

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño del parachoque de mc jute/epoxi, kenaf/epoxi y sisal/epoxi para
reducir los esfuerzos ante un impacto frontal en vehículos**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Jose Luis Gamarra Zurita

ASESOR

Elmer Rolando Polo Briceño

<https://orcid.org/0000-0002-5831-8818>

Chiclayo, 2024

**Diseño del parachoque de mc jute/epoxi, kenaf/epoxi y sisal/epoxi
para reducir los esfuerzos ante un impacto frontal en vehículos**

PRESENTADA POR
Jose Luis Gamarra Zurita

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

Ingeniero Mecánico Eléctrico

APROBADA POR

Alejandro Segundo Vera Lázaro
PRESIDENTE

Wilson Alejandro Jiménez Zuloeta
SECRETARIO

Elmer Rolando Polo Briceño
VOCAL

INFORME DE ORIGINALIDAD

21%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Trabajo del estudiante

3%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

3

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

bibdigital.epn.edu.ec

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.uide.edu.ec

Fuente de Internet

1%

6

kimerius.com

Fuente de Internet

1%

7

idoc.pub

Fuente de Internet

1%

8

patentimages.storage.googleapis.com

Fuente de Internet

1%

9

www.coursehero.com

Fuente de Internet

Índice

Dedicatoria	i
Agradecimiento	ii
Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
1.1 Situación Problemática	13
1.2 Objetivos de la Investigación	16
1.2.1 Objetivo General:	16
1.2.2 Objetivo Específico:	16
Marco Teórico.....	16
2.1 Antecedentes del problema.....	16
2.2 Bases Teórico Científicas	18
2.2.1 Parachoques.....	18
2.2.2 Material compuesto	21
2.2.3 Fibras	22
2.2.4 Matriz Polimérica	25
2.2.5 Tipos de análisis:	26
2.2.6 Datos obtenidos de la simulación:.....	28
2.2.7 Modelo Micromecánico de Chamis:	30
Materiales y Métodos.....	31
3.1 Tipo y nivel de investigación.....	31
3.1.1 Tipo de investigación	31
3.1.2 Nivel de investigación.....	31
3.1.3 Población y muestra	31
3.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	31
3.3 Procedimientos de recolección de datos	31
3.4 Plan de procesamiento y análisis de datos.....	32
3.5 Operacionalización de Variables	33
3.6 Metodología del Diseño.....	34
3.7 Formulación de las Hipótesis	35
3.8 Matriz de Consistencia	36
Resultados Y Discusión	38
4.1 Selección de fibras de material compuesto.....	38
4.2 Elaboración de las matrices de necesidades, métricas y evaluación de procesos.....	41

4.2.1	Matriz de evaluación de procesos:	42
4.2.2	Matriz de necesidades:	43
4.2.3	Matriz de necesidades – métricas	45
4.3	Cálculos de impacto.....	46
4.3.1	Planteamiento del Modelamiento de impacto.	46
4.3.2	Modelamiento del impacto frontal según la normativa GB17354-1998 y directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo.....	48
4.4	Análisis de impacto	62
4.5	Comparación de los MC	81
4.6	Análisis de costos de fabricación:	87
	Conclusiones	89
	Recomendaciones	91
	Referencias	92
	Anexos.....	96

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Tamizaje de los materiales de la biblioteca del software CESedupack	28
Ilustración 2. Selección de todas las fibras naturales, híbridas y polímeros.	29
Ilustración 3. Planteamiento de impacto del parachoques con una pared	36
Ilustración 4. Área de impacto del bumper	37
Ilustración 5. Parachoques Kia Rio (Sedan) 2021	52
Ilustración 6. Mallado del parachoques (Jute/Epoxi) a 4 km/h.....	54
Ilustración 7. Simulación de impacto – Esfuerzos (Jute/Epoxi) a 4 km/h	54
Ilustración 8. Simulación de impacto – Desplazamientos (Jute/Epoxi) a 4 km/h.....	55
Ilustración 9. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Jute/Epoxi) a 4 km/h.....	55
Ilustración 10. Mallado del parachoques (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h	57
Ilustración 11. Simulación de impacto – Esfuerzos (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h	57
Ilustración 12. Simulación de impacto – Desplazamientos (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h	58
Ilustración 13. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h.....	58
Ilustración 14. Mallado del parachoques (Sisal/Epoxi) a 4 km/h	60
Ilustración 15. Simulación de impacto – Esfuerzos (Sisal/Epoxi) a 4 km/h	60
Ilustración 16. Simulación de impacto – Desplazamientos (Sisal/Epoxi) a 4 km/h	61
Ilustración 17. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Sisal/Epoxi) a 4 km/h.....	61
Ilustración 18. Mallado del parachoques (Jute/Epoxi) a 56 km/h.....	63
Ilustración 19. Simulación de impacto – Esfuerzos (Jute/Epoxi) a 56 km/h	63
Ilustración 20. Simulación de impacto – Desplazamientos (Jute/Epoxi) a 56 km/h.....	64
Ilustración 21. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Jute/Epoxi) a 56 km/h.....	64
Ilustración 22. Mallado del parachoques (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h	66
Ilustración 23. Simulación de impacto – Esfuerzos (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h	66
Ilustración 24. Simulación de impacto – Desplazamientos (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h	67
Ilustración 25. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h.....	67
Ilustración 26. Mallado del parachoques (Sisal/Epoxi) a 56 km/h	69
Ilustración 27. Simulación de impacto – Esfuerzos (Sisal/Epoxi) a 56 km/h.....	69
Ilustración 28. Simulación de impacto – Desplazamientos (Sisal/Epoxi) a 56 km/h	70
Ilustración 29. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Sisal/Epoxi) a 56 km/h.....	70

