCD <input type="checkbox"/> ABC								
7	CF	FRAD	HTC	LMIN	LMAX	FTOSLV	BC_FLG	ALGO
						0.5		
8	LCFST	LCFDT	FORMULA	a	b	c	d	LCH

Total Card: 1 Smallest ID: 1 Largest ID: 1 Total deleted card: 0

Figura 2.26 Contacto entre elementos

En la Figura 2.26 se muestra que superficie se impactará contra la otra superficie, en el software estos elementos son definidos como esclavo y máster, el esclavo es representado por el numero dos viene a ser el impactador o barrera fija es decir el cilindro sólido y el máster que es representado por el número uno es la activación del guardafango y es el encargado de desplazarse a una velocidad determinada durante toda la simulación.

2.4.5.1 Control de energía de Hourglass

Para determinar la calidad de resultados realizado es necesario el control de energía de Hourglass, esta energía tiene que ser inferior al 10% de la energía interna para que el estudio sea válido, para el buen desarrollo y análisis en la investigación Hourglass debe ser siempre menor al porcentaje antes mencionado.

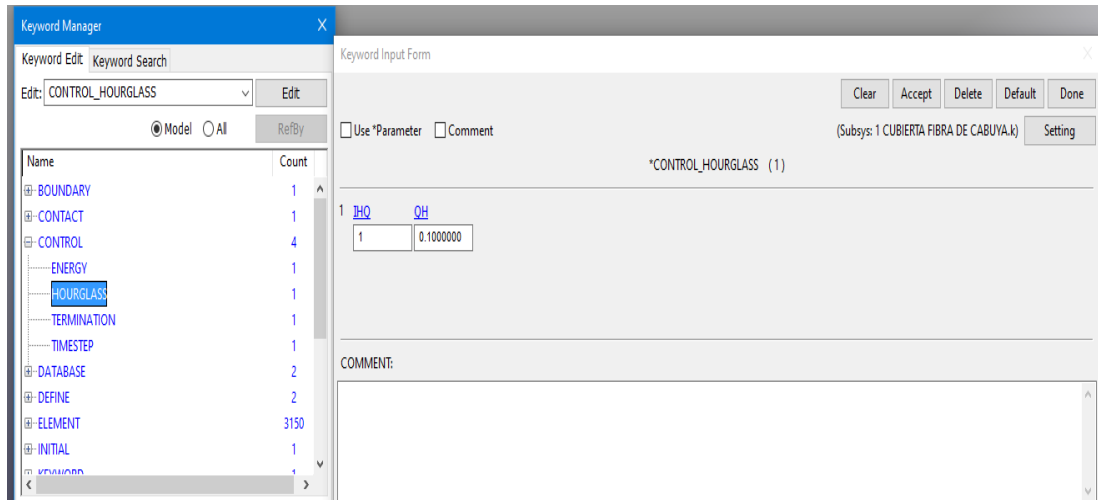


Figura 2.27 Hourglass

En la Figura 2.27 se muestra la energía interna en cada elemento y la energía Hourglass se aplica un valor de control de energía del modelo.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el presente capítulo se va a presentar a detalle los resultados obtenidos de la fabricación del guardafango utilizando como materia prima la fibra de cabuya, este material es muy utilizado en la fabricación de paneles de carrocería en los vehículos como en componentes auxiliares y estructuras no muy industrializados, se detalla también cada uno de los resultados de la simulación asistida por computador para poder verificar y evaluar las características mecánicas y físicas de los mismos. De esta manera poder determinar si el elemento a fabricarse es viable o no.

3.1 RESULTADOS DE LA FABRICACIÓN

Para el proceso de fabricación del guardapolvo del vehículo Renault Twizy se requiere seguir un determinado proceso el cual empieza desde la toma de medidas, herramientas, equipos, materiales, construcción del molde y acabados finales. Todo el proceso de fabricación se detalla a continuación para que el resultado final sea estético y viable.

3.2 RESULTADOS DE LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Para el buen desarrollo de la investigación se procede a detallar en porcentajes cada uno de los elementos utilizados en la fabricación del material compuesto; desde la resina epoxica, acelerador para un secado más rápido cantidad de la fibra de cabuya utilizada.

3.2.1 CANTIDAD DE RESINA EPOXICA Y FIBRA DE CABUYA USADAS

Para la construcción de es este elemento se utilizó 3 capas de fibra de cabuya y 4 capas de resina epóxica con la siguiente fracción volumétrica de 60% de resina epóxica y 40% de

fibra de cabuya cepillada cuidadosamente, ya que el cepillado se elimina todo tipo de imperfecciones y fibras pequeñas que molestan el momento de colocar con la resina.

En la Tabla 3.1 se detalla la cantidad de resina epóxica usada juntos a cada agente químico respectivamente.

Tabla 3.1 Resina epóxica utilizada.

Número de capas	Resina epóxica	Catalizador	Acelerador
1	380g	5.6g	0.70g
2	380g	5.6g	0.70g
3	380g	5.6g	0.70g
4	380g	5.6g	0.70g

Fuente: Autores

En la Tabla 3.2 se detalla la cantidad de fibra de cabuya en gramos que se utilizó para tener una mezcla homogénea entre matriz y refuerzo, se detalla también la orientación de las fibras y el porcentaje de acelerador que debe tener cada capa para su correcto proceso de fabricación.

Tabla 3.2 Fibra de cabuya utilizada.

Número de capas	Fibra de cabuya (g)	Orientación de la fibra
1	320	90°
2	320	0°
3	320	90°

Fuente: Autores

Las capas que se utilizaron para la elaboración del guardafango fueron tres capas con orientación de 90°,0°,90° y un porcentaje de fibra de cabuya de 320g en cada capa para una correcta fabricación del guardafango.

3.2.2 METODOLOGÍA DE TOMA DE MEDIDAS

Para realizar la toma de medidas es importante colocar la pieza original en una superficie plana para obtener cada una de las medidas de forma correcta.



Figura 3.1 Toma de medidas

En la Figura 3.1 se detalla las diferentes medidas tomadas del guardafango original del vehículo Renault Twizy, estas medidas representan de manera rápida y sencilla las dimensiones que tiene el guardafango, esto ayudará para poder desarrollar el nuevo guardafango y que llegue a ser lo más similar al original.

En la Tabla 3.3 se muestra una tabla con las diferentes medidas tomadas del guardafango, estas medidas están en centímetros.

Tabla 3.3 Medidas del guardapolvo

DESCRIPCIÓN	MEDIDA (cm)
Largo	60.7
Ancho	13.9
Medida 1	4.0
Medida 2	16
Medida 3	18
Medida 4	20.5

Fuente: Autores

3.2.3 DELIMITACIÓN DE ZONA A REALIZAR EL CONTRA MOLDE

Se realiza la delimitación de todos los bordes con ayuda del cartón, gracias a este material y la pistola de silicón se procedió a pegar alrededor de todos los bordes del guardafango el cartón con la única finalidad de obtener un elemento similar al original.



Figura 3.2 Delimitación con cartón

En la Figura 3.2 se muestra el procedimiento de encontrar la manera más sencilla para realizar el molde del guardafango de esta manera se logrará que el resultado final sea un guardafango similar al original con las mismas dimensiones y estética.

3.2.4 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE DEL GUARDAFANGO.

Existen diferentes métodos para realizar una copia del modelo original, por ejemplo: contra molde de yeso, contra molde en arcilla, contra molde realizado por maquinado industrial, contra molde mediante resinas.



Figura 3.3 Contra molde

En la Figura 3.3 se muestra el proceso que se realizó para obtener el molde de resina poliéster con refuerzos en fibra de vidrio, debido a su facilidad en la obtención de la resina, así como, la calidad superficial que se obtiene al realizar el contra molde, debido a su bajo costo y a la cantidad de pieza que se requieren en este estudio es un material excelente para la realización del contra molde.

3.2.5 MEZCLA DE RESINA POLIÉSTER

Debido a que la resina poliéster necesita de un catalizador se requiere pesar la mezcla y así obtener una mezcla homogénea de resina poliéster y catalizador, ésta mezcla tendrá un proceso de secada más rápido ya que se cumple todos los estándares del fabricante para un correcto proceso de fabricación.

3.2.6 METODOLOGÍA DE FABRICACIÓN DE PROTOTIPO

Para la fabricación del guardafango se utilizó un proceso adecuado para que en todo el proceso no exista ninguna alteración en el desarrollo de la investigación, como materia prima se utilizó la fibra de cabuya y como refuerzo la resina epóxica, teniendo como base estos dos materiales principales se procede al desarrollo en la elaboración del elemento.

3.2.6.1 Preparación de superficie

En el área a trabajar se aplica masilla para corregir todo tipo de imperfecciones para luego darle un lijado fino eliminando el exceso de masilla, asperezas y deformidades, se limpia bien toda el área de manera que no queden quedarse partículas de polvo que pueda dañar el proceso del trabajo.



Figura 3.4 Preparación de la superficie

En la Figura 3.4 se muestra el proceso de la preparación de la superficie donde colocamos vaselina y grafito que ayudara a que nuestro molde y contra molde no se adhieran entre sí logrando desmoldar de una manera sencilla y sin que se rompa ninguna de las dos piezas.

3.2.6.2 Preparación de materiales

Debido a que este procedimiento se lo debe realizar con rapidez ya que la resina tiene un secado rápido se debe tener todos los materiales necesarios listos para el armado, dentro de ellos tenemos:

Cabuya

- Se debe peinar sus fibras para lograr que estén paralelas para la correcta colocación en cada capa.
- En el cepillado se elimina todo tipo de imperfecciones y fibras pequeñas que molestan el momento de colocar con la resina.

Resina epóxica

- Para trabajar con la resina y que esta quede transparente se debe trabajar a temperatura ambiente entre 18 °C a 22 °C.
- Para eliminar burbujas se puede calentar la resina a baño María hasta 32 °C, se recomienda utilizar un termómetro para no sobrepasar la temperatura para que sea idónea.
- Mezclar la resina con el endurecedor en proporciones de 2 a 1, es decir por dos cantidades de resina va una de endurecedor para la correcta fabricación de a pieza a realizarse.
- La superficie donde va a ser aplicada la resina debe estar totalmente lisa y sin polvo.
- Para eliminar burbujas es recomendable pasar la pistola de calor sobre el área que tiene burbujas hasta que desaparezcan.
- Antes de colocar la resina en superficies debe pasarse una lija 140 para eliminar cualquier químico o lacas que pueda tener y así poder lograr muy una buena adherencia.

3.2.6.3 Armado de contra molde

Por secciones se va colocando una cantidad adecuada de resina preparada previamente con los pesos recomendados por los fabricantes (mismo que se lo debe ir mezclando a medida que se vaya avanzando en el armado del contra molde), se toma una porción de cabuya para colocarla sobre la resina con la ayuda de una espátula.

Se acomoda las fibras de manera uniforme ya que de esta manera es mucho más fácil lograr que se adhiera a la resina; y se cubre con una capa más de resina sobre la cabuya para lograr cubrir toda la superficie de la cabuya.



Figura 3.5 Molde del guardafango

En la Figura 3.5 se muestra el proceso de obtención del molde del guardafango, donde se siguen varios pasos, con la ayuda de una secadora o pistola de aire caliente nos ayudamos para que la resina seque con más rapidez (se debe tener precaución de no calentar demasiado la resina para no dañarla y que se deforme la pieza), y así pasar a otra sección de la pieza, hasta terminar con toda el área que necesitamos.

Para realizar los bordes colocamos pedazos de cartón o madera asegurando firmemente para que la resina tome la forma de los bordes y espesor deseado junto con la cabuya, y a la vez corregir cualquier falla que se pudo provocar en el momento de realizar la pieza. Se deja secar completamente durante un tiempo mínimo de 48 horas, verificando que cada parte de la pieza este completamente endurecida para el siguiente proceso.

3.2.6.4 Desmoldeo

Una vez verificado que la resina a secado completamente, procedemos a retirar el contra molde con precaución sin realizar fuerza o presión ya que la pieza puede sufrir roturas o fisuras.



Figura 3.6 Desmoldeo

En la Figura 3.6 se muestra la plumbagina y la vaselina que se colocaron antes de iniciar el proceso de fabricación del guardapolvo servirán para la extracción del elemento ya que estos materiales ayudan a que el proceso del desmoldeo sea más seguro y eficiente evitando que el guardapolvo se pegue al molde o sufra fisuras.

3.2.6.6 Acabados

Cortamos cuidadosamente todas las rebabas e hilos de la cabuya que no hayan entrado en la resina. Lijamos mal formaciones que haya tomado la resina llegando al espesor deseado, se prepara masilla Mustang con la que se cubrirá secciones de la pieza para corregir rechupes y malformaciones, se deja secar.

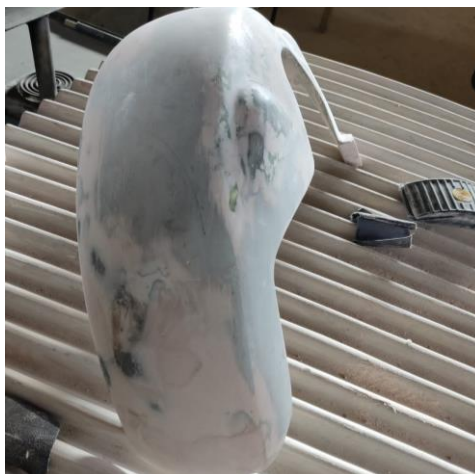


Figura 3.7 Acabados

En la figura 3.7 se puede observar un lijado completo a la pieza, cada cierta distancia comprobamos que el espesor sea el deseado y la superficie este completamente liza para un excelente acabado.

3.2.6.7 Proceso de pintura

Para el proceso final del modelo del guardafango se procede aplicar pintura de color negro para que el elemento sea similar al original, se utilizo como base una mesa limpia y un soporte para que el proceso de pintado sea uniforme.



Figura 3.8 Proceso de pintura

En la Figura 3.8 se muestra la pieza pintada en su totalidad después de corregir los excedentes de material con ayuda de una lija 1500 después se agregó fondo de relleno, y pintura.

3.2.6.8 Resultados obtenidos en la construcción del guardaplv

Como paso final se procede a aplicar la última capa de pintura, en este caso se aplica con brillo para que el elemento sea agradable a la vista y estético esperando un tiempo prudente de secado en el proceso de pintura.



Figura 3.9 Resultado

En la Figura 3.9 se muestra el proceso finalizado de construcción de la pieza, se puede identificar el detalle de la pintura y secado que se pudo obtener casi un diseño perfecto casi igual a la pieza original del guardafango delantero izquierdo del vehículo eléctrico Renault Twizy.



Figura 3.10 Resultado

En la Figura 3.10 se muestra el guardafango elaborado con su respectivo soporte fabricado en acero a36, el objetivo principal es que el elemento fabricado esté listo para el montaje en el vehículo eléctrico. Las tuercas utilizadas para la instalación del guardapolvo fabricado serán las tuercas originales de fabrica para no alterar ningún parámetro que conlleve a la caída o mal montaje del elemento. El método para realizar la fijación de los elementos de sujeción y el guardapolvo se realizaron con ayuda de una pega utilizada para pegar los parabrisas de los vehículos.

3.2.7 RESULTADOS DE COMPARACIÓN

El guardafango construido con la mezcla entre la resina epóxica y la fibra de cabuya se comparó con el guardapolvo original que como base utiliza el material ABS donde se tomaran en cuenta dos aspectos de comparación los cuales son: precio de fabricación y peso de los guardapolvos.

En la Tabla 3.4 se observa los aspectos principales de comparación entre el guardafango original construido a base del material ABS y el guardapolvo fabricado que fue construido con la mezcla entre la resina epóxica y la fibra de cabuya.

Tabla 3.4 Aspectos principales de comparación del guardapolvo

Aspectos	Representación
Precio	Cantidad de materia
Peso	Mano de obra y materia prima

Fuente: Autores

3.2.7.1 Definición de los aspectos

En la Tabla 3.5 se observa cada uno de los aspectos tomados en cuenta antes mencionados para la comparación entre los guardapolvos.

Tabla 3.5 Aspectos del guardafango

Elemento	Aspectos	Descripción
Peso	Guardafango original	1.5 kg
	Guardafango fabricado	1.335 Kg
Costo	Guardafango original	185
	Guardafango fabricado	90.1

Fuente: Autores

3.2.7.2 Evaluación

En la Tabla 3.6 se tiene el rango de evaluación para realizar la evaluación entre los dos guardafangos con su respectivo porcentaje que empieza su rango desde menor que 70% y termina en mayor a 95%.

Tabla 3.6 Valores y porcentajes de evaluación

Excelente	Menor que 70
Muy bueno	Mayor que 70 y menor que 80
Bueno	Mayor que 80 y menor que 95
Regular	Mayor que 95

Fuente: Autores

3.2.7.3 Escala de rangos que puede depreciarse los valores

En la Tabla 3.7 se representa cada porcentaje con su respectiva valoración siendo el número uno con menos valor y el número cuatro representando como el valor más alto de fiabilidad.