Lista de Figuras

Figura 1. Parachoques contruidos por barra de acero.....	8
Figura 2. Parachoques americano de los años 60.....	9
Figura 3. Parachoques americano basado en el estándar FMVSS.	9
Figura 4. Parachoques europeo en los años 70.....	10
Figura 5. Parachoques europeos en los años 90.	10
Figura 6. Configuración básica de un material compuesto tipo sánduche mostrando panel completo (A), láminas de matriz (B) y núcleo de refuerzo (C).....	11
Figura 7. Elementos característicos de los materiales compuestos	12
Figura 8. Fibra de Jute.....	13
Figura 9. Fibra de kenaf	14
Figura 10. Fibra de Sisal	15
Figura 11. Estructura química del grupo oxirano.....	15

Figura 12. Estructuras químicas de sistemas epóxicos disfuncionales y multifuncionales	16
Figura 13. Estadística de siniestros	17
Figura 14. Crash-test frontal.....	18
Figura 15. Vector desplazamiento en dos dimensiones	19

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Modalidad de ocurrencia de accidentes de tránsito en carreteras (enero – julio, 2021).....	4
Gráfica 2. Número de muertos y heridos por accidentes de tránsito 2010 - 2020	5
Gráfica 3. Selección de las 3 fibras más resistentes y de menor costo	30
Gráfica 4. Comparación de las Energías de Deformación de los MC generadas en el impacto a 4 km/h.....	42
Gráfica 5. Comparación de las Energías de Deformación de los MC generadas en el impacto a 56 km/h (caso N°01)	47
Gráfica 6. Comparación de las Energías de Deformación de los MC generadas en el impacto a 56 km/h (caso N°02)	51
Gráfica 7. Comparación de las Tensiones de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h	71
Gráfica 8. Comparación del F.S de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h	72
Gráfica 9. Comparación de los Desplazamientos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h.....	73
Gráfica 10. Comparación de las deformaciones unitarias de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h	73
Gráfica 11. Comparación de las Tensiones de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h.....	74
Gráfica 12. Comparación del F.S de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h	75
Gráfica 13. Comparación de los Desplazamientos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h.....	76
Gráfica 14. Comparación de las deformaciones unitarias de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h	76

Lista de Tablas

Tabla 1. Propiedades mecánicas de las fibras naturales de Jute, Kenaf y Sisal	31
Tabla 2. Matriz de selección de procesos respecto a los materiales convencionales, MC y acero.	32
Tabla 3. Parámetros de Validación.	32
Tabla 4. Valoración porcentual de los conceptos respecto a los MC y los Convencionales ...	33
Tabla 5. Necesidades exigidas por los compradores.....	34
Tabla 6. Ubicación de las necesidades con sus respectivas métricas.	34
Tabla 7. Métricas vs Necesidades	35
Tabla 8. Propiedades Mecánicas del MC de Jute/Epoxi	53
Tabla 9. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Jute/Epoxi a 4km/h	53
Tabla 10. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Jute/Epoxi a 4 km/h.....	54

Tabla 11. Propiedades Mecánicas del MC de Kenaf/Epoxi.....	56
Tabla 12. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Kenaf/Epoxi a 4 km/h	56
Tabla 13. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Kenaf/Epoxi a 4 km/h.....	57
Tabla 14. Propiedades Mecánicas del MC de Sisal/Epoxi.....	59
Tabla 15. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Sisal/Epoxi a 4 km/h	59
Tabla 16. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Sisal/Epoxi a 4 km/h.....	60
Tabla 17. Propiedades Mecánicas del MC de Jute/Epoxi	62
Tabla 18. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Jute/Epoxi a 56 km/h	62
Tabla 19. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Jute/Epoxi a 56 km/h.....	63
Tabla 20. Propiedades Mecánicas del MC de Kenaf/Epoxi.....	65
Tabla 21. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Kenaf/Epoxi a 56 km/h	65
Tabla 22. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Kenaf/Epoxi a 56 km/h.....	66
Tabla 23. Propiedades Mecánicas del MC de Sisal/Epoxi.....	68
Tabla 24. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Sisal/Epoxi a 56 km/h	68
Tabla 25. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Sisal/Epoxi a 56 km/h.....	69
Tabla 26. Resultados de la simulación a 4 km/h.	74
Tabla 27. Resultados de la simulación a 56 km/h.	77
Tabla 28. Manufactura del Parachoques con MC de Jute/Epoxi	77
Tabla 29. Manufactura del Parachoques con MC de Kenaf/Epoxi	78
Tabla 30. Manufactura del Parachoques con MC de Sisal/Epoxi	78

Lista de Anexos

Anexos 1. Plano del Parachoques Kia Rio (Sedan) 2021	86
Anexos 2. Propiedades Mecánicas de la fibra de Jute.....	87
Anexos 3. Propiedades Mecánicas de la fibra de Kenaf	90
Anexos 4. Propiedades Mecánicas de la fibra de Sisal	93

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado principalmente a mis padres (Lesly Roxana Zurita Yocya y Luis Alberto Gamarra Arbañil) y mi hermano (Maykol Eduardo, Gamarra Zurita), quienes gracias a sus consejos y apoyo constante me inspiraron y motivaron a salir adelante frente a toda adversidad que se me presentaba, y es por ello que todos mis logros a lo largo de mi carrera profesional irán dirigidos hacia ellos eternamente, ya que son el motor que me brinda la fuerza necesaria para impulsarme y seguir adelante. Además, que ellos siempre estuvieron presentes en los mejores y peores momentos, para celebrar conmigo o darme una mano y levantarme cuando estaba derrotado.