Tabla 3.7 Rangos de depreciación

Evaluación de calidad	Valor
No satisfactorio	1
Poco satisfactorio	2
Satisfactorio	3
Muy satisfactorio	4

Fuente: Autores

Se puede determinar el análisis de cuantificación gracias a las siguientes formulas.

$$Cgf = \sum A$$

$$Cgo = \sum B$$

$$Ct = \sum M$$

$$Pgf = \frac{(Cgf)}{(Ct)} * 100\% \quad [3.1]$$

$$Pgo = \frac{(Cgo)}{(Ct)} * 100\% \quad [3.2]$$

Donde

A= El resultado obtenido del guardapolvo fabricado

B=EL resultado que se obtuvo del guardapolvo original

M= Valor del aspecto

Cgf. = Es el valor alzado del guardapolvo construido con respecto al guardapolvo original

Cgo. = Es el valor alzado del guardapolvo original con respecto al guardapolvo construido

Ct=Valor de evaluación del parámetro

Pgf = Porcentaje obtenido del guardapolvo construido

Pgo= Porcentaje obtenido del guardapolvo original

3.3. ANÁLISIS DE LOS ASPECTOS

Para realizar un análisis más exacto sobre el guardafango si es viable o no en el desarrollo de esta investigación se procede como primer paso a pesar los elementos para poder

determinar cuál es más liviano en comparación del otro, después de eso se procede hacer una valoración con la finalidad de obtener resultados y poder determinar cuál es mejor.

3.3.1 ANÁLISIS DE LA COMPARACIÓN DEL PESO

Después de analizar la masa de cada uno de los guardafangos tanto del original como del fabricado con ayuda de la balanza electrónica medidos en kilogramos se puede llegar a la conclusión que el guardafango fabricado tiene un peso mayor que el guardafango original,



Figura 3.11 Peso de los dos guardafangos

En la Figura 3.11 se muestra el proceso de pesaje del guardafango, de esta manera se puede identificar si el elemento fabricado es viable o no en el desarrollo de esta investigación.

En la Tabla 3.8 se representa la valoración de los distintos pesos del guardafango distribuidos en cuatro porcentajes desde muy satisfactorio hasta no satisfactorio siendo de 2.9 a 3.6 con pésima valoración y de 1 a 1.55 con más alta valoración.

Tabla 3.8 Valores de la masa del guardafango dividido en 4 rangos

Peso del guardafango (Kg)	Valores
2.9 a 3.6	No satisfactorio
2.3 a 3.6	Poco satisfactorio
1.2 a 1.8	Satisfactorio
0.4 a 1.2	Muy satisfactorio

Fuente: Autores

En la Tabla 3.9 se tiene el resultado de la calificación de los dos guardafangos con relación al peso, de esta manera se puede determinar que el guardafango fabricado tiene menos peso y alcanza una valoración más alta que el guardafango original.

Tabla 3.9 resultados de la calificación de los guardapolvos

Elementos	Valoración	Resultado
Guardafango fabricado	Muy satisfactorio	3
Guardafango original	Satisfactorio	4

Fuente: Autores

3.3.1.1 Explicación de resultados

El guardafango construido a base de la mezcla entre la resina epóxica y la fibra de cabuya tiene una calificación de 4 puntos por lo que nos da un resultado muy satisfactorio mientras que el guardafango original que tiene un puntaje de 3 puntos con un resultado satisfactorio en el estudio realizado.

3.3.1.2 Valoración de las tablas de resultados

Gracias a la recopilación de datos obtenidos en las tablas 3.6 y 3.7 con ayuda de las ecuaciones 3.1 y 3.2 que permiten obtener el valor de los dos guardafangos.

3.3.1.3 Resultados de los cálculos de los porcentajes obtenidos

$$C_{gf} = \sum 3$$

$$C_{go} = \sum 4$$

$$C_t = \sum 4$$

$$P_{gf} = \frac{(3)}{(4)} * 100\% \quad [3.1]$$

$$P_{gf} = 75\%$$

$$P_{go} = \frac{(4)}{(4)} * 100\% \quad [3.2]$$

$$P_{go} = 100\%$$

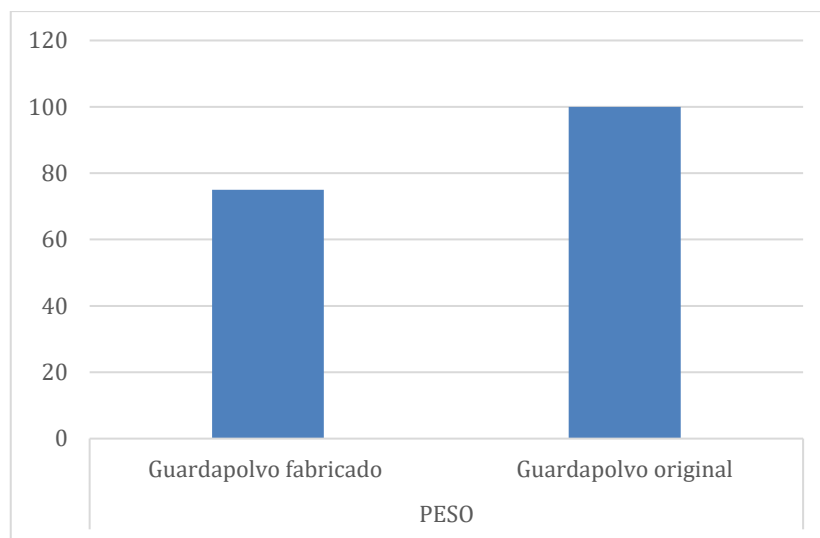


Figura 3.12 Resultados de los porcentajes de ambos guardafangos

En la Figura 3.12 podemos observar que el guardapolvo fabricado con la mezcla de la fibra de cabuya y la resina epóxica tiene un porcentaje del 100 obteniendo un resultado excelente mientras que el guardafango original alcanza un porcentaje de 75%.

3.3.1.4 Análisis de costos del prototipo

En la Tabla 3.10 se muestra una aproximación de los costos del guardafango elaborado donde también se realiza una ponderación donde se calificará en muy satisfactorio y no satisfactorio.

Tabla 3.10 Valores del costo del guardafango dividido en 4 rangos

Costo del guardafango (Kg)	Valores
250 a 300	No satisfactorio
150 a 250	Poco satisfactorio
125 a 150	Satisfactorio
75 a 125	Muy satisfactorio

Fuente: Autores

En la Tabla 3.11 se muestra el resultado de la calificación de los dos guardafangos con relación al costo donde el guardafango fabricado tiene un puntaje de 4 puntos mientras que el guardafango original un puntaje de 3 puntos.

Tabla 3.11 Resultados de la calificación de los guardafangos

Elementos	Valoración	Resultado
Guardafango fabricado	Muy satisfactorio	4
Guardafango original	Poco Satisfactorio	2

Fuente: Autores

3.3.1.5 Explicación de resultados

El guardafango construido a base de la mezcla entre la resina epóxica y la fibra de cabuya tiene una calificación de 4 puntos por lo que nos da un resultado muy satisfactorio mientras que el guardapolvo original que tiene un puntaje de 2 puntos con un resultado satisfactorio y eficiente.

3.3.1.6 Valoración de las tablas de resultados

Gracias a la recopilación de datos obtenidos en las Tablas 3.11 y 3.10 con ayuda de las ecuaciones 3.1 y 3.2 que permiten obtener el valor de los dos guardafangos.

3.3.1.7 Resultados de los cálculos de los porcentajes obtenidos

$$C_{gf} = \sum 4$$

$$C_{go} = \sum 2$$

$$C_t = \sum 4$$

$$P_{gf} = \frac{(4)}{(4)} * 100\% \quad [3.1]$$

$$P_{gf} = 100\%$$

$$P_{go} = \frac{(2)}{(4)} * 100\% \quad [3.2]$$

$$P_{go} = 50\%$$

La fabricación del prototipo con la mezcla adecuada del material compuesto que comprende la fibra de cabuya y la resina epóxica el cual da como resultado un precio accesible para entrar al mercado de latonería o chapa metálica ya que al ser un material de fabricación no muy industrializado puede ser ofrecido a los compradores como una opción viable para el cambio del guardafango en sus vehículos eléctricos.

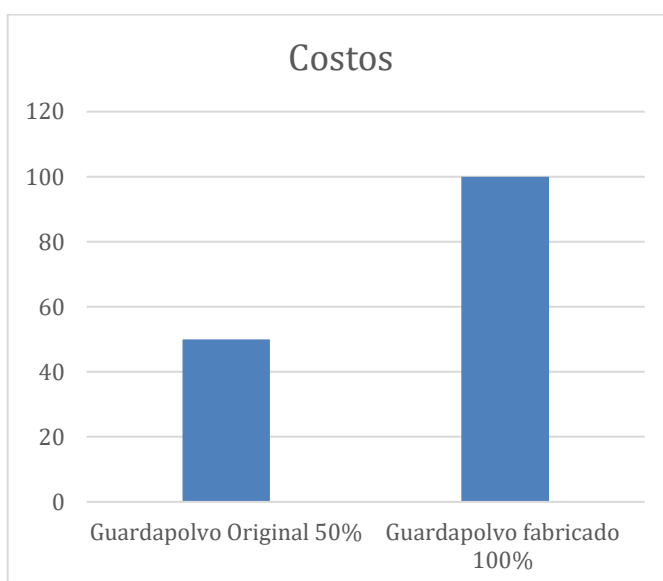


Figura 3.13 Resultados de los porcentajes de ambos guardafangos

En la Figura 3.13 podemos observar la diferencia de costos que el guardafango fabricado con la mezcla de la fibra de cabuya y la resina epóxica el cual tiene un porcentaje del 100%

obteniendo un resultado excelente mientras que el guardapolvo original alcanza un porcentaje de 50% obteniendo un resultado óptimo como se detalla en la Tabla 3.11 la que indica el resultado de la calificación de los dos guardafangos.

3.3.2 COSTOS TOTALES

Para la elaboración del prototipo se adquirió algunos materiales para facilitar la fabricación los cuales se detallan a continuación en la Tabla 3.12 costo unitario y total.

3.3.2.1 Costos de la fabricación del guardapolvo

Para tener el costo total del prototipo se debe tener en cuenta todos los materiales utilizados para la construcción del mismo, así como la mano de obra empleada, los días de trabajo, la movilización de las personas que realizaron el proyecto, el valor de las investigaciones realizadas.

En la Tabla 3.12 se detalla los costos para la construcción del prototipo los materiales usados desde el inicio del proceso de construcción del guardafango.

Tabla 3.12 Costos para la construcción del guardapolvo

Materiales	Cantidad	Costo del material (USD)	Costo total (USD)
Resina epóxica	12 kg		42
Fibra de vidrio	2 kg	4.50	9
Fibra de cabuya	6 kg	2.50	12.50
Vaselina	1 kg	1.50	1.50
Láminas de cartón	2	0.80	1.60
Guantes	1	1.50	150
Lijas	5	0.95	
Plumbagina	1 kg	3	3
Resina poliéster	4 kg	3.50	14
Mano de obra			
Proceso de pintura			15
TOTAL			90.1

Fuente: Autores

3.3.2.2 Costo total del proyecto

En la Tabla 3.13 se representa todos los costos totales que se usaron para la culminación del proyecto de tesis, estos valores fueron asumidos por las personas encargadas de culminar el proyecto de investigación para que éste pueda tener resultados positivos en un tiempo determinado.

Tabla 3.13 Costos totales

Descripción	Costo total
Adquisición del vehículo eléctrico Renault Twizy	900
Curso del programa SolidWorks	120
Curso del programa LSDyna	250
Transporte	95
Materiales para la elaboración del prototipo	90.10
Imprevistos	220
TOTAL	1675.10

Fuente: Autores

3.4 ANALISIS ESTRUCTURAL EN SOLIDWORKS

Es importante validar los diseños al comienzo del proceso también es recomendable ejecutar simulaciones estáticas para tener una idea de cómo se comportará el diseño que se está modelando. Hay pasos muy simples para obtener resultados reales y mediante ese proceso se logra reducir la cantidad de prototipos que podemos tener, de esta manera se reduce las opciones y se puede trabajar solo con un prototipo estableciendo esfuerzos y parámetros de manera más segura.

Pero antes de hablar de los pasos para realizar una simulación estática, se debe considerar los factores clave que se derivan de la conceptualización del proyecto. Al diseñar una pieza en la que luego realizaremos una simulación estática, debemos tener claro qué estamos diseñando, ya sea una pieza sólida, una lámina metálica o miembros estructurales. Esto es importante porque la simulación pueda tener en cuenta estos factores para que el resultado final en el proyecto de investigación de valores sustentables y que el proyecto sea viable y confiable.

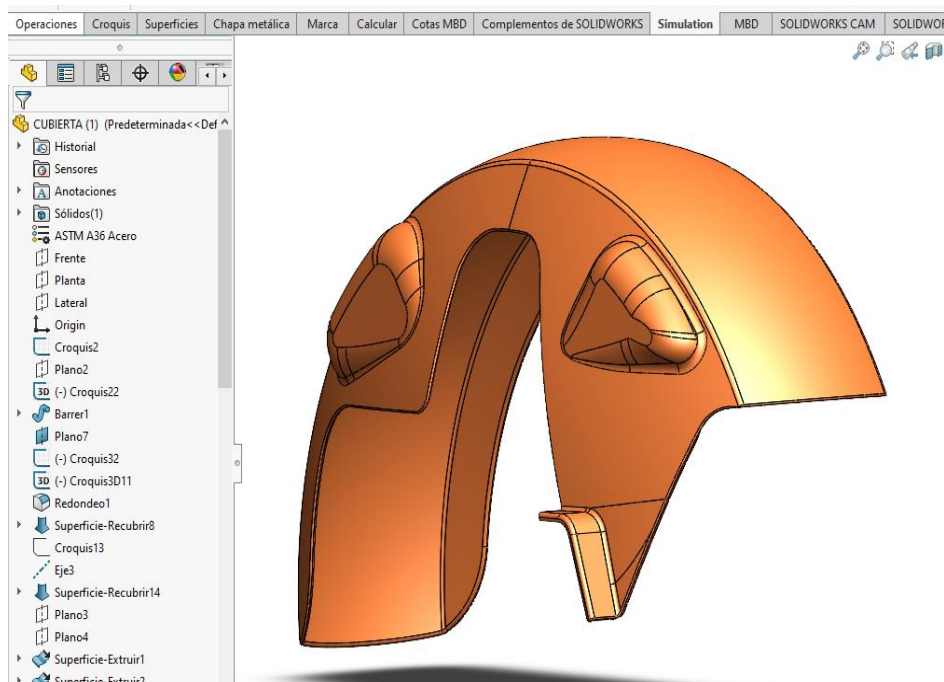


Figura 3.14 Guardafango CAD

En la Figura 3.14 se muestra el guardafango elaborado en SolidWorks para el análisis estructural en el desarrollo de este proyecto se realizó un análisis estático en el modelado 3D del guardafango, al constar el programa dentro de malla curricular y tener conocimientos se procede a realizar el guardafango en el software.

Es importante tener en consideración si la pieza a simular es un elemento de ensamble o no ya que de eso dependerá si tiene grados de libertad o no, esto es porque si se va a realizar una simulación estática en una pieza de ensamble debe tener grados de libertad o de lo contrario no se podrá ejecutar de manera correcta la simulación. Una vez definidos todos los parámetros necesarios para el desarrollo de esta investigación se puede empezar a realizar todos los pasos para la una correcta simulación y para ello se cuenta con seis pasos a seguir los cuales son:

- Material
- Condiciones
- Mallado
- Analisis
- Resultados
- Interpretacion

3.4.1 SELECCIÓN DEL MATERIAL

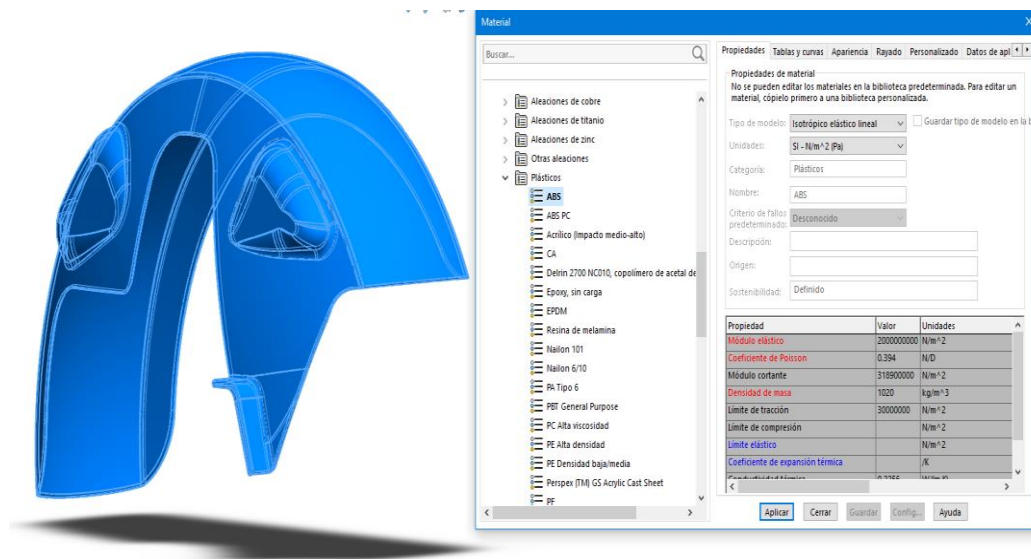


Figura 3.15 Selección de material

En la Figura 3.15 se representa el guardapolvo desarrollado en SolidWorks, como primer paso se selecciona el material original del elemento que es el ABS el cual tienes los valores como el módulo elástico 2000000000 N/m^2 , coeficiente de poisson 0.394, módulo cortante 318900000 N/m^2 , densidad de masa 1020 kg/m^3 , límite de tracción 30000000 N/m^2 . En la Figura 3.15 se muestra como ejemplo claro cómo se aplica el material.

Estas propiedades que acabamos de mencionar son las principales propiedades por considerar para una simulación estática, aunque los materiales tienen más propiedades que no ayudan con otros tipos de simulación, estas propiedades principales son las propiedades que se consideran para la simulación.

3.4.2 CARGAS EXTERNAS

Este tipo de cargas son necesarias ya que provocan reacciones que renderizan el elemento a un estado de equilibrio y el material presenta fallas donde las tensiones exceden el nivel permitido por las cartas de control y para poder determinar el factor de seguridad se debe basar en los criterios de falla del elemento para una correcta simulación considerando todos los factores importantes.

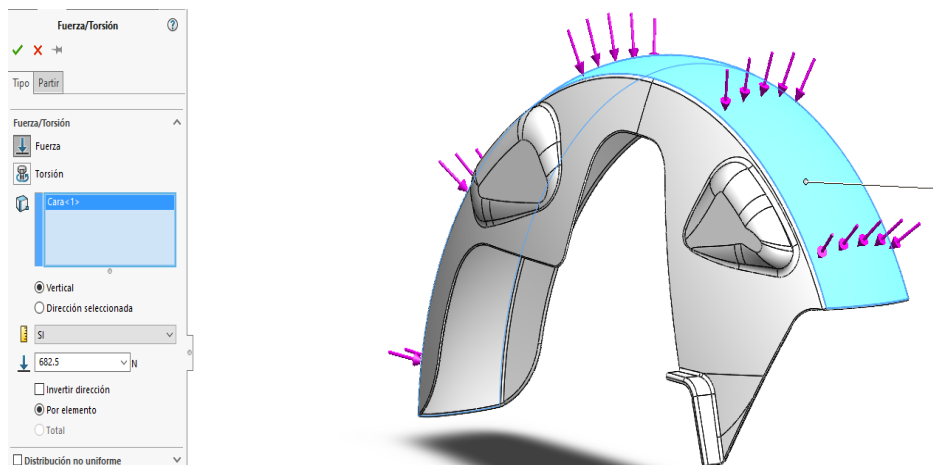


Figura 3.16 Cargas Externas

En la Figura 3.16 se aplica las cargas externas en el guardafango con una fuerza de 682,5N, se aplicó las fuerzas en la parte superior del guardapolvo ya que en un impacto sería la primera parte en ser afectada, al definir las condiciones se determina la aceleración y la fuerza mediante la utilización de dos ecuaciones que se detallan a continuación, para calcular dichas variables se utilizó la siguiente ecuación con las diferentes variables que nos ayudaran a determinar de manera más precisa la fuerza en un impacto a 40 km/h.

- Aceleración de 0 a 40 km/h en 6,1 segundos.
- Peso en vacío del vehículo 375 kg
- Transformamos los 40 km/h a m/s.

Es necesario realizar la transformación de km/h a m/s mediante la utilización del sistema internacional de unidades como se muestra a continuación:

$$\frac{40km}{h} \times \frac{1000m}{1km} \times \frac{1h}{3600s} = 11,11m/s \quad [3.3]$$

Para poder calcular la aceleración de 0 a 40 km/h del vehículo eléctrico es necesario utilizar la ecuación de la aceleración que se detalla en la ecuación 3.4:

$$a = \frac{Vf - Vo}{t} \quad [3.4]$$

Donde:

a= Aceleración

Vf= Velocidad final

V_0 = Velocidad inicial, esta velocidad es igual a 0

t = Tiempo

$$a = \frac{11,11m/s}{6,1s}$$

$$a = 1,82m/s^2$$

Después de haber determinado la aceleración se procede a determinar la fuerza de impacto mediante la utilización de la ecuación de la fuerza que se detalla a continuación, ecuación 3.5. Para resolver de manera correcta la ecuación se toma como variable la aceleración que se determinó en la ecuación 3.4 ya que al no tomar en cuenta la aceleración determinada en la anterior ecuación el resultado sería erróneo y presentaría fallas en el desarrollo de la investigación.

$$F = m \cdot a \quad [3.5]$$

Donde:

F = Fuerza

m = Masa

a = Aceleración

$$F = 375 \text{ kg} \times 1,82 \text{ m/s}^2$$

$$F = 682.5 \text{ N}$$

3.4.3 ASESOR DE SUJECIONES

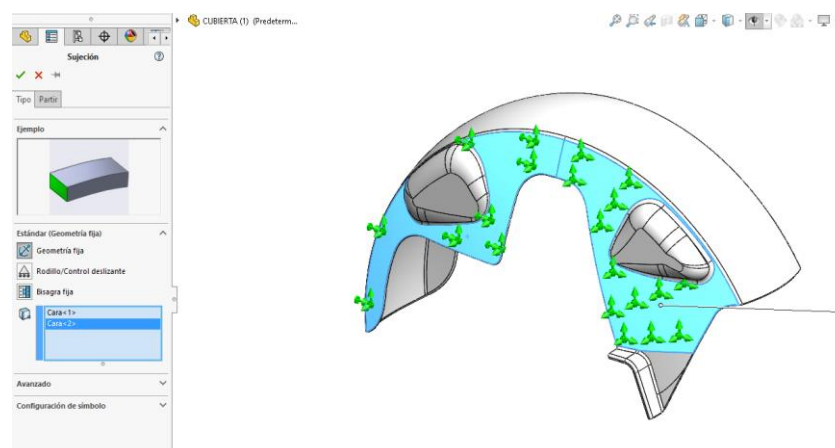


Figura 3.17 Geometría fija

En la Figura 3.17 se aplica las sujeciones en el costado interno del guardafango ya que en esa parte tiene los soportes de sujeción los cuales van sujetos a la carrocería del vehículo, al momento de poner sujeciones se restringe los grados de libertad, traslación y rotación, puede ser aplicado en vértices, aristas caras.

3.5.4 GENERACIÓN DE MALLA

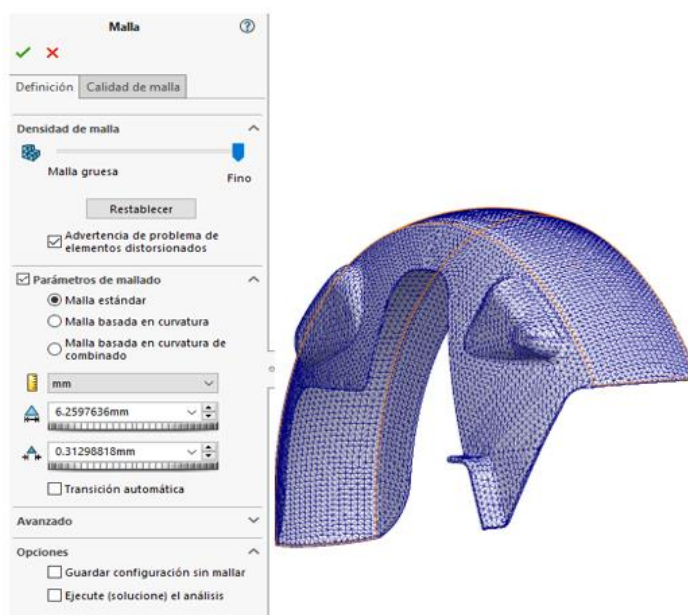


Figura 3.18 Aplicación de malla

En la Figura 3.18 se aplica el mallado fino en todo el guardafango, esto representan los nodos donde se va a realizar los cálculos de los esfuerzos por lo que para este estudio se utilizó la malla fina para que tenga más nodos de contacto y nos arroje más datos del esfuerzo aplicado.

La malla es una parte importante de la simulación, ya que define la precisión de la simulación, también define la cantidad de elementos que tendrá en la pieza o ensamble, cuantos más elementos tenga, más cálculos podrá realizar, esto quiere decir que se tendría un cada nodo un análisis que significará una mayor precisión.

Cuanto más fina es la malla, más precisa es, pero eso no significa que una malla con menos elementos no sea real, solo se observará cómo se comporta el material y cuáles son

las áreas más críticas que podrían fallar. Al crear una malla gruesa, el tiempo de solución es corto en comparación con una malla fina debido a la cantidad de elementos a calcular. Por lo que se puede primero ejecutar una simulación de malla gruesa para ver si obtiene la configuración correcta y, una vez que esté bien definida y garantizada por una simulación de malla gruesa, podemos ejecutar una simulación de red más grande. Vemos una convergencia de resultados.

3.4.5 RESULTADO DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL EN SOLIDWORK

La herramienta SolidWorks Simulation permite observar el análisis estructural, es posible configurar de manera muy sencilla las unidades en las que se desee trabajar, el tipo de material, cargas externas. Para poder obtener todos los datos del análisis estructural se debe seguir cuatro pasos sencillos los cuales se detallan a continuación:

- Diseñar el elemento en SolidWorks.
- Crear nuevo estudio estático en la opción Simulation, esta pestaña incluye la opción de sujeciones, cargas externas y mallado del modelo.
- Ejecutar el análisis.
- Ver los resultados obtenidos en SolidWorks Simulation el cual arroja datos como tensión, desplazamiento y deformación.

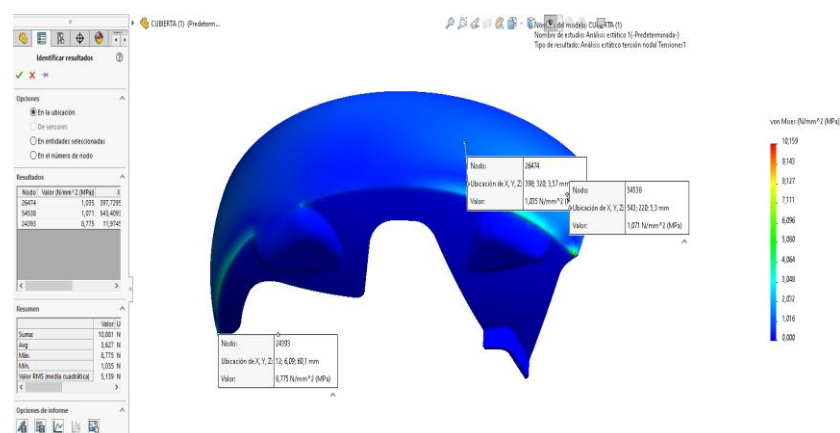


Figura 3.19 Tensión

En la Figura 3.19 se muestra las tensiones y fuerzas internas provocadas por las cargas externas que son aplicadas al elemento lo cual puede provocar que falle o pueda romperse.

En la tensión se puede observar el límite ya que esta es una cantidad medida por la fuerza por área de unidad dentro de cualquier tipo de estructura, esta tensión está provocada por cargas externas que son aplicada fuera del elemento y puede ocasionar que el elemento falle o se rompa. Las unidades más comunes son los newtons, megapascales y pascales.

3.4.6 DESPLAZAMIENTO

El desplazamiento pequeño en áreas normales a las áreas de contacto no debe cambiar de trayectoria durante la carga por lo que la carga total aplicada es en un solo paso, pero esto puede arrojar resultados erróneos.

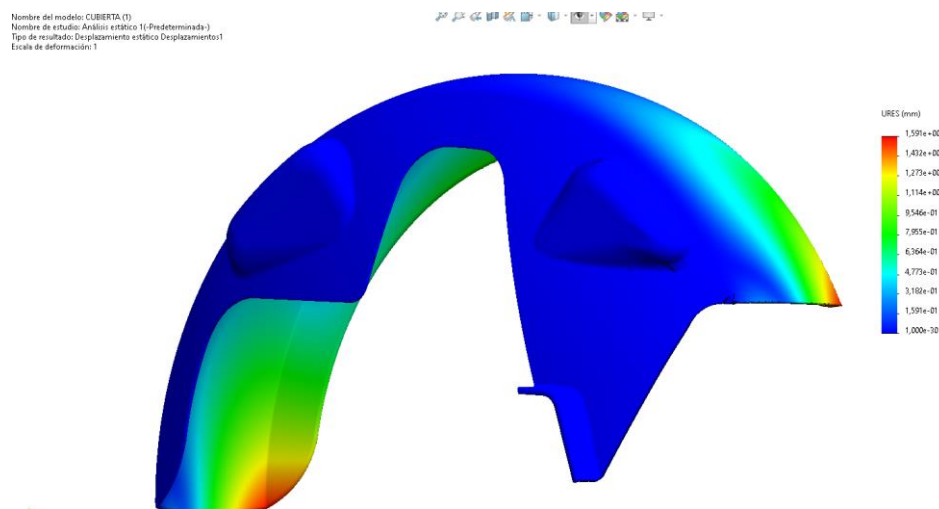


Figura 3.20 Desplazamiento

En la Figura 3.20 se observa el desplazamiento en mm ya que las zonas que no son tan cercanas a los soportes son las más propensas a desplazarse ya que al aplicar una carga externa a una estructura o elemento hace que se mueva desde su posición sin carga.

3.4.7 DEFORMACIÓN

La deformación unitaria está relacionada con el estilo de mallado que se haya configurado en la simulación, indica en un factor ESTRN que es simplemente como se va a deformar el material y en qué zona.

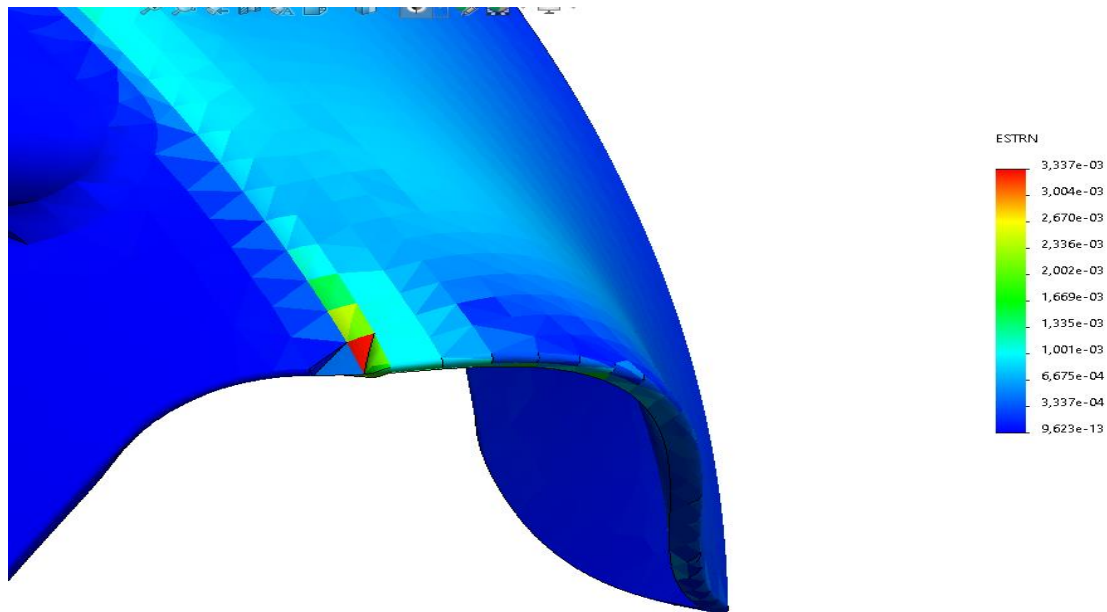


Figura 3.21 Deformación

En la Figura 3.21 se muestra la deformación unitaria está relacionada con el estilo de mallado que se haya configurado en la simulación, indica en un factor ESTRN que es simplemente como se va a deformar.

3.5 RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Para realizar el proceso de simulación de impacto se utilizó el programa computacional LS-Dyna el que nos permite ingresar todas las condiciones de simulación y cartas de control. Para continuar el proceso de computacional también se utiliza el programa LS-Dyna Program Manager

3.5.1 FIBRA DE CABUYA

Después de 25 ms de simulación asistida por computador a número de ciclos de 1 μ s, se obtiene los siguientes resultados en simulaciones de impacto de dos materiales los cuales son la fibra de cabuya y el ABS para obtener el balance de energías, esfuerzo de Von Mises, Flujo de Energía Interna, Deformación plástica efectiva y desplazamiento en x de los dos materiales.