Además, le doy gracias a mi tío Edwin José Gamarra Arbañil, quien fue como un padre para mí y el cual hoy en día no se encuentra con vida, pero sé que él siempre estará presente, ya que siempre me motivaba a seguir adelante. También fue un gran amigo, el cual vivirá en mi corazón para siempre.

A mis abuelos maternos (Manuel Zurita Arbañil y María Irene Yocya Muro) y paternos (José Gamarra Capuñay y Victoria Arbañil Acosta), quienes me criaron y apoyaron desde pequeño para ser una gran persona y un gran profesional, motivándome a salir adelante en todo momento e inculcándome valores. Además, se siempre estar presentes como amigos y consejeros.

A mis tíos maternos (Gissela, Luis y Manuel Zurita Yocya) y paternos (Edwin, Marleny, Eddy y Martin Gamarra Arbañil), por ser un ejemplo a seguir como personas y profesionales, los cuales me motivaron a ser como ellos y siempre seguir adelante a pesar de los problemas que se presenten en la vida, además de su unión como familia que perdura durante muchos años.

Para finalizar, esta investigación me la dedico a mí, ya que es un logro significativo que he conseguido a pesar de todos los obstáculos y adversidades que se me presentaron para culminar esta tesis, pero a pesar de ellos pude conseguirlo y salir adelante, pudiendo egresar en la carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica en la prestigiosa Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.

Agradecimiento

En primer lugar, agradecer a Dios, quien es que me guía y protege en cada paso que doy de mi vida privada y profesional. Además de brindarme salud y sabiduría para afrontar los obstáculos que se presentan en mi camino.

En segundo lugar, a mis compañeros los cuales fueron parte de mi crecimiento universitario y personal, además de vivir todas las experiencias únicas e irrepetibles en la universidad, pasando por las amanecidas de los exámenes, trabajos y proyectos.

En tercer lugar, agradecer a todos los Ingenieros de la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, los cuales fueron las personas que se encargaron de mi formación académica y profesional, además de la formación ética, inculcándome los conocimientos necesarios de cada materia para ser un gran profesional y salir adelante.

En cuarto lugar, agradecer al Ing. Elmer Polo Briceño, Ing. Dante Sipión Muñoz, Ing. Alejandro Vera Lázaro, quienes fueron mis guías para el desarrollo de la presente tesis, apoyándome y estando dispuestos en todo momento para asesorarme y que la presente tesis sea desarrollada correctamente. Además, agradecer a mi compañero Josemaría Torres Villareal, el cual me brindo su apoyo y amistad.

Y finalmente a toda mi familia, quienes son un ejemplo a seguir y me motivaron a desarrollarme profesionalmente.

Resumen

En la actualidad se observa que el comportamiento de los parachoques de los vehículos sufre fisuras y aumentan los esfuerzos, ya que estos son elaborados con plásticos los cuales tienen muy baja resistencia, de tal forma que cuando sufren un impacto frontal, el vehículo termina muy afectado poniendo en riesgo la vida de las personas. Por ello, surgieron los parachoques con materiales compuestos los cuales tienen mayor resistencia que los plásticos y cercana a los metales.

Por esta razón el objetivo de este trabajo es modelar y analizar un parachoques con Materiales Compuestos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi utilizando las ecuaciones de la Energía Cinética, el Teorema de Cantidad de Movimiento y la Energía de Deformación, para así calcular la energía interna que se genera a la hora del impacto frontal, y realizar una comparación de los tres MC bajo la normativa GB17354-1998 y la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo.

Además, se realizó la simulación de choque frontal del parachoques con los tres Materiales Compuestos (Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi) propuestos en esta tesis, para así, evaluar los Esfuerzos, Deformaciones, Desplazamientos y el Factor de Seguridad mediante gráficos, utilizando el software SolidWorks. Y resultado de ello se obtuvo que el Material Compuesto de Sisal/Epoxi es el más Resistente y Seguro con respecto a los dos Materiales Compuesto (Jute/Epoxi y Kenaf/Epoxi).

Palabras claves:

Modelamiento de impacto, materiales compuestos, choque frontal de vehículos.

Abstract

At present, it is observed that the behavior of vehicle bumpers suffers cracks and increases the efforts, since these are made with plastics which have very low resistance, in such a way that when they suffer a frontal impact, the vehicle ends up very affected. putting people's lives at risk. For this reason, bumpers with composite materials emerged which have greater resistance than plastics and are close to metals.

For this reason, the objective of this work is to model and analyze a bumper with Composite Materials of Jute/Epoxy, Kenaf/Epoxy and Sisal/Epoxy using the Kinetic Energy equations, the Momentum Theorem and the Strain Energy, to thus calculate the internal energy that is generated at the time of the frontal impact, and make a comparison of the three MC under the GB17354-1998 regulation and the directive 96/79/CE of the European Parliament.

In addition, the frontal impact simulation of the bumper was carried out with the three Composite Materials (Jute/Epoxy, Kenaf/Epoxy and Sisal/Epoxy) proposed in this thesis, in order to evaluate the Stresses, Deformations, Displacements and the Safety Factor through graphics, using SolidWorks software. And as a result, it was obtained that the Sisal/Epoxy Composite Material is the most resistant and safest with respect to the two Composite Materials (Jute/Epoxy and Kenaf/Epoxy).

Keywords:

Impact modeling, composite materials, frontal vehicle crash

I Introducción

1.1 Situación Problemática

La poca resistencia de los parachoques es una de las principales causas en las cuales, frente a un impacto o choque, en su mayoría frontal, las personas resultan con mayores lesiones e incluso conlleva a su muerte, además de los daños internos en el vehículo por la falta de protección de los parachoques convencionales.

Por ello, la importancia de los parachoques, o también llamados bumper, en el mundo del automóvil es enorme, siendo la parte o pieza más peritada, ya que en un accidente se le realiza dos de cada tres peritaciones al bumper frontal o posterior. [1]

Anteriormente, el diseño ingenieril que tenía el parachoques era una pieza muy estrecha, la cual por su geometría no atraía mucho a los usuarios. [1]

Pero por su naturaleza se sabe que los parachoques de automóvil deben poder resistir un impacto considerable. Por ello antiguamente se optaba por los bumpers metálicos o reforzados con metal, ya que estos han sido hasta ahora la única alternativa práctica para los fabricantes de coches a causa de la resistencia y la durabilidad asociadas a los componentes metálicos. Lamentablemente, los componentes para la realización de parachoques metálicos son de costos altos para producir, además aumentan un peso considerable a los automóviles, causando que disminuya el rendimiento del combustible. [2]

Por ello, frente a este problema, los fabricantes de vehículos y los fabricantes de componentes para automóviles han experimentado un gran desarrollo, buscando un remplazo más económico y más ligeros para los parachoques metálicos tradicionales. Aunque se han hechos progresos apreciables, los parachoques de plástico siguen teniendo una relación de resistencia-peso que es inaceptable para la industria del automóvil. [2]

Actualmente, los bumpers están siendo producidos con un material termoplástico, la cual entre los plásticos es el elemento más característico. [1] Pero hay dos inconvenientes respecto a los parachoques de este material. En primer lugar, la industria automotriz no ha logrado desarrollar un material, como este, que sea económicamente viable con resistencia aceptable a la tracción y al impacto para el uso de parachoques. En segundo lugar, la industria automotriz tampoco ha logrado desarrollar una disposición de chasis plástico capaz soportar los impactos los impactos producidos en los accidentes automovilísticos. [2]

El sistema del parachoques tiene dos funciones principales, la primera es brindar seguridad, la segunda es absorber la energía generada frente a un impacto y distribuirla a diferentes partes del automóvil con el propósito de minimizar la repercusión en los pasajeros y algunos

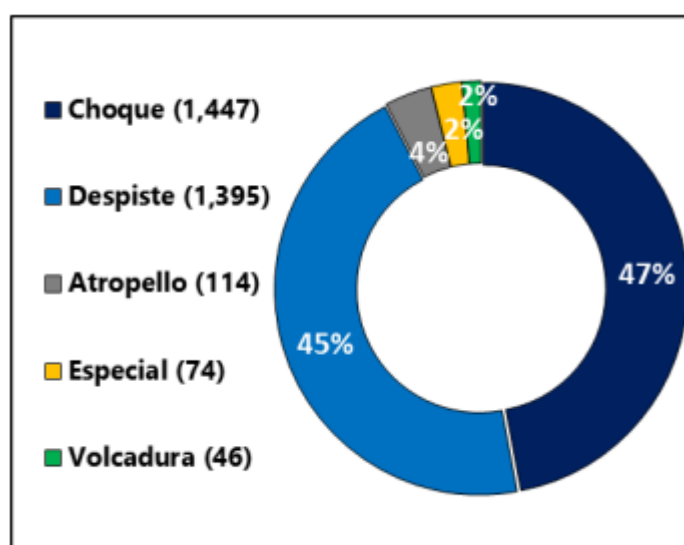
componentes de vehículo como, el motor, el radiador, el sistema de iluminación, entre otros. [3]

Por otro lado, en el 2021 según la OMS (Organización Mundial de la Salud), en el mundo cada año 1.3 millones de personas pierden la vida por accidentes de tránsito y alrededor de 20 a 50 millones sufren lesiones no mortales, pero muchas de ellas si quedan con discapacidades físicas. Estas cantidades de accidentes producen pérdidas económicas, los cual en casi todos los países es una disminución del 3% del PIB. [4]

En España según la DGT (Dirección General de Tránsito), las lesiones más recurrentes que sufren las personas en un accidente de impacto son en el torso, seguidas de las lesiones en el tórax, cabeza, cuello, cara, extremidades, en la columna vertebral, en la medula espinal y las cerebrales. En donde el 70% de los accidentes producidos son por choques frontales a causa de adelantamiento o invasión de carril. [5] [6]