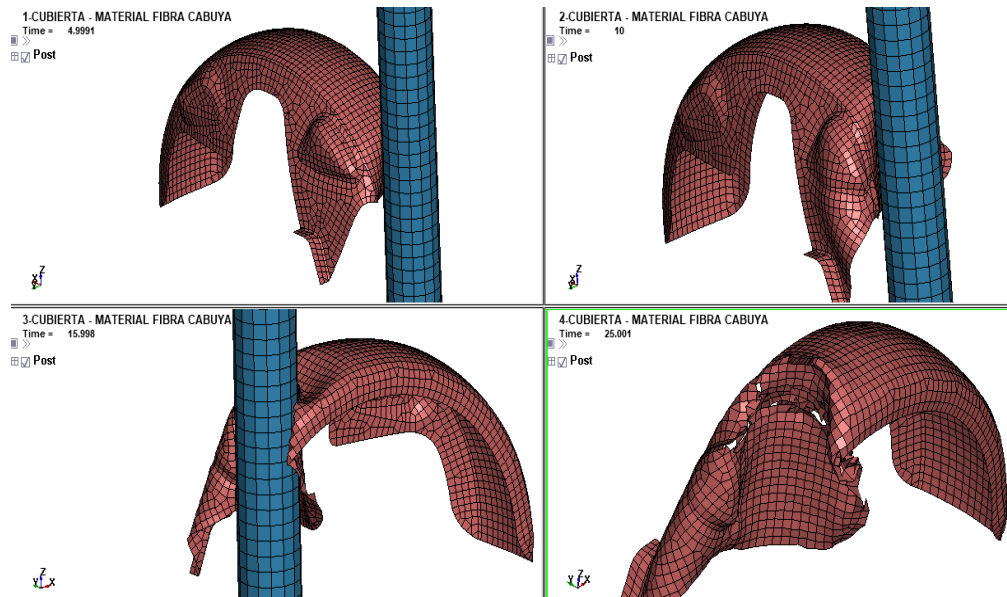


Figura 3.22 Resultados de simulación – Material Fibra de Cabuya

La Figura 3.22 indica el resultado de la simulación de impacto del guardafango ante un simulador de pierna de elementos finitos, aplicando como material Fibra de Cabuya en la cual se puede observar la deformación del mismo después de los 25 ms de ensayo computacional.

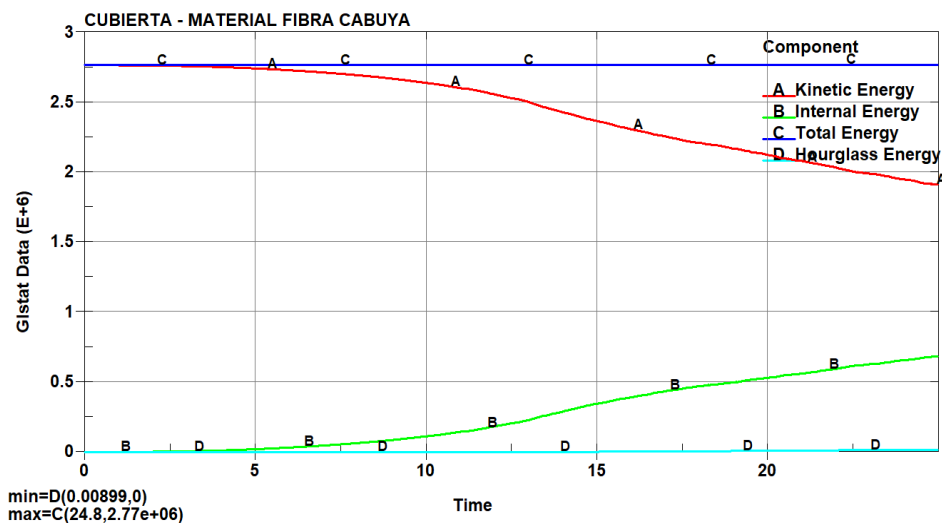


Figura 3.23 Balance de Energía.

En la Figura 3.23 se puede observar el balance de energías durante el ensayo computacional, en la cual se puede apreciar como la energía total se mantiene constante durante la simulación, esto se debe a que la energía total es la suma de cada una de las energías que intervienen en el impacto, además, se puede observar cómo incrementa la gráfica de la energía interna alcanzando un valor de 6.87×10^5 N-mm a los 25 ms.

El comportamiento de la energía de hourglass se mantiene en un valor cercano a 0 kN-mm lo que indica éxitos en la simulación. Al estar en tiempo de 25 ms la energía de hourglass tiene un valor de 1.60×10^4 kN-mm, procediendo a verificar el control de energía hourglass aplicando la siguiente ecuación como se indica en la ecuación para el desarrollo de esta investigación la ecuación es representada de la siguiente manera 3.6:

$$H = \frac{EH}{EI} \times 100\% \quad [3.6]$$

$$H = \frac{1.60 \times 10^4 \text{ Nmm}}{6.87 \times 10^5 \text{ Nmm}} \times 100\%$$

$$H = 2.32 \%$$

$$H < 10\%$$

Donde:

H= Control de energía de Hourglass (%)

EH= Energía de Hourglass (kN-mm)

EI= Energía Interna (kN-mm)

El control de la energía de Hourglass es menor al 10% de la energía interna por lo que los resultados de esta simulación son confiables.

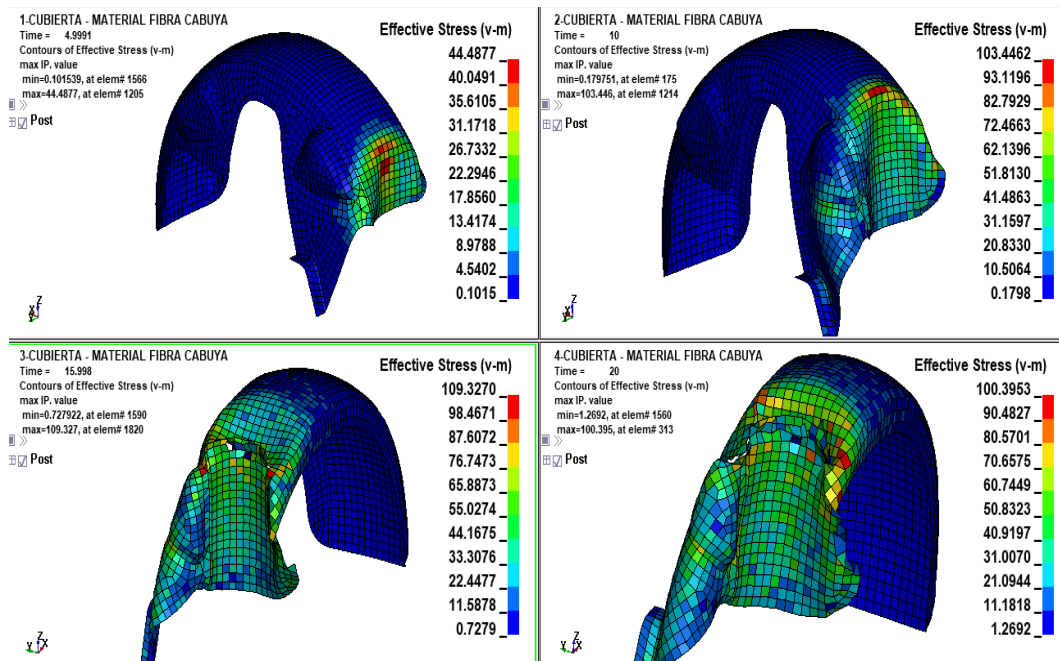


Figura 3.24 Esfuerzo de Von Mises – Material Fibra de Cabuya

La Figura 3.24 indica los resultados del esfuerzo de Von Mises en el guardafango durante el ensayo de impacto en la cual se puede observar que se alcanza un valor máximo 109.33 MPa a los 16 ms de simulación, mientras que al instante exacto de iniciar el impacto se tiene un valor de 44.49 Mpa. Además, se puede observar que las zonas de color rojo son los elementos finitos que tienen el mayor índice de esfuerzo en este tiempo.

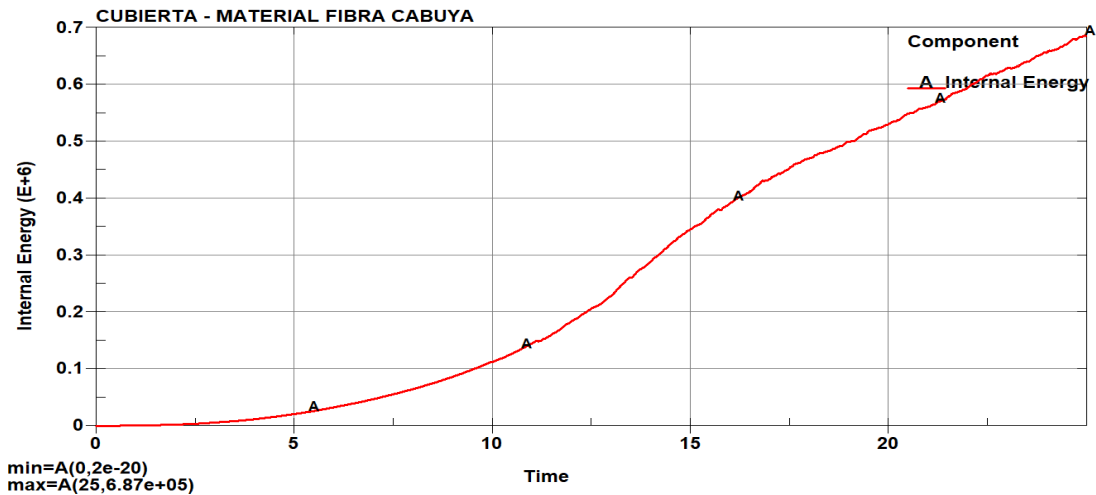


Figura 3.25 Flujo de Energía Interna – Material Fibra de Cabuya

En la Figura 3.25 se puede observar el comportamiento de la energía interna durante la simulación computacional, alcanzando un valor máximo de 6.87×10^5 N-mm a los 25 ms de duración del ensayo, lo que indica que el material de Fibra de Cabuya absorbe un valor de 687.1 J de la energía de impacto durante la colisión ante la barrera rígida.

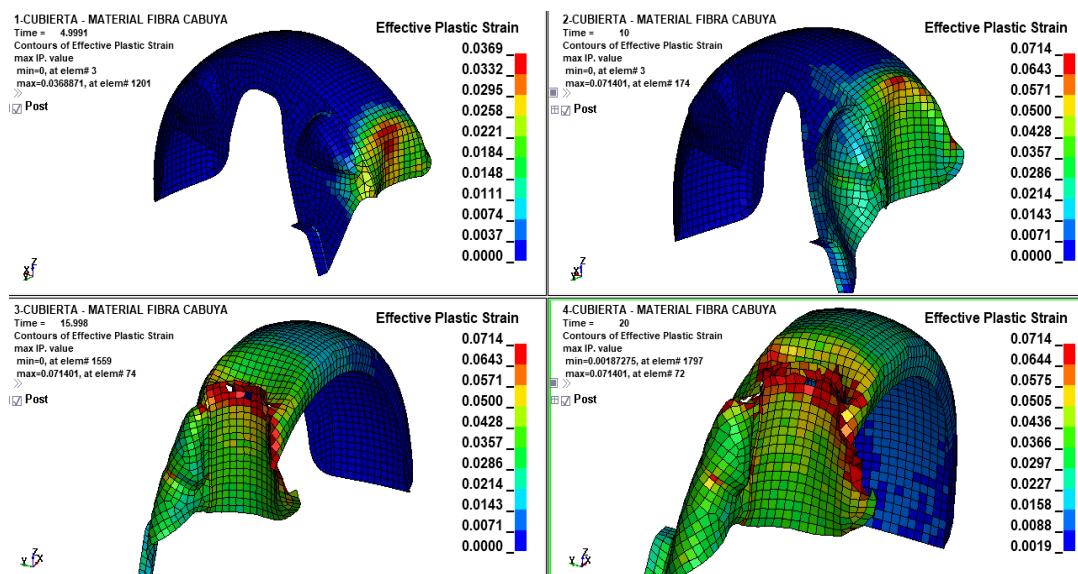


Figura 3.26 Deformación Plástica Efectiva – Material Fibra de Cabuya

La Figura 3.26 indica los resultados de la Deformación Plástica Efectiva en el guardafango durante el ensayo de impacto, en la cual se puede observar que se alcanza un valor máximo 0.0714 a los 10 ms de simulación, mientras que al instante exacto de iniciar el impacto se tiene un valor de 0.04. Además, se puede observar que las zonas de color rojo son los elementos finitos que tienen el mayor índice de deformación en este tiempo.

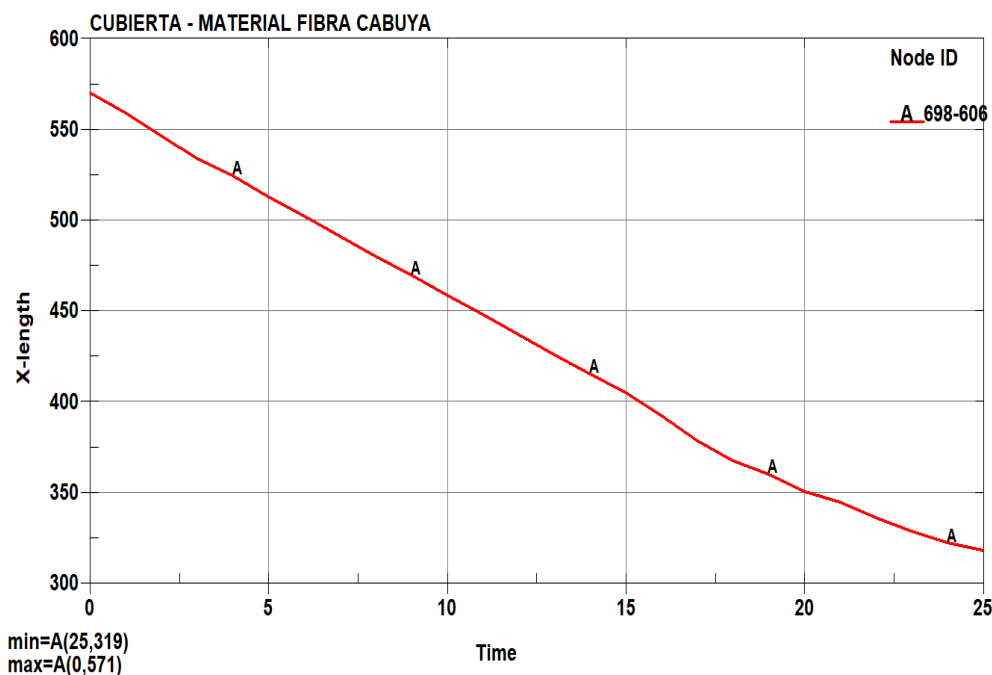


Figura 3.27 Desplazamiento en X – Material Fibra de Cabuya

En la Figura 3.27 se indica los desplazamientos obtenidos durante el ensayo computacional, en la cual se puede observar que la longitud inicial del guardafango es de 571 mm y al finalizar la simulación se alcanza una longitud final de 319 mm, para obtener el valor de la deformación total del guardafango se hace uso de la ecuación 3.7:

$$\Delta L = L_f - L_o \quad [3.7]$$

$$\Delta L = (571 - 319) \text{ mm}$$

$$\Delta L = 252 \text{ mm}$$

Donde:

ΔL = Variación de longitud del vehículo (mm)

L_f = Longitud final (mm)

L_o = Longitud inicial (mm)

3.5.2 ABS

El ABS es el material más comercial en la industria automotriz el cual compite por ser uno de los mejores materiales a la hora de construir algún elemento de un vehículo.

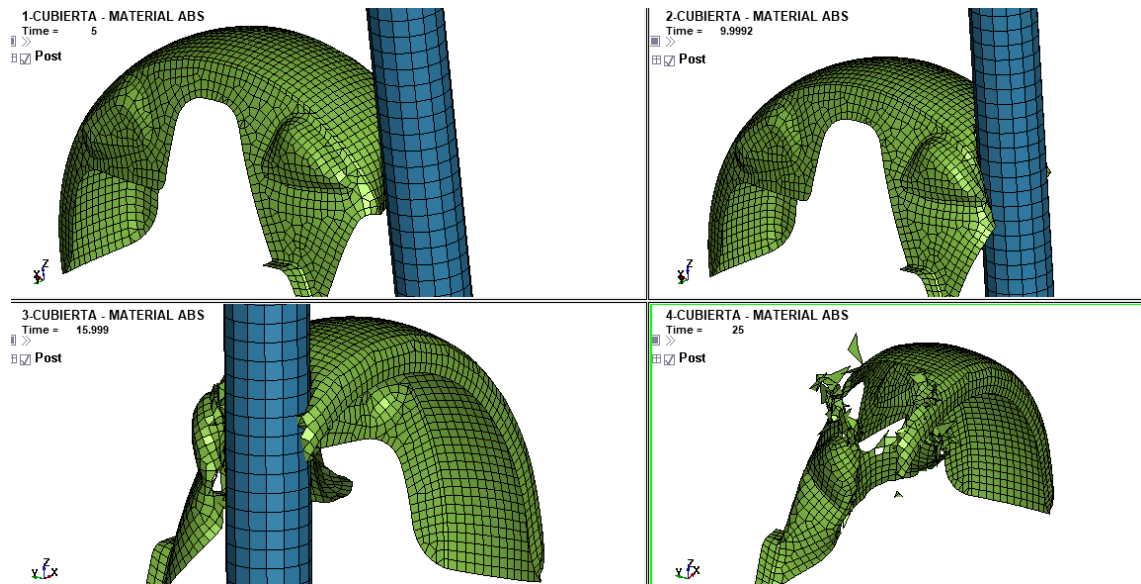


Figura 3.28 Resultados de simulación – Material ABS

La Figura 3.28 indica el resultado de la simulación del impacto del guardafango aplicando como material ABS, donde se observa la deformación del mismo después de los 25 ms de ensayo computacional. Para validar los resultados obtenidos en la simulación se procede a verificar el balance de energías para comprobar el valor de la energía de hourglass.