En el Perú, de enero a julio del 2021, la Policía Nacional de Carreteras y la Central de Gestión y Monitoreo de la SUTRAN contabilizaron 3,090 accidentes de tránsito, en el cual 493 persona murieron y 3,827 personas resultaron heridas a causa de dichos accidentes en donde el 92% fueron por choques y despiste. Esto refleja un aumento del 48.92% de accidentes, 25.45% de fallecidos y 26.18% de heridos en comparación al año 2020. Siendo Lima en donde ocurre el 39% de accidentes y en las regiones el 61%. Además, que el 62.63% de lesiones por accidentes son en la zona urbana y el 37.37% en carreteras. [7] [8] [9]

Gráfica 1. Modalidad de ocurrencia de accidentes de tránsito en carreteras (enero – julio, 2021)



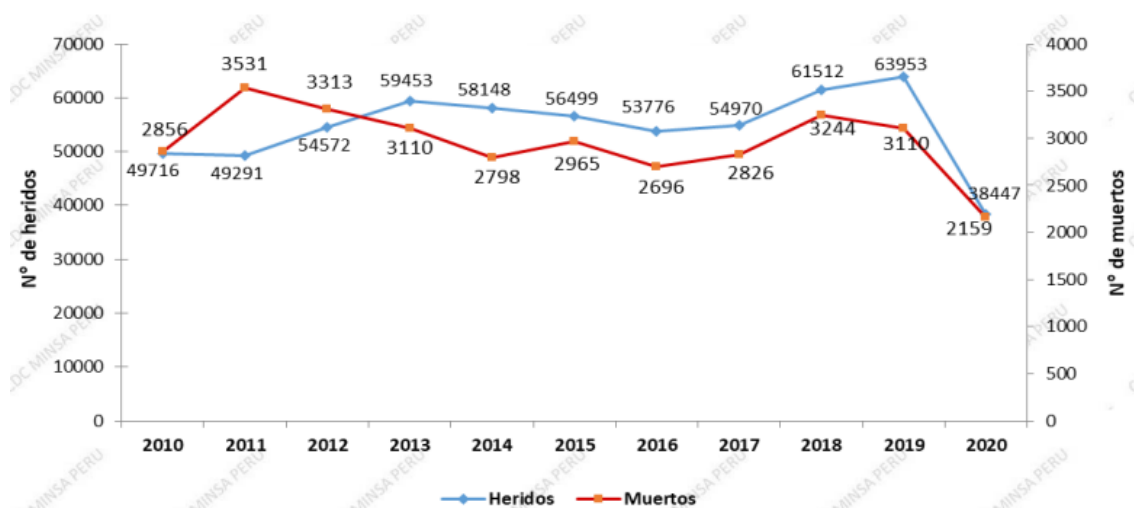
Fuente: DIRPCAR-PNP, CGM-Sutran y MTC.

Elaboración. Gerencia de Estudios y Normas - Sutran

Además, de enero hasta agosto del 2021, la mayor cantidad de lesionados en un accidente son del género masculino con 7,021 en comparación al femenino con 3731, en donde en ambos géneros los adultos sufren más lesiones con un 41.15% (2,889 personas) en masculino y un 42.11% (1,571 persona) en femenino, en segundo lugar están los jóvenes con un 39.58% (2779 personas) en masculino y 31.71% (1183 personas) en femenino, en tercer lugar están los niños con 7.68% (539 personas) en masculino y 10.02% (361 personas) en femenino, en cuarto lugar están las personas de la tercera edad con 6.88% (483 personas) en masculino y 9.68% (361 personas) en el femenino, y finalmente están los adolescentes con 4.71% (331 personas) en masculino y 6.49% (242 personas) en el femenino. [8]

En los siguientes cuadros se observará el número de accidentes de tránsito, heridos y fallecidos que ocurrieron desde el 2010 hasta el 2020

Gráfica 2. Número de muertos y heridos por accidentes de tránsito 2010 - 2020



Fuente: Sistema de Vigilancia en Salud Pública de lesiones por accidentes de tránsito

Elaboración. Ministerio de Salud

Ante este contexto se plantea la siguiente interrogante: ¿Es posible que el uso de materiales compuestos en un parachoques reduzca los esfuerzos frente a un impacto frontal? A este problema se plantea la siguiente tesis: **MODELAMIENTO DEL PARACHOQUE DE MC JUTE/EPOXI, KENAF/EPOXI Y SISAL/EPOXI SOBRE SU RESISTENCIA AL IMPACTO FRONTAL EN VEHICULOS.**

Para fundamentar la tesis se tratará los siguientes puntos: Análisis de impacto frontal empleando materiales compuestos los cuales se empleará como matriz a la resina epoxi y como fibra a la cabuya, abacá y espada de rey para aumentar su resistencia.

1.2 Objetivos de la Investigación

1.2.1 Objetivo General:

- Diseño de un parachoques frente a un impacto frontal con MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi para reducir los esfuerzos.

1.2.2 Objetivo Específico:

- Seleccionar los materiales compuestos en función de sus propiedades mecánicas para la fabricación de parachoques mediante Software CESedupack.
- Diseñar un parachoques con MC empleando la matriz de necesidades, métricas y evaluación de procesos.
- Realizar el cálculo matemático del impacto frontal en el parachoques Kia Rio 2021 de acuerdo a la normativa GB17354-1998 y la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo, y comparar su Energía de Deformación de los MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi.
- Realizar la simulación de impacto frontal en el parachoques con el software SolidWorks, y comparar los esfuerzos, desplazamiento y deformación unitaria obtenidos en la simulación del MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi.
- Realizar un análisis económico de Fabricación y Venta del Parachoques con los Materiales Compuestos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi.

II Marco Teórico

2.1 Antecedentes del problema

En la investigación de [10], en la búsqueda de lograr una reducción de la energía en la automoción, obtuvieron que para ello se tiene que emplear materiales livianos en el diseño de los automóviles. Por ello, comenzaron a implementar una legislación más rigurosa para la aplicación de componentes ligeros con la capacidad de absorber la energía cinética durante un impacto o choque, con el fin de garantizar la seguridad tanto de los pasajeros, chofer y peatones. Por ello en esta investigación se simuló un impacto en el parachoques a alta velocidad con dos materiales diferentes, la cual el primero fue el aluminio Al (3105-H18) y el segundo fue un material compuesto de fibra de carbono-epoxi. Luego de la simulación se realizó una comparación en donde ambos materiales tenían la misma resistencia ante un choque.

Según [11], para lograr un mejor análisis de desplazamiento, tensión y optimización en el diseño de un parachoques delantero de un automóvil se debe realizar dicho diseño mediante ocho diferentes secciones transversales, el cual se logró con la ayuda del software Creo y se empleó el MC de fibra de carbono. Dichas secciones son las siguientes: (a) Sección de sombrero abierto, (b) Sección C, (c) Sección de forma enrollada, (d) Sección B abierta, (e) Sección B cerrada, (f) Sección de caja cerrada de sombrero, (g) Sección E, (h) Sección rectangular. Estas secciones diseñadas son analizadas conforme con la administración nacional de seguridad vial y las normas federales de seguridad de vehículos motorizados. La velocidad en la cual se simuló todas las secciones de diseño fue de 10, 20 y 30Km/h, en la cual se obtuvo que la mayor resistencia se logró en el diseño de sección de sombrero abierto

En [12], resalta que los diseños de parachoques existentes solo se han enfocado cuando se realiza una carga de impacto, en la cual [12] propone el desarrollo de optimización multiobjetivo para optimizar la intrusión y la absorción de la energía generada en el parachoques. Ya que, en la vida real el modelado de impactos se corrobora con los datos experimentales, en el cual basándonos en el diseño de hipercubo latino (LHD) “absorción de energía” y los enfoques sustitutos de Kriging “máxima intrusión” se expresan en variables de diseño para considerar la resistencia frente a un choque. Por otro lado, para obtener la solución de Pareto se emplea algoritmo de optimización global eficiente paralelizado (EGO) basado en Kriging Believer para optimizar el parachoques el cual está sujeto a tres cargas, el choque del trineo a baja velocidad, la flexión dinámica de tres puntos y el 40% de compensación impacto. Luego de ello se realiza un esquema de promedio ponderado en la cual el resultado indican las soluciones de Pareto.

En artículo [13] y [14], señala sobre la importancia en los parachoques y el daño o lesiones en sus extremidades inferiores que les puede causar a los peatones, es por ello que en [14] realizan una simulación de un parachoques con dos materiales impactando a una pierna de laboratorio, en el cual el primero es un metal y el segundo un híbrido. Obteniendo que el parachoques híbrido tiene mayor protección de las extremidades inferiores en comparación de un metálico.

En [15], nos menciona sobre la aplicación de un material llamado piel de dragón o armadura de escamas de pez, en el cual se planea utilizar en un parachoques en el espacio para los impactos de hipervelocidad de los desechos orbitales y micro meteoritos.

2.2 Bases Teórico Científicas

2.2.1 Parachoques

A fines de la década de 1920 y 1930, la gente comenzó a ver los automóviles con una barra protectora tanto en su parte delantera y trasera para tener una protección frente a colisiones, ya sea por otro vehículos o elementos urbanos, para así evitar daños de componentes internos. Estos parachoques consistían en una o dos barras de acero perpendiculares en la parte delantera y/o trasera del automóvil. Estos bumpers en algunos casos estaban unidos a los largueros, y en otros casos eran unidos a la misma carrocería del automóvil. [16]



Figura 1. Parachoques contruidos por barra de acero.

*Fuente. INPENOR: LA EVOLUCION DEL PARAGOLPES
(<http://www.inpenor.com/2014/02/28/la-evolucion-del-paragolpes/>)*

Con el paso de los años, el bumper comenzó a tener mayor importancia en los automóviles y sobre todo porque se comenzaron a elaborar con mayor elegancia, ya que se enfocó en la parte estética, y además se adaptaba en todas sus dimensiones al diseño aerodinámico del vehículo. Para los años 60, en la figura 2, se puede observar que el parachoques se integra en la carrocería, logrando que la parte frontal y trasera quedaran unificados con el automóvil. Los bumpers seguirían siendo metálicos, pero ahora siendo más delgados y resistentes debido a las diferentes composiciones y pliegues que presentaron en la construcción. [16]



Figura 2. Parachoques americano de los años 60.