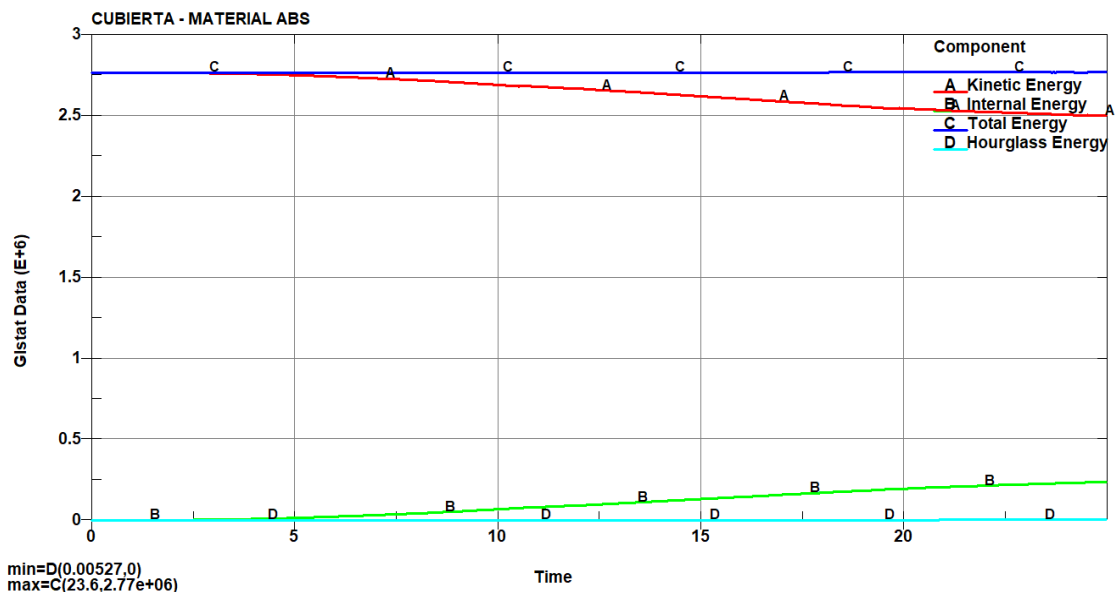


Figura 3.29 Balance de Energías

En la Figura 3.29 se puede observar el balance de energías durante el ensayo computacional.

Se puede apreciar como la energía total se mantiene constante durante la simulación, además, se puede observar cómo incrementa la gráfica de la energía interna alcanzando un valor de 2.35×10^5 N-mm a los 25 ms, por otro lado, el comportamiento de la energía de hourglass se mantiene en un valor cercano a 0 kN-mm lo que indica éxitos en la simulación. A los 25 ms la energía de hourglass tiene un valor de 3.14×10^3 N-mm, procediendo a verificar el control de energía hourglass aplicando la ecuación 3.6.

$$H = \frac{2.35 \times 10^5 + 04 \text{ Nmm}}{1.61 \times 10^5 + 05 \text{ Nmm}} \times 100\%$$

$$H = 1.33 \%$$

$$H < 10\%$$

El control de la energía de Hourglass es menor al 10% de la energía interna por lo que los resultados de esta simulación son altamente confiables.

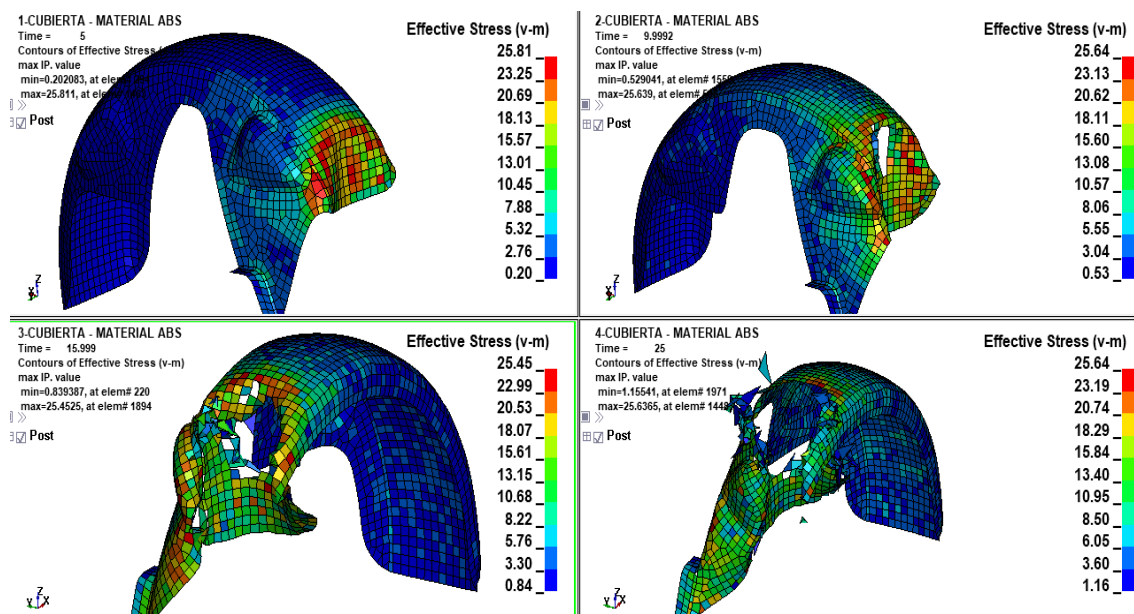


Figura 3.30 Esfuerzo de Von Mises – ABS

La Figura 3.30 indica los resultados del esfuerzo de Von Mises en el guardafango durante el ensayo de impacto, en la cual se puede observar que se alcanza un valor máximo 25.88 Mpa a los 15 ms de simulación, mientras que al instante exacto de iniciar el impacto se tiene

un valor de 25.81 Mpa. Además, se puede observar que las zonas de color rojo son los elementos finitos que tienen el mayor índice de esfuerzo en este tiempo.

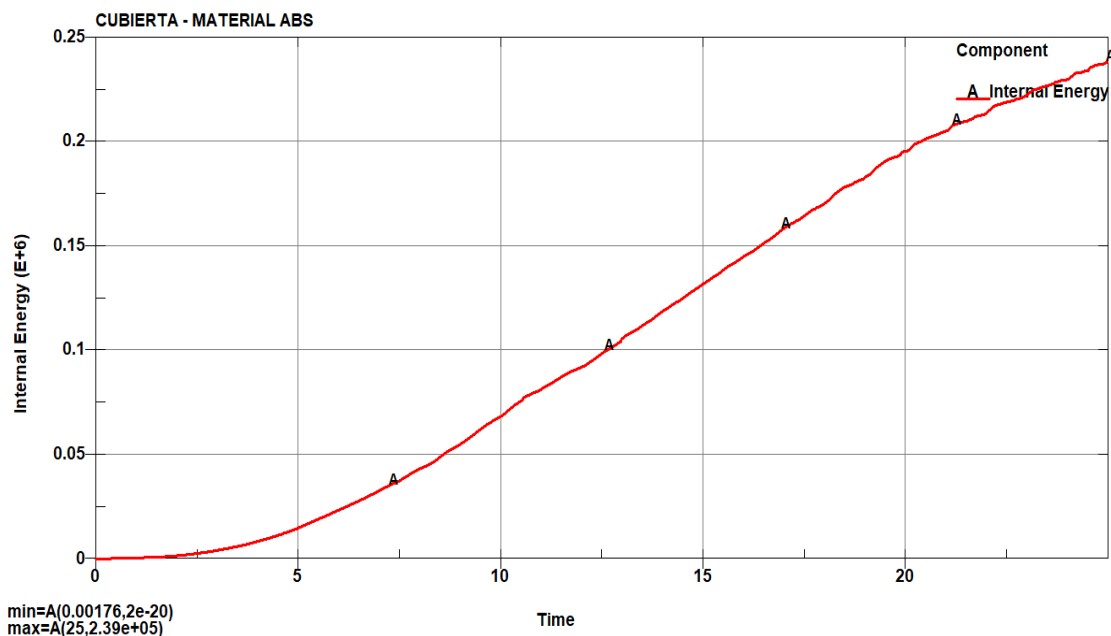


Figura 3.31 Flujo de Energía Interna – ABS

En la Figura 3.31 se puede observar el comportamiento de la energía interna durante la simulación computacional, alcanzando un valor de 2.39×10^5 N-mm a los 25 ms de duración del ensayo, lo que indica que el material de Fibra de Cabuya absorbe un valor de 239 J de la energía de impacto durante la colisión ante la barrera rígida.

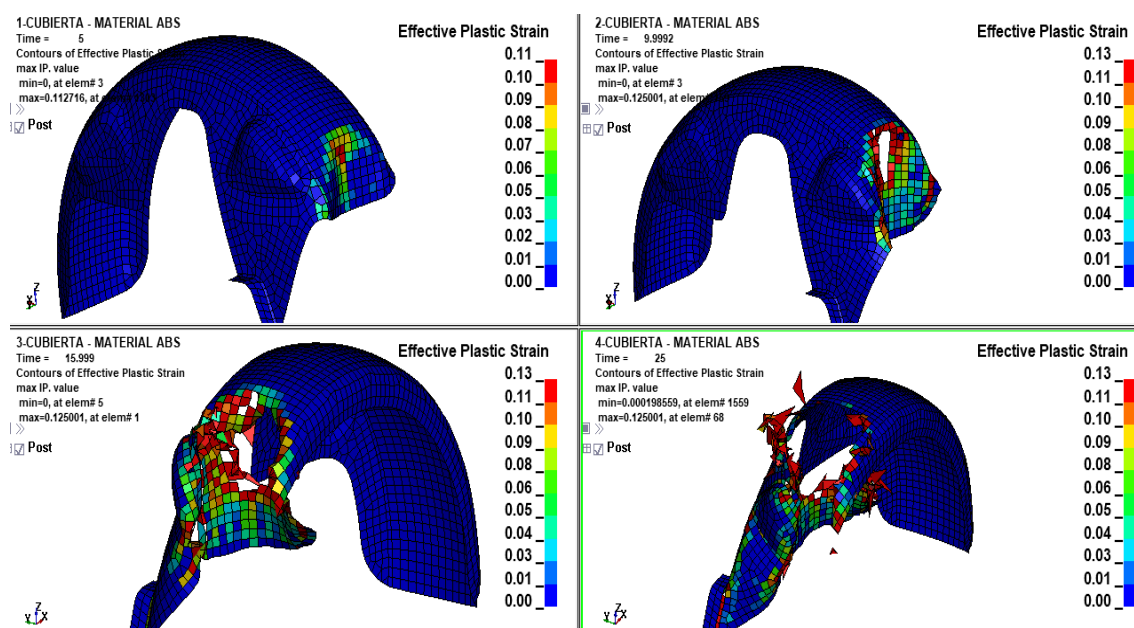


Figura 3.32 Deformación Plástica Efectiva – Material ABS

La Figura 3.32 indica los resultados de la Deformación Plástica Efectiva en el guardafango durante el ensayo de impacto, en la cual se puede observar que se alcanza un valor máximo 0.13 a los 25 ms de simulación, mientras que al instante exacto de iniciar el impacto se tiene un valor de 0.11. Además, se puede observar que las zonas de color rojo son los elementos finitos que tienen el mayor índice de deformación en ese tiempo determinado.

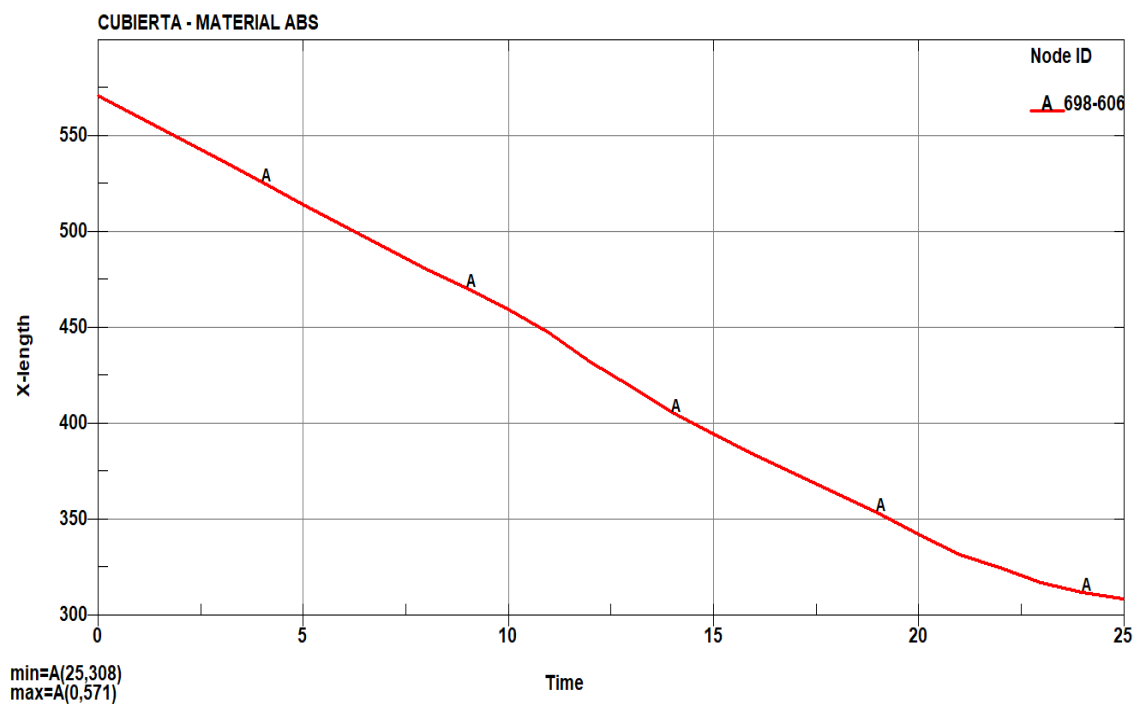


Figura 3.33 Desplazamiento en X – Material ABS

En la Figura 3.33 se indica los desplazamientos obtenidos durante el ensayo computacional.

Se puede observar que la longitud inicial del guardafango es de 571 mm y al finalizar la simulación se alcanza una longitud final de 308 mm, para obtener el valor de la deformación total del guardafango se hace uso de la ecuación 3.7.

$$\Delta L = L_f - L_o$$

$$\Delta L = (571 - 308) \text{ mm}$$

$$\Delta L = 263 \text{ mm}$$

3.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de las dos simulaciones tanto del material de fibra de cabuya como el Abs son comparados a continuación en algunos parámetros como son de energía interna vs energía total, esfuerzo de Von mises y deformación plástica efectiva

3.6.1. ENERGÍA INTERNA VS ENERGÍA TOTAL

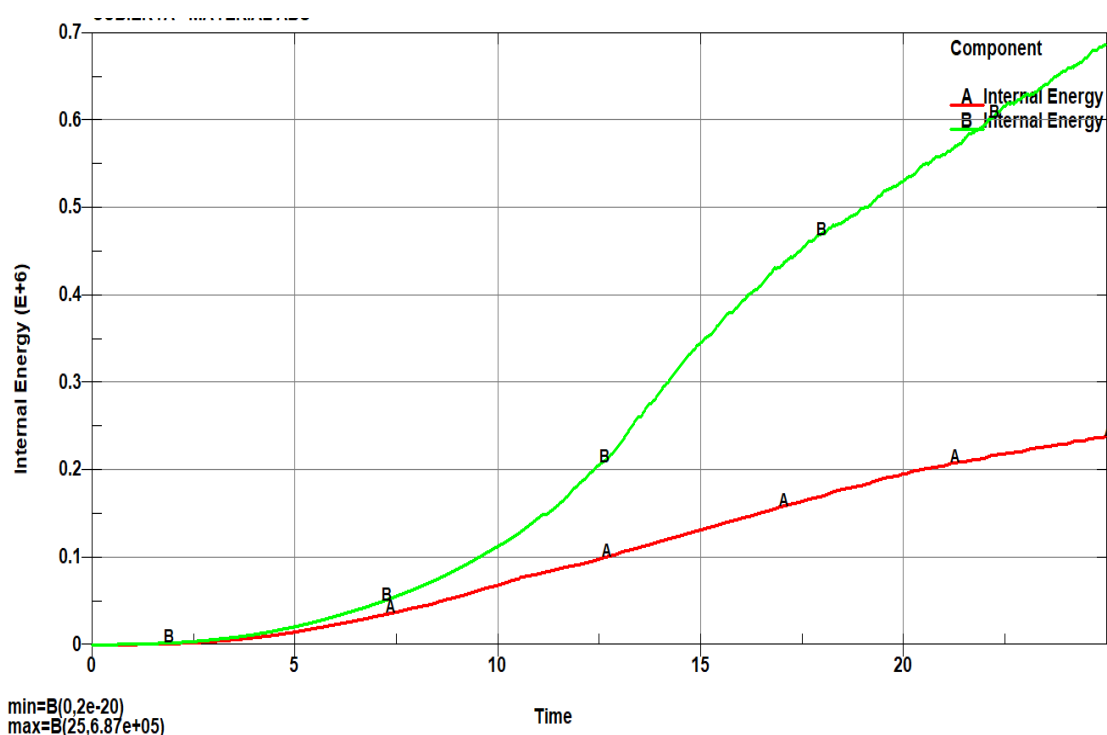


Figura 3.34 Flujo de Energía Interna – 2 simulaciones

En la Figura 3.34 durante los primeros 5 ms de iniciar el impacto ante el simulador de pierna tridimensional de elementos finitos como los dos materiales de prueba tienen un comportamiento similar alcanzando un valor de energía interna de 1.39×10^4 N-mm, a partir de este punto la absorción de la energía de impacto es mayor en el material de Fibra de cabuya llegando a un valor máximo de 6.87×10^5 N-mm a los 25 ms de simulación computacional. Por otro lado, la simulación de impacto del guardafango con material de ABS absorbe un valor de 2.39×10^5 N-mm de la energía de impacto en la presente investigación.

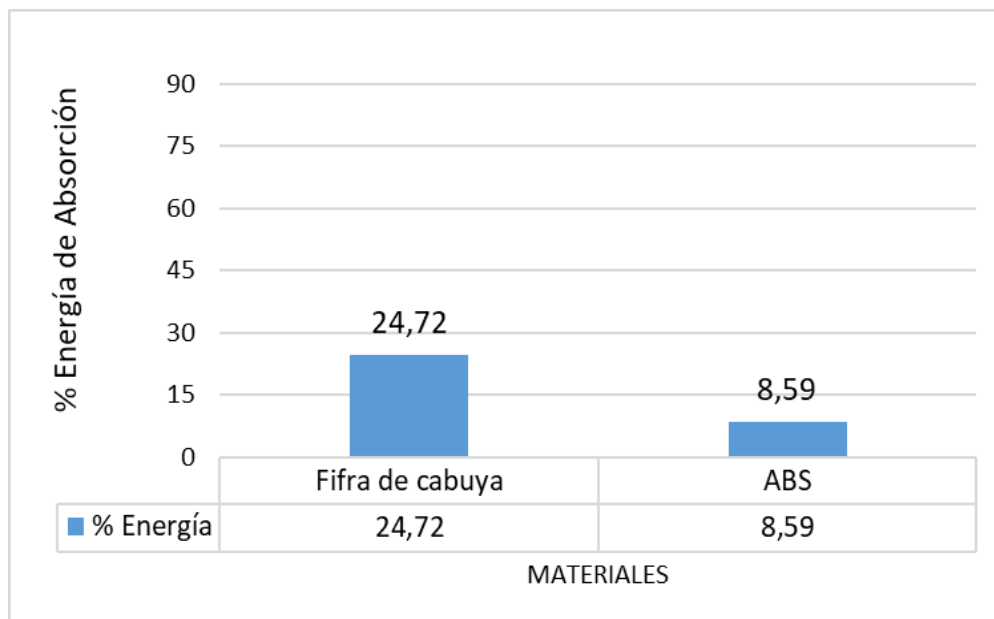


Figura 3.35 Porcentaje de Energía Interna – 2 simulaciones

En la Figura 3.35 se indica el porcentaje de la energía interna que absorbe cada material después de los 25 ms de simulación, en la cual se puede observar que el material de Fibra de cabuya tiene muy mayor índice de absorción de energía de impacto alcanzando los 24.72%, mientras que el material de ABS absorbe un valor de 8.59% lo que es un 16.13% menos que el material de Fibra de cabuya. De esta manera se puede decir que el material de Fibra de cabuya tiene una menor resistencia ante un impacto, procediendo a analizar el siguiente punto.

3.6.2. ESFUERZO DE VON MISES

Durante el tiempo de simulación asistida por computador se presentan diferentes fluctuaciones de esfuerzo en cada ensayo con los diferentes materiales puestos a prueba, se observa los diferentes esfuerzos alcanzados durante cada mili segundo, en donde se puede apreciar que el material de ABS alcanza su punto más alto a los 15 ms llegando a un valor de 25.87 Mpa, por otro lado, considerando las propiedades mecánicas del material anteriormente expuestas, la cubierta con ABS a partir del primer ms del impacto supera los 18.53 Mpa que es un valor mayor al límite de fluencia del material, lo que indica que a partir de este punto se tiene una deformación permanente en el guardafango.

Con respecto a la simulación de la cubierta con Fibra de cabuya, en la figura mencionada se puede observar que desde el 1 ms se tiene un valor de 14.78 Mpa, considerando las propiedades mecánicas del material su límite de fluencia es de 2.59 Mpa, lo que indica que a partir del 1 ms se tiene una deformación permanente en el material, además, se puede observar que se alcanza un valor máximo de 109.32 Mpa y el valor de resistencia ultima a la tracción del material es de 110.07 Mpa, lo que indica que la rotura de malla en la simulación no fue provocada por los esfuerzos de Von Mises alcanzados en la simulación, procediendo de esta manera a continuar con el siguiente análisis para determinar los valores críticos de la deformación plástica del material.

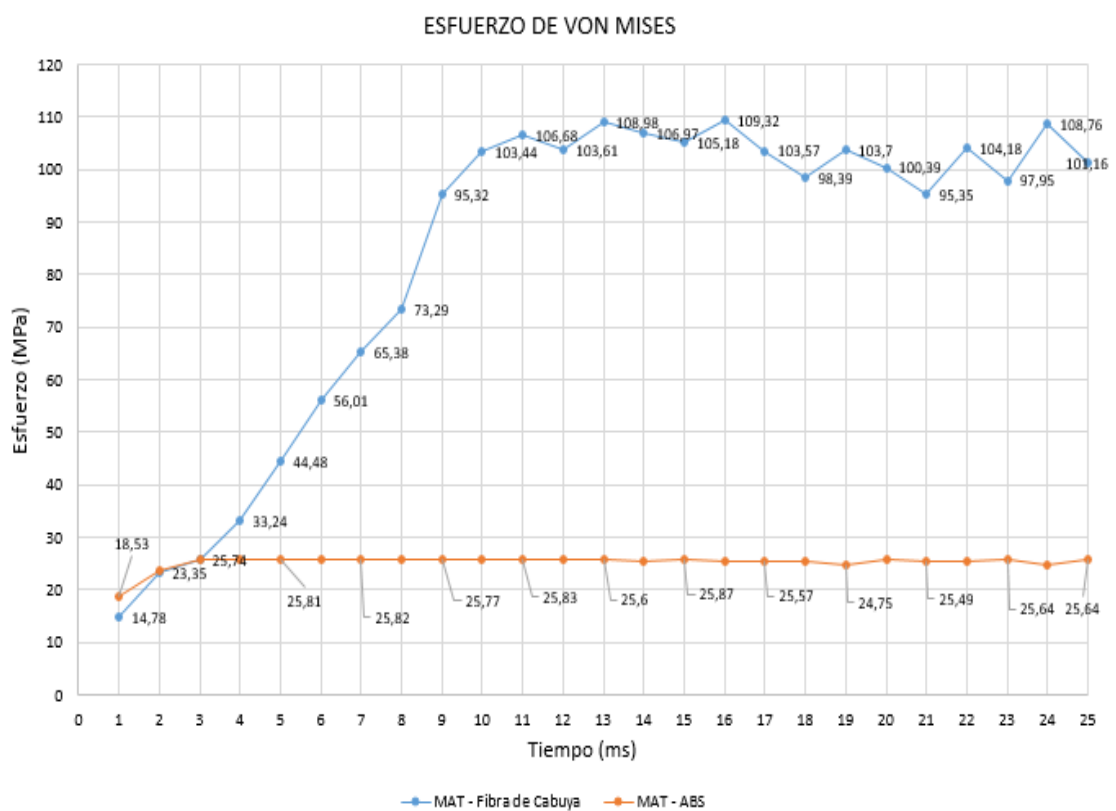


Figura 3.36 Esfuerzo de Von Mises – 2 simulaciones

Además, en la Figura 3.36 se puede observar como el flujo del esfuerzo de Von Mises es mayor en el material de Fibra de cabuya, este esfuerzo se mantiene creciendo hasta alcanzar los 109.32 Mpa en los 16 ms, a partir de ese instante mantiene fluctuaciones de esfuerzo entre los 95 y 108 Mpa.

Por otro lado, el comportamiento de los esfuerzos en el material de ABS se mantiene de forma constante hasta los 25.64 Mpa, lo que es 82.36 Mpa menos que el material de Fibra

de cabuya, indicando de esta manera que el material alternativo aplicando fibra de cabuya tiene mejores propiedades mecánicas ante los esfuerzos de un impacto.

3.6.3 DEFORMACIÓN PLÁSTICA EFECTIVA

Para la primera simulación aplicando como material de prueba ABS, se logró observar anteriormente que el material alcanza la deformación permanente, pero sin evidenciar la rotura de malla en la simulación, para lo cual se procede a analizar la deformación unitaria alcanzada en cada milisegundo.

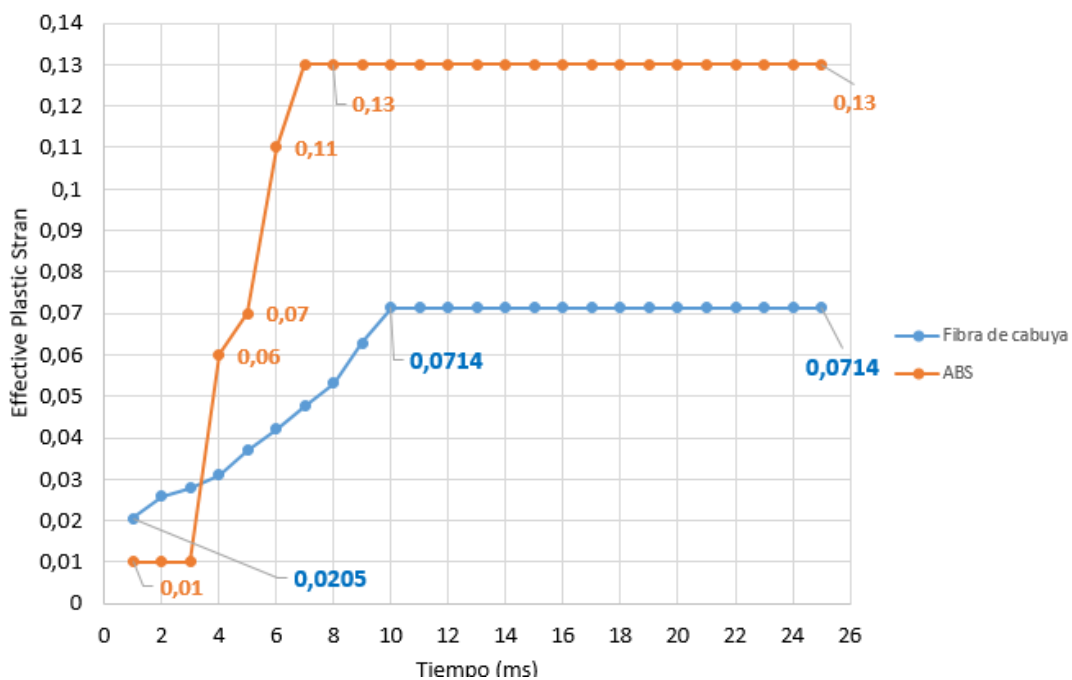


Figura 3.37 Effective Plastic Stran – 2 simulaciones

En la Figura 3.37 se puede observar como el material no sufre deformación durante los 5 ms, a partir de este punto la deformación unitaria crece progresivamente hasta alcanzar los 0.13 mm/mm en el material de ABS, considerando los valores de las características mecánicas del material su deformación unitaria máxima es de 0.125 mm/mm, lo que indica que el material a superado este límite por lo tanto sufre la rotura permanente en cada uno de los elementos finitos de malla.

En cuanto a la segunda simulación aplicando como material sustituto Fibra de cabuya, se logró observar anteriormente que el material alcanza la deformación permanente, como también se logró evidenciar la rotura de malla en la simulación, para lo cual se procede a analizar la deformación unitaria alcanzada en cada milisegundo.

En la Figura 3.37 se puede observar como el material tiene una deformación inicial de 0.0205 mm/mm, a partir de este punto la deformación unitaria crece progresivamente hasta alcanzar los 0.0714 mm/mm en los 10 ms y manteniendo constante este valor hasta los 25 ms de simulación

Considerando las características mecánicas del material su deformación unitaria máxima es de 0.0714 mm/mm, lo que indica que el material de fibra de cabuya a partir de este punto a alcanzado el límite de deformación unitaria máxima lo que produce la rotura permanente en cada uno de los elementos finitos de la malla del guardafango.

3.6.4. DEFORMACIÓN GENERAL

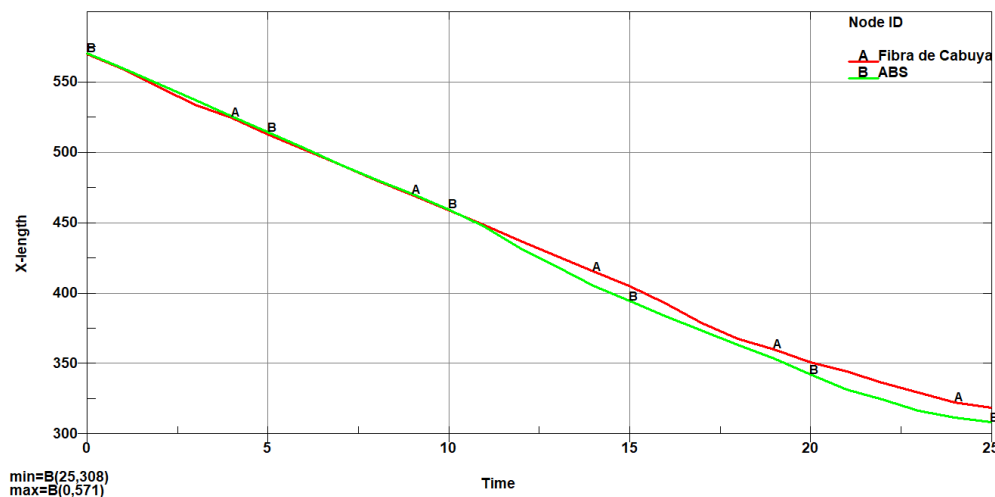


Figura 3.38 Desplazamiento en X – 2 simulaciones

En la Figura 3.38 se muestra que después de cada simulación computacional se refleja una deformación diferente en cada uno de los ensayos con los distintos materiales, se identifica la longitud inicial del guardafango que es de 571 mm y después del ensayo de impacto ante un simulador de pierna tridimensional de elementos finitos se alcanza una deformación

general de 263 mm con el material de ABS, por otro lado al aplicar el material sustituto de Fibra de cabuya se obtiene una deformación general de 252 mm, lo que indica que con el material de Fibra de cabuya se tiene un valor de 11 mm menos que la deformación con ABS.

En cada uno de los resultados obtenidos en este estudio se ha evidenciado como el material de Fibra de cabuya presenta un mayor rendimiento ante los fenómenos presentados durante el impacto ante un simulador de pierna, esto se debe a que el material presenta mejores características mecánica, desde una mejor resistencia ante los esfuerzos como también una mejor capacidad absorción de la energía interna en una colisión.

3.7 COMPARACION DE RESULTADOS FINALES

Después de realizar el proceso de simulación de elementos finitos tanto del material de fibra de cabuya como del policarbonato.

En la Tabla 3.15 la gran diferencia que existe entre los dos materiales antes mencionados y se puede observar que el policarbonato es un material más resistente para la fabricación del guardafango.

Tabla 3.14 Comparación de resultado

COMPARACION DE RESULTADOS		
	Material	mm
Deformación general	Simulación Fibra de cabuya	252
	Simulación ABS	263

Fuente: Autores

3.7.1 PESAJE DE LOS GUARDAFANGOS

Se procede a pesar los guardafangos donde se obtiene los siguientes resultados, peso total del guardafango original 1.81 kg y peso total del guardafango fabricado 2.72 kg. Con el siguiente resultado se llega a la determinación que el guardafango fabricado no es viable

para el desarrollo de esta investigación ya que supera por mucho el peso del original y para un vehículo eléctrico con poca autonomía no es recomendable. En la Tabla 3.16 se muestra los pesos del guardafango original y el fabricado.

Tabla 3.15 Peso de los guardafangos

Descripción	Valores
Guardafango fabricado	1.32 kg
Soporte	1.38 kg
TOTAL	2.70 kg
Guardafango original	0.68 kg
Soporte	1.13 kg
TOTAL	1.81 kg

Fuente: Autores

3.7.2. OTROS MATERIALES PARA UTILIZAR EN EL GUARDAFANGO

En la Tabla 3.16 se observa el peso del guardafango original y el fabricado donde se puede identificar que el guardafango fabricado es más pesado, por esta razón se realizó un análisis de otros materiales como alternativa para verificar si se es posible bajar el peso del material y que éste se encuentre en un peso más acorde para que la investigación pueda ser base para un futuro en otros estudios la utilización de diferentes materiales.