*Fuente. INPENOR: LA EVOLUCION DEL PARAGOLPES:
(<http://www.inpenor.com/2014/02/28/la-evolucion-del-paragolpes/>)*

En la década de 1970, los automóviles priorizarían mantener sus estándares estéticos, pero en para dicha actualidad, el estándar de parachoques "Federal Motor Vehicle Safety Standard 215" (FMVSS) se implementaría en los Estados Unidos. Con este estándar, los automóviles deberían poder resistir colisiones a baja velocidad y, lo que es más importante, proteger sus sistemas de combustible y faros contra daños. La Figura 3 ilustra cómo se debe construir el parachoques bajo de acuerdo con los requisitos de FMVSS. [16]



Figura 3. Parachoques americano basado en el estándar FMVSS.

*Fuente. INPENOR: LA EVOLUCION DEL PARAGOLPES
(<http://www.inpenor.com/2014/02/28/la-evolucion-del-paragolpes/>)*

Como se muestra en la figura 4, los automóviles en el continente europeo comenzaron a usar componentes de plástico o combinar parachoques de plástico con metal como amortiguadores de impacto, o incluso se volvieron completamente de plástico. [16]



Figura 4. Parachoques europeo en los años 70.

*Fuente. INPENOR: LA EVOLUCION DEL PARAGOLPES:
(<http://www.inpenor.com/2014/02/28/la-evolucion-del-paragolpes/>)*

Con el proceder del tiempo, se obtuvo como resultado de los avances en los materiales utilizados para fabricar parachoques de plástico, que mostraban una mejor absorción de energía y un peso muy ligero, por ende, se decidió emplear ganchos internos en lugar de tornillos, como se ve en la imagen. 5. [16]



Figura 5. Parachoques europeos en los años 90.

*Fuente. INPENOR: LA EVOLUCION DEL PARAGOLPES:
(<http://www.inpenor.com/2014/02/28/la-evoluciondel-paragolpes/>)*

Hoy en día, los parachoques son un componente crucial de un automóvil, ya que son la sección que absorbe el impacto durante un accidente para que los ocupantes no resulten heridos. Además, con la intención de dotar al vehículo de una estética deseable: deportiva, familiar, todoterreno, etc. También almacena otros componentes como los sensores de aparcamiento, las rejillas de aire y los faros antiniebla. [16]

2.2.2 Material compuesto

Un sistema de materiales conocido como compuesto está formado por dos o más micro o macro constituyentes que son distintos entre sí en cuanto a su forma, tamaño, contenido y solubilidad. Cualquier material compuesto debe tener dos cosas: el refuerzo y la matriz. El esfuerzo se apoya en la matriz, que también sirve para mantenerlo en la posición predeterminada. También le transmite carga y lo protege de daños tanto durante la producción como durante el uso. Por otro lado, la fase de esfuerzo o discontinua, en cambio, se distingue por su baja densidad y alta resistencia; su propósito es soportar la carga a la que está sometido el material. Cabe destacar que las características de un material compuesto dependen de las características de los materiales que lo componen, así como de cómo se distribuyen e interactúan. El diseño fundamental de un material compuesto se muestra en la figura 6. [17]

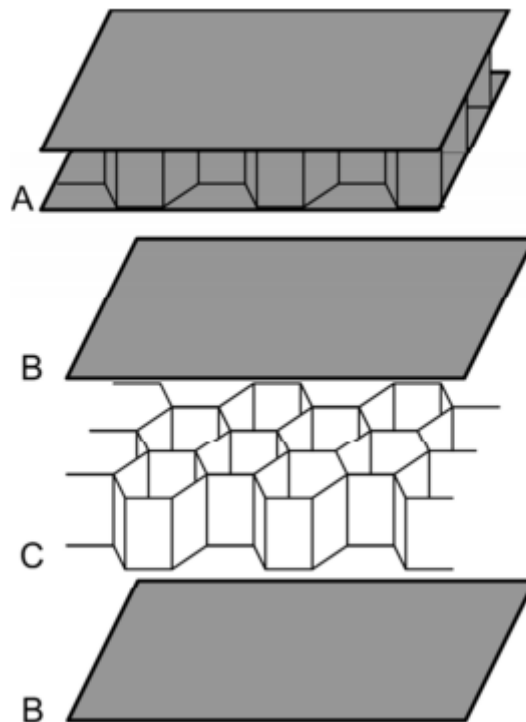


Figura 6. Configuración básica de un material compuesto tipo sánduche mostrando panel completo (A), láminas de matriz (B) y núcleo de refuerzo (C)

Fuente. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIPROPILENO REFORZADAS CON FIBRAS DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN

La interfaz, es la superficie de conexión entre la matriz y la tensión, esta permite que la fuerza se comuniquen con éxito a las fibras siempre que haya una buena interacción matriz-refuerzo. Cabe señalar que los agentes de acoplamiento, a menudo en bajas concentraciones, incluido el anhídrido maleico (MAAP), los rellenos como la espuma de polímero y el carbonato

de calcio, y los revestimientos se pueden agregar a los materiales compuestos para mejorar su interfaz. Los componentes clave que definen un material compuesto se muestran en la Figura 7. [17]