Material	Resistencia a la tracción (GPa)	Resistencia específica (GPa)	Densidad (g/cm³)	Módulo elástico (GPa)
Fibra de vidrio	3.45	1.34	2.58	131
Fibra de carbono	4.8	2.70	1.78	228-724
Kevlar	3.45	1.34	2.58	72.5
Aluminio	0.09	-	2.7	70
Acero a36	400		7.58	250

Figura 3.39 Densidad de materiales

Fuente: (Vaca Uribe, 2013)

En la Figura 3.39 se muestra diferentes materiales que servirán como base para investigaciones futuras, para la utilización de otras alternativas que logren minimizar considerablemente el peso en el guardafango y mejoren las propiedades mecánicas y obtener mejores resultados.

3.7.2.1 Proceso

Para realizar la comparativa de otros materiales que pueden ser utilizados para la fabricación del guardafango se procede a realizar el siguiente procedimiento, como primer paso hay que encontrar el volumen del guardafango para esto se utiliza la fórmula de la densidad donde se despeja el volumen, en la ecuación 3.8 se indica la fórmula de la densidad:

$$d = \frac{m}{v} \quad [3.8]$$

Donde:

d= densidad de la fibra de cabuya

m= masa del guardafango

v= volumen

Como primer paso hay que encontrar el volumen del guardafango:

$$v = \frac{m}{d}$$

$$v = \frac{1330g}{1.3g/cm^3}$$

$$v = 1023.07cm^3$$

Una vez encontrado el volumen del guardafango se procede a encontrar la masa de la fibra de cabuya:

$$m = d \times v$$

$$m = 1.3 \frac{g}{cm^3} \times 1023.07cm^3$$

$$m = 1329.99 g$$

$$m_1 = 1.32 kg$$

La resina epóxica es el refuerzo utilizado en la elaboración del guardafango, se utiliza la densidad de la resina epóxica el cual se procede a encontrar la masa.

$$m = d \times v$$

$$m = 1.25 \times 10^{-9} \frac{g}{cm^3} \times 1023.07 cm^3$$

$$m = 1.27 \times 10^{-6} g$$

$$m_2 = 1.27 \times 10^{-9} kg$$

Se procede a realizar la sumatoria de la masa de la fibra de cabuya y la masa de la resina epóxica, de esta manera se encuentra la masa total del guardafango y coincide con la masa de la tabla 3.16.

$$m_T = m_1 + m_2$$

$$m_T = 1.32 kg + 1.27 \times 10^{-9} kg$$

$$m_T = 1.32 kg$$

Se procede a encontrar la masa de la fibra de carbono:

$$m = d \times v$$

$$m = 2.58 \frac{g}{cm^3} \times 1023.07 cm^3$$

$$m = 2639.52 g$$

$$m = 2.63 kg$$

Se procede a encontrar la masa de la fibra de vidrio:

$$m = d \times v$$

$$m = 1.78 \frac{g}{cm^3} \times 1023.07 cm^3$$

$$m = 1821.06 g$$

Para encontrar los porcentajes de la fibra y resina utilizada se procede a realizar el siguiente procedimiento, primero se procede a encontrar la fibra utilizada en esta investigación, se utilizó el 40% de matriz:

$$1.32 kg \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 40\%$$

$$x = 0.53kg$$

Segundo se procede a encontrar la resina utilizada, en esta investigación se utilizó el 60% de refuerzo:

$$1.32kg \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 60\%$$

$$x = 0.79kg$$

Se realiza la sumatoria de los dos resultados encontrados con anterioridad, esto representaría la masa total del guardafango.

$$x_T = 0.53kg + 0.79kg$$

$$x_T = 1.32kg$$

Con la masa de la fibra de carbono obtenida con anterioridad se procede a encontrar que cantidad de fibra de carbono se necesitaría respetando la fracción volumétrica del refuerzo que es el 40%, el valor encontrado se procede a sumar 0.79kg que representa el 60% de la matriz

$$2.63kg \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 40\%$$

$$x = 1.05kg$$

$$x = 1.05kg + 0.79kg$$

$$x = 1.84kg$$

Con la masa de la fibra de vidrio obtenida con anterioridad se procede a encontrar que cantidad de fibra de carbono se necesitaría respetando la fracción volumétrica del refuerzo que es el 40%, el valor encontrado se procede a sumar 0.79kg que representa el 60% de la matriz

$$1.82kg \rightarrow 100\%$$

$$x \rightarrow 40\%$$

$$x = 0.73kg$$

$$x = 0.73kg + 0.79kg$$

$$x = 1.52kg$$

3.7.2.2 Resultados

Como resultado se obtuvo que la fibra de vidrio para poder encontrar materiales alternos para la fabricación del guardafango se utilizó las operaciones matemáticas representadas con anterioridad y respetando las fracciones volumétricas utilizadas en la investigación, estas son el refuerzo que es la fibra de cabuya que representa el 40% y la matriz que es la resina epóxica que representa el 60%.

La determinación de los cálculos se basa teóricamente, pero se deja los datos y formulas necesarias para que investigaciones futuras puedan ser desarrolladas y determinar de mejor manera que material sería el más ideal para la elaboración del guardafango y que éste pueda ser de menor peso.

Tabla 3.16 Resultado de los materiales alternos

	Masa (g)	Volumen (cm3)	Densidad (g/cm3)
G.F (40% fibra)	528	406,15	1,3
G.F (60% matriz)	792	6.33x10¹¹	1.26x10⁻⁶
G. material compuesto	1320		
G.F (40% fibra de carbono)	728	408,98	1,78
G.F (60% matriz)	792	6.33x10¹¹	1.26x10⁻⁶
G.F fibra de carbono	1520		
G.F (40% fibra de vidrio)	1050	407,75	2,58
G.F (60% matriz)	792	6.33x10¹¹	1.26x10⁻⁶
G.F fibra de vidrio	1842		

Fuente: Autores

En la Tabla 3.16 se puede identificar que la resina epóxica y la fibra de cabuya sigue siendo el material más liviano para el uso en la fabricación del guardafango, pero como se dio a conocer con anterioridad los materiales como la fibra de vidrio y la fibra de carbono que fueron tomados en cuenta para la fabricación del guardafango es en relación a la fracción volumétrica que está echo el guardafango por lo que si el guardafango seria fabricado únicamente con los materiales antes mencionados su peso podría ser menor.

3.8 RESULTADOS DE LA COMPARACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS.

Para la comparación de los materiales compuestos se realizó una compilación de diferentes investigaciones y proyectos enfocadas a la caracterización de materiales compuestos enfocados a la industria automotriz, se obtuvo una amplia información de las propiedades mecánicas de los distintos materiales que se encuentran en la tabla lo que permite que esta investigación tenga algunas opciones a elegir y de esta manera determinar el mejor material.

En la Tabla 3.17 se detalla la información de los materiales compuestos ya caracterizados

Tabla 3.17 Compilación de caracterizaciones de materiales compuestos

Matriz (%)	Refuerzo (%)	Orientación	Resistencia máximo al impacto (J)
Resina epóxica 60	Fibra de cabuya 40	90°- 0°- 90°	1,31
Resina epóxica 75	Fibra de coco 25	90°- 0°- 90°	0,67

Fuente: Autores

3.8.1 COMPARACIÓN ENTRE LA FIBRA DE CABUYA Y LA FIBRA DE COCO

En la Tabla 3.18 se representa la caracterización del material compuesto entre resina epóxica y fibra de cabuya con sus dos diferentes fracciones volumétricas como se representa en la tabla 3.18 de esta manera se califica a las dos fracciones por medio de una valoración donde de 0.1 a 0.5 es insatisfactorio y de 1 a 1.31 representa una caracterización ideal.

Tabla 3.18 Valores de las dos caracterizaciones dividido en 4 rangos

Resultado de las caracterizaciones (J)	Valores
0.1 a 0.5	No satisfactorio
0.4 a 0.6	Poco satisfactorio
0.6 a 1	Satisfactorio
1 a 1.31	Muy satisfactorio

Fuente: Autores

En la Tabla 3.19 se tiene el resultado de la calificación de los dos materiales caracterizados donde la fibra de cabuya tiene un puntaje de 4 puntos mientras que la fibra de coco tiene un puntaje de 3 puntos.

Tabla 3.19 Resultados de las dos caracterizaciones

Elementos	Valoración	Resultado
Fibra de cabuya	Muy satisfactorio	4
Fibra de coco	Satisfactorio	3

Fuente: Autores

3.8.1.1 Explicación de resultados

La fibra de cabuya tiene una calificación de 4 puntos por lo que arroja un resultado muy satisfactorio mientras que la fibra de coco que tiene un puntaje de 2 puntos con un resultado regular y poco satisfactorio, se realiza este procedimiento para el buen desarrollo de la investigación.

3.8.1.2 Valoración de las tablas de resultados

Gracias a la recopilación de datos obtenidos en las tablas 3.18 y 3.17 con ayuda de las ecuaciones 3.1 y 3.2 que permiten obtener el valor final de la mejor caracterización en base a la resistencia a impacto.

3.8.1.3 Resultados de los cálculos de los porcentajes obtenidos

$$C_{gf} = \sum A = 4$$

$$C_{go} = \sum B = 3$$

$$C_t = \sum M = 4$$

$$P_{gf} = \frac{(4)}{(4)} * 100\%$$

$$P_{gf} = 100\%$$

$$P_{go} = \frac{(2)}{(4)} * 100\%$$

$$P_{go} = 50\%$$

La caracterización de la fibra de cabuya teniendo una mezcla que comprende 40% de refuerzo de fibra y 60% de resina epóxica la cual da como resultado una mayor resistencia al impacto mientras que la fibra de coco con una mezcla que comprende 25% de refuerzo de fibra y 75% de resina epóxica da como resultado una menor resistencia al impacto.

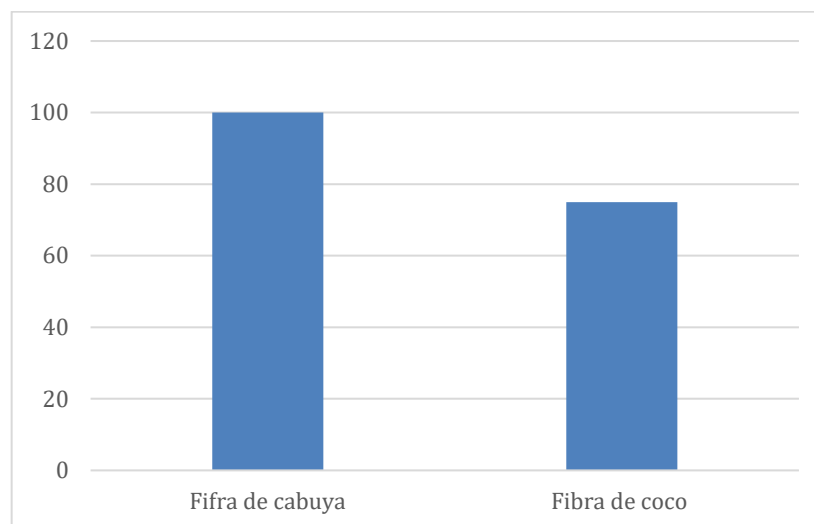


Figura 3.40 Resultados de los porcentajes de las dos fibras caracterizadas

En la figura 3.40 podemos observar que la caracterización de la fibra de cabuya tiene un porcentaje del 100 obteniendo un resultado excelente mientras que la fibra de coco alcanza un porcentaje de 75% obteniendo un resultado muy bueno.

3.9 VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Para validar la simulación realizada en el programa computacional Ls-Pre-Post se realiza la comparación de resultados tomando como punto de partida los datos obtenidos en el ensayo de flexión (Ponce Tobar, 2020b), tomando como resultados del esfuerzo máximo de flexión comparado con los resultados obtenidos con la simulación realizada tomando los

valores con los que se realizó el ensayo para obtener un porcentaje de aceptación llevado a la vida real.

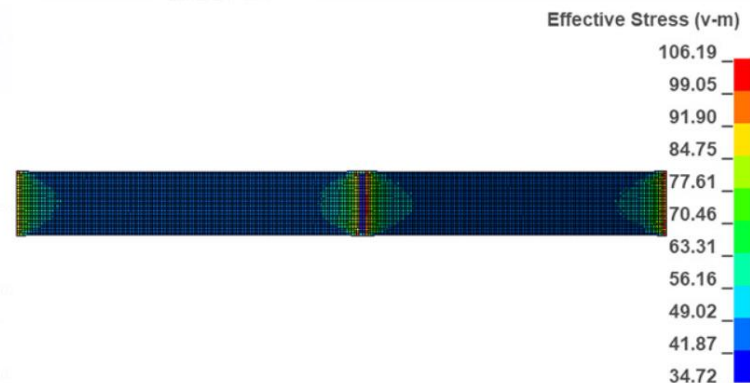


Figura 3.41 Resultado de la simulación

En la Figura 3.41 se puede observar el resultado de la simulación realizada en el programa computacional Ls-Pre-Post de la probeta sometida a condiciones iguales a las realizadas anteriormente también podemos observar que el valor máximo a la flexión que se puede obtener son 106.19 MPa el cual es un resultado satisfactorio para la comparación con el ensayo real.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad:	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:					
PARAMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Configuración:	90°-0° -90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,65 mm	Velocidad de ensayo	10mm/min		
Temperatura:	19,50° C	Humedad:	53,20 %		
RESULTADOS					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	91,51	107,10	3775,33	21,34	OAT
2	123,07	119,32	4475,17	19,01	OAT
3	97,82	101,27	3483,44	21,63	OAT
4	121,49	137,23	5555,91	18,58	OAT
5	110,45	122,08	4911,94	19,01	OAT
6	108,87	125,87	4719,53	20,4	OAT
Promedio	108,86	118,81	4486,89	20,00	-
Desv Est	12,54	13,00	760,39	1,31	-

Figura 3.42 Ensayo
Fuente: (Ponce Tobar, 2020b)

En la Figura 3.42 se puede observar la ficha de recolección de datos realizado en el centro de fomento productivo metalmecánico carroceros de donde se obtuvo todas las condiciones para la realización del ensayo computacional para la comparación con el ensayo real.

En la Tabla 3.20 se puede observar la comparación de resultados entre el ensayo físico y el ensayo realizado en el programa computacional Ls-Pre-Post.

Tabla 3.20 Comparación de resultado

COMPARACION DE RESULTADOS		
	Ensayos	(MPa)
Valor máximo a la tracción	Simulación de la probeta	106.19
	Ensayo real	107.10

Fuente: Autores

Teniendo como resultado final un porcentaje del 99.15% de similitud con la realidad y validando la simulación realizada en nuestro proyecto de titulación confirmando los resultados obtenidos en todas las simulaciones.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

La fibra de cabuya y la resina epóxica fue el material compuesto elegido para el desarrollo de esta investigación, como matriz se utilizará la resina epóxica y como refuerzo se utilizará la fibra de cabuya con su fracción volumétrica 60%-40% respectivamente, utilizando tres capas de fibra de cabuya con una orientación de 90°-0°-90°.

Mediante la utilización del software CAD se desarrolló el modelado del guardafango con las acotaciones, croquis y planos teniendo como resultado 572 mm el largo del guardafango, el ancho en la parte delantera es de 204 mm y la parte posterior es de 177 mm y el grosor es de 2.5 mm, se realizó este procedimiento para obtener un diseño con las dimensiones más cercanas a la pieza original.

Mediante la utilización del software Ls-PrePost se realizó el mallado tipo Shell del guardapolvo validado bajo el criterio Jacobian Ratio donde se obtiene un valor de 0.58 lo cual está dentro de la normativa y el espesor del guardapolvo se especifica en las cartas de control con 2.5 mm de espesor, se realizó un ensayo de impacto con ayuda del software CAE LS-Dyna simulando un impacto entre la fibra de cabuya y un simulador de pierna de elementos finitos, a una velocidad referencial de 40 km/h con el fin de evaluar el balance de energías durante el ensayo computacional y se tiene como resultado que la energía total se mantiene constante y la energía interna alcanza un valor de 6.87×10^5 N-mm a los 25 ms, para revisar el resultado de la energía de hourglas da como resultado 1.60×10^4 KN-mm y realizando el control de energía tenemos que es menor a 10% por lo tanto la simulación es confiable, esfuerzos de Von mises en el cual se obtuvo un valor máximo de 109.33 MPa a los 16mm de la simulación .

En el proceso de fabricación del guardafango se concluye hacerlo de una manera más técnica e industrial para que sus acabados y propiedades mejoren considerablemente ya que al hacerlo mediante un proceso de fabricación “casera” no podrá obtener un estándar considerable para poder ser un material prioritario en la industria automotriz en paneles de

carrocería ya que el peso obtenido en el guardafango fabricado es de 2.72 kg mucho mayor al guardafango original que tiene un peso de 1.81 kg.

4.2 RECOMENDACIONES

Es indispensable profundizar en investigaciones de materiales compuesto encaminadas a soportar grandes esfuerzos en paneles de carrocería, para que de esta manera se pueda incorporar investigaciones futuras enfocadas en materiales compuestos con mejores propiedades mecánicas ya que no se descarta que surja un material compuesto que sea apto para emplear en los paneles la carrocería.

El diseño 3D de las geometrías debe ser detallado con más exactitud ya que mientras mas detalles se logre plasmar más cercanos a la realidad será el resultado de la simulación, por lo que se recomienda investigar técnicas de modelado que permitan mejorar los detalles del guardafango.

Es importante dar continuidad a este estudio simulando la autoparte del vehículo con Fibra de Cabuya ante un simulador de pierna de elementos finitos, aplicando materiales que representen en mayor similitud el comportamiento de los huesos y carne de un humano, para determinar la seguridad y protección los peatones.

Para investigaciones futuras se recomienda no aplicar el material compuesto de resina epóxica con fibra de cabuya en partes estructurales o paneles de carrocería ya que el peso se aumenta en forma significativa

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguedelo, A. (2008). *Diagnostico exergetico del proceso de combustion en un motor Diesel*. Medellin.
2. Andrango, D. (04 de 2017). *repositorio digital UIDE*. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/1927/1/T-UIDE-135.pdf>
3. Arbolea Murillo, M. (25 de 06 de 2010). *Repositorio Universitas Publico Navarrensis*. Obtenido de <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/1862>
4. Armas Arteaga, E. Y. (Enero de 2015). *Repositotio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/9275>
5. Askeland, D. (2002). *Ciencia e ingiería de los materiales* . Mexico: International Thomson.
6. Ayala Erazo, Y. A. (17 de Marzo de 2016). *Repositorio Digital Universidad Tecnica del Norte* . Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/4715>
7. Borja, J. (1990). *Repositorio Institucional Sena* . Obtenido de <https://repositorio.sena.edu.co/handle/11404/5730>
8. Bosch, R. (2005). *Sistema de inyeccion Diesel por acumulador Common Rail*. Reverte.
10. Dávila, J. L. I., Galeas, S. I., Guerrero, V. H. P. D., Pontón, P. I., Rosas, N. M. I., Sotomayor, V. I., & Valdivieso, C. I. (2011). *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
11. Domingo Artieda, S. (15 de 10 de 2015). *Repositorio Digital Universiad Politecnica de Valencia* . Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/56062>
12. Encalada Caizapanta , A. F. (17 de 05 de 2021). *Repositorio digital UTN*. Obtenido de Available: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8609/2/ARTÍCULO.pdf>.

13. Ford. (Julio de 2016). *Ford Media Center*. Obtenido de <https://www.pt-mexico.com/articulos/las-fibras-de-agave-se-unen-a-la-lista-de-materiales-sustentables-de-ford>
14. Galeas, S. (12 de 2011). *Repositorio Digital Escuela Politecnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
15. Galvez, V. (2013). *SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO vol I*. Madrid : INSHT.
16. Garrido Quintana, D. A. (12 de 2016). *repositorio Digital UIDE*. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/1766?locale=es>
15. Gomez Ulluari, D. A. (2012). *Respositorio Institucional Universidad del Azuay*. Obtenido de <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/1433>
17. Granda Morocho, L. D. (febrero de 2018). *Repositorio Institucional de la Universidad Politecnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15150>
18. Guerrero, V. H. (12 de 2011). *Repositorio Digital Escuela Politecnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
19. Hernandez , J. (06 de 2014). *Emision de gases en vehiculo experimental diesel-biodiesel*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/281242221_Emision_de_gases_en_vehiculo_experimental_diesel-biodiesel (accessed May 17, 2021).
20. INEN. (17 de 05 de 2010). *Gestion ambiental, aire, vehiculos automotres. Determinacion de la opacidad de emisiones de escape de motores de diesel mediante la orueba estatica, Metodo de aceleracion libre*. Obtenido de Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2202.pdf>.
21. Jácome León, A. D. (2015). *Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/10373>

22. Kates, E. (1982). *Motores Diesel y de gas de alta compresión*. Barcelona-España: Reverté.
23. Mazón Ortiz, G. E. (2017). *Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales*.
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/25131>
24. Mariano. (05 de 08 de 2011). *Tecnología de los Plásticos*. Obtenido de <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resina-epoxi.html>
25. Mira Hernandez, C. (2011). *Repositorio Institucional Universidad EAFIT*. Obtenido de <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/2802?show=full>
26. Narvaez Moreno, J. (02 de 04 de 2019). *Repositorio Digital Universidad Tecnica del Norte*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/9007>
27. Noboa Asencio, A. B. (01 de 2019). *Repositorio Digital UIDE*. Obtenido de <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2892>
25. Pachama Nasimba, V. P. (08 de 2015). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10129>
28. Paredes Salinas, J. G. (Abril de 2015). *Repositorio Universidad Tecnica de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10373>
29. Parera, A. M. (1996). *Inyección electrónica en motores diesel*. Barcelona: Marcombo.
30. Parra, m. (05 de 05 de 2015). *Repositorio Universidad Politecnica De Valencia*. Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/49711>
31. Ponce Tobar, L. S. (19 de Marzo de 2020). *Repositorio Digital Universidad Técnica del Norte*. Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10299>
32. Ponce, T. (23 de 02 de 2014). *El bagazo de caña puede limpiar los rios, El Comercio*. Obtenido de

<https://especiales.elcomercio.com/2014/planetaIdeas/Febrero23/contaminacion.php>

33. Ramirez Cifuentes, J. S. (10 de 2013). *Repositorio Digital USFQ*. Obtenido de <http://192.188.53.14/handle/23000/65?offset=140>
34. Roas Valera, L. I. (25 de 11 de 2011). *Los vehiculos electricos*. Obtenido de https://www.nebrija.com/la_universidad/facultades/facultad-artes-letras/actividades/AulaPluriligie/articulos/LoretoRoas-coches-electricos.pdf
35. Robles E, S. (1990 pag 109-124). *Natural Fibers as Reinforcement. Journal of Ferrocement*. Bangkok: Board.
36. Ros Marin, J. A. (2017). *Vehiculos electricos e hibridos*. Madrid-España: Ediciones Paraninfo, SA.
37. Rosas , N. M. (12 de 2011). *Repositorio Digital Escuela Politecnica Nacional*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
38. Ruiz Garcia, M. (2015). *Repositorio Institucional de la Universidad Tecnologica de Pereira* . Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/5856>
39. Secretaria Nacional de Planificacion y Desarrollo, S. (2017-2021). Obtenido de <https://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PLAN-NACIONAL-DE-DESARROLLO-2017-2021.compressed.pdf>
40. Simpson, A. (2007). *Manual del motor Diesel* . Ediciones Tutor S.A.
41. Stupenengo, F. (2013 p. 7-8-9). Materiales comopuestos. *Materiales y materias primas*, p. 7-8-9.
42. Tambo Pucha, M. V. (07 de Enero de 2019). *Repositorio Institucional de la Universidad Internacional*. Obtenido de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/3138/1/TESIS%20DE%20MATERIALES%20COMPUESTO%20FINAL%20CORREGIDA%20%282018%20-%202008%20-%202021%29%20%281%29.pdf>

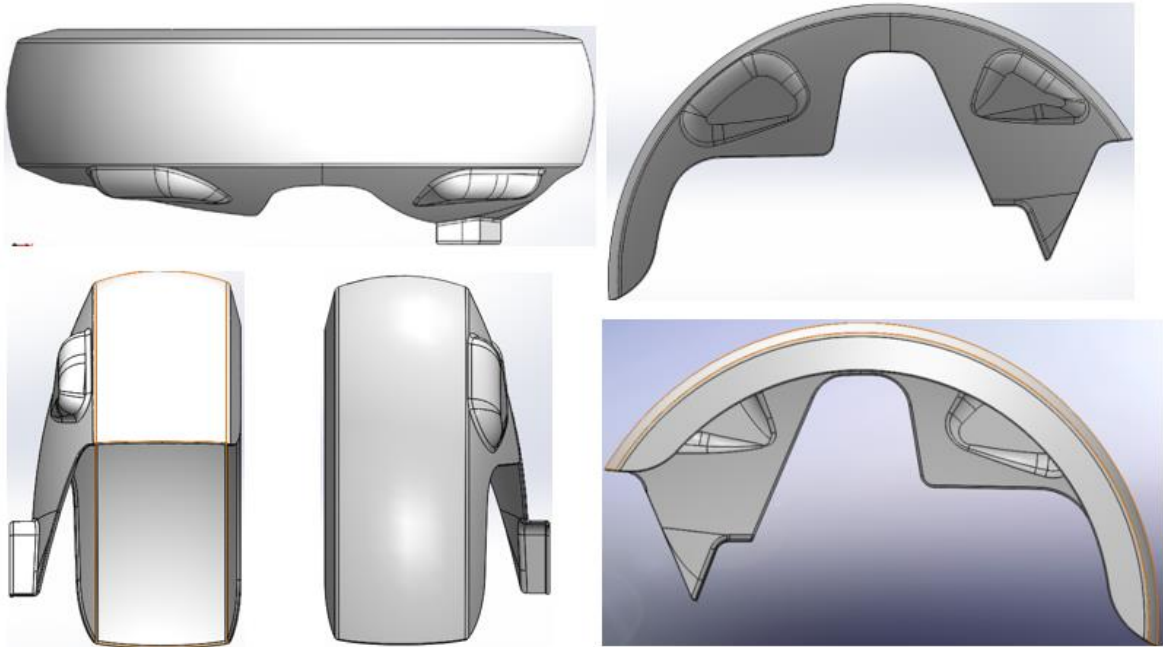
43. Teran Vaca, J. S. (Agosto de 2014). *Repositorio Institucional de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8845>
44. Tobera de inyector . (s.f.). Obtenido de <https://motoradiesel.com/dev/2015/03/tobera-de-inyector-la-importancia-de-una-pulverizacion-correcta/#:~:text=La%20tobera%20es%20el%20elemento,de%20la%20c%C3%A1mara%20de%20combusti%C3%B3n>.
45. Torres Sarmiento, J. D. (2015). *Repositorio Institucional de la Universidad Politecnica Salesiana*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8050>
46. Vaca Ortega, W. H. (2017). *Repositorio Universidad Tecnica de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25131>
47. Valencia, J. (06 de 2016). *repositorios digita UTE*. Obtenido de http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/14172/1/66410_1.pdf
48. Vallejo Castillo, A. F. (06 de 2013). *Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad San Carlos de Guatemala*.
49. Vizan Viñas, G. (2014). *Estructuras del vehiculo*. Pozuelo de alarcon-Madrid: Editex, S.A.
50. William, C. (1998). *Mecanica de la motocicleta*. Barcelona: Marcombo.

ANEXOS

ANEXO I

VISTAS EN SOLID WORKS

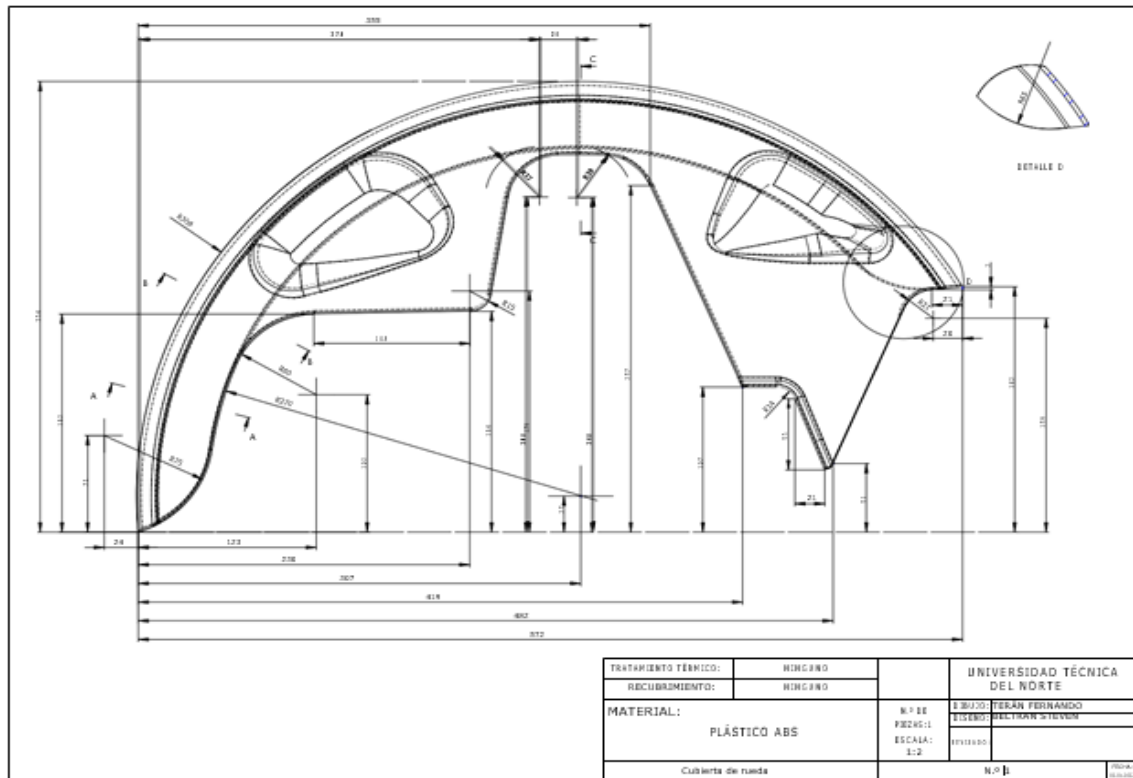
Figura I.1 Vistas SolidWorks



ANEXOS II

MEDIDAS DE LA PARTE EXTERIOR DEL GUARDAPOLVO

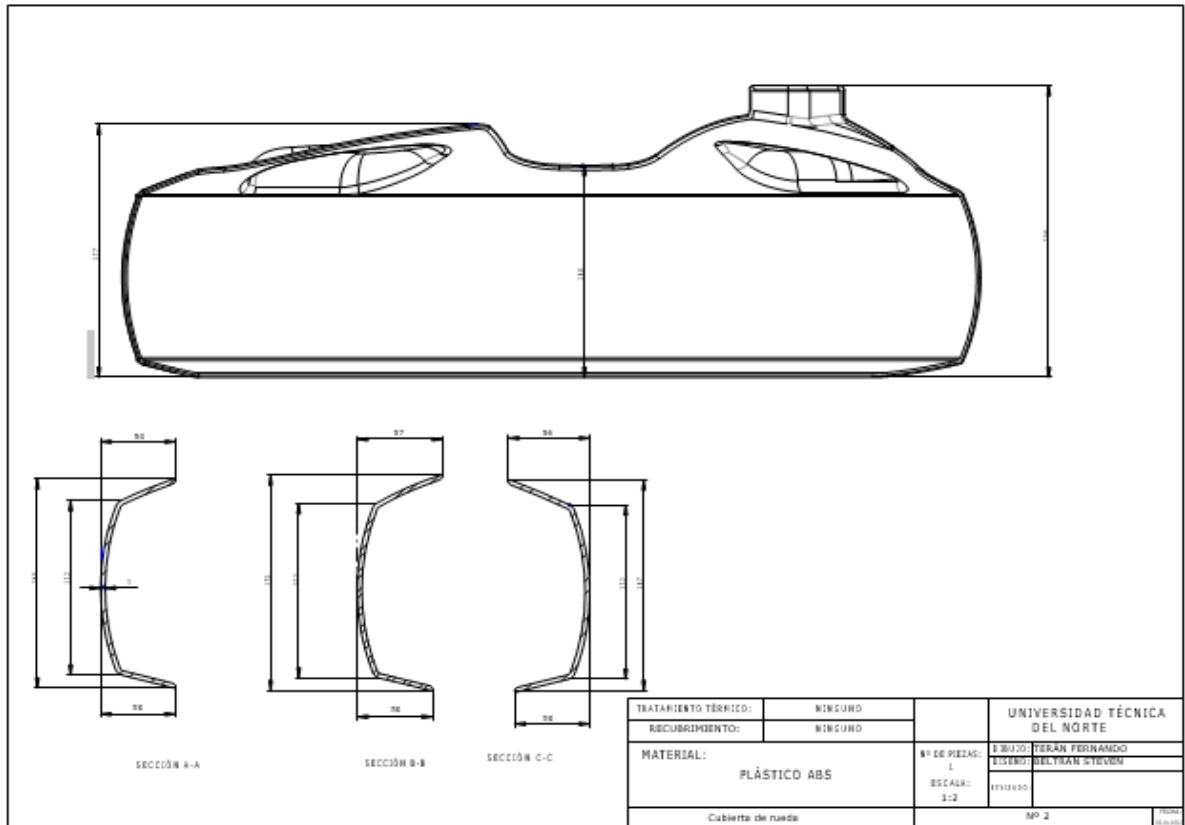
Figura II.1 Toma de medidas del guardafango



ANEXOS III

MEDIDAS DE LA PARTE EXTERIOR DEL GUARDAPOLVO

Figura III.1 Toma de medidas parte superior



ANEXOS IV

CEPILLADO DE LA FIBRA DE CABUYA

Figura IV.1 Cepillado de la fibra



ANEXOS V

ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS

Figura V.1 Orientación de las fibras



ANEXOS VI

RESULTADO FINAL

Figura VI.1 Guardafango del material compuesto



ANEXOS VII

ACABADOS

Figura VII.1 Proceso de pintura del guardafango