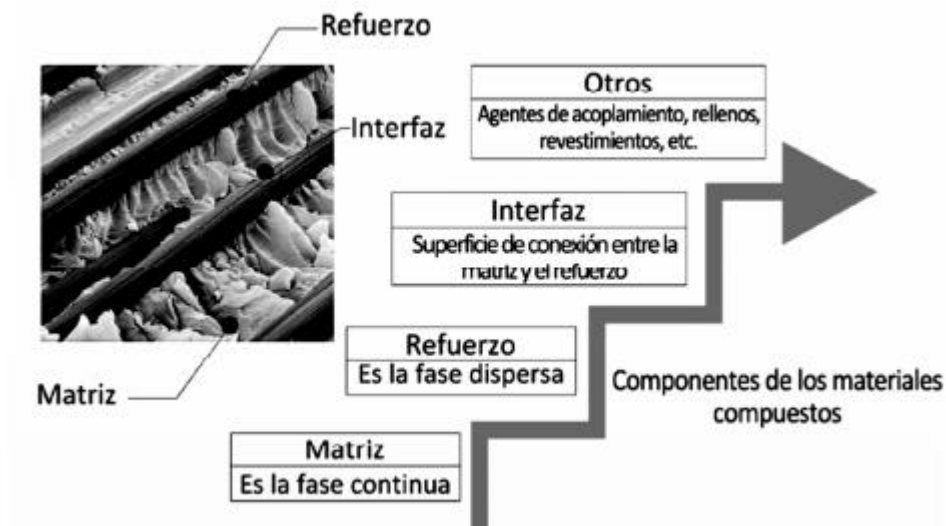


Figura 7. Elementos característicos de los materiales compuestos

Fuente. OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIPROPILENO REFORZADAS CON FIBRAS DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN

Similar a cómo se incorporan refuerzos sintéticos o naturales en la fabricación de compuestos para agregar nuevas cualidades estructurales y soportar cargas más grandes para mejorar las propiedades de la matriz. Las fibras vegetales son un tipo de refuerzo natural que tiene ventajas sobre el refuerzo sintético por su resistencia mecánica, peso ligero y precio más bajo. También pueden ser suaves, firmes y tener una superficie única, lo que los hace perfectos para varios propósitos. [17]

Por otra parte, los materiales compuestos de matriz polimérica, según la naturaleza de la matriz pueden clasificarse en: termoplásticos, termoestables y elastoméricos. [17]

2.2.3 Fibras

2.2.3.1 Fibra de Jute

El Jute, también conocido como la "fibra dorada", es una de las fibras naturales más antiguas y populares para su uso en una variedad de aplicaciones textiles. Es una fibra natural conocida como "fibra dorada" por su brillo dorado sedoso. El Jute, es un cultivo anual, madura entre abril/mayo y julio/agosto en aproximadamente 120 días. Prospera en regiones de tierras bajas tropicales con niveles de humedad entre 60% y 90%. Los cultivos de secano como el Jute

requieren pocos herbicidas y fertilizantes. El yute se produce en rendimientos de aproximadamente 2 toneladas por hectárea. Esta fibra, se considera la segunda fibra vegetal más grande después del algodón y es una de las fibras naturales más rentables en términos de producción y variedad de aplicaciones. [18]

La fibra de Jute tiene una longitud de 1 a 4 metros, un diámetro de 17 a 20 micrones, y es larga, suave y brillante. La celulosa (el componente principal de las fibras vegetales) y la lignina constituyen la mayoría de los ingredientes de las fibras de Jute (componente principal de las fibras leñosas). Se pueden utilizar métodos de enriado tanto biológicos como químicos para extraer las fibras. Los métodos más comunes son los biológicos porque emplear agentes químicos para separar la fibra del tallo es costoso. Con métodos que permiten remojar los tallos atados para separar las fibras antes de arrancarlos, el enriado biológico se puede hacer en agua y en cintas. Después del proceso de enriado, se arranca el tallo, lo que implica raspar el material no fibroso y extraer las fibras. [18]



Figura 8. Fibra de Jute

Fuente. <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>

2.2.3.2 Fibra de Kenaf.

El Kenaf es una planta tropical con un parecido al bambú y una conexión con el algodón [19] [20]. Participa activamente en la captura de CO₂ además de dar comida y cobijo. Debido al alto contenido de proteínas de sus hojas, esta planta puede ayudar con problemas relacionados con la escasez de alimentos. Además de ofrecer materiales de construcción de alta calidad, también puede reducir las emisiones de CO₂ en beneficio del medio ambiente como si eso no fuera suficiente. Además, cada hectárea de kenaf produce de seis a diez toneladas de fibra. [20]

Es una planta herbácea anual o bienal que puede alcanzar los 3,5 metros de altura, con hojas polimorfas de 10 a 15 cm de largo y base leñosa. Las flores son blancas, amarillas o púrpuras y varían en diámetro de 8 a 15 cm. El fruto es una cápsula con varias semillas y un diámetro de 2 cm. Se cultiva principalmente en Bangladesh y su ciclo de cosecha dura entre 100 y 125 días

[20]. La dureza de las fibras de kenaf y el alto contenido de humedad de los tallos cosechados también hacen que la recolección de tallos de kenaf sea un desafío. [21]



Figura 9. Fibra de kenaf

Fuente. <https://ecohabitar.org/kenaf-un-material-excelente-para-bioconstruccion/>

2.2.3.3 Fibra de Sisal.

El sisal es una fibra robusta y gruesa que se utiliza cada vez más en productos de construcción, plástico y papel, así como en materiales compuestos para muebles y automóviles. [18]

El Agave sisalana nativo de México se utiliza para producir fibra de sisal. La planta resistente prospera en una variedad de ambientes cálidos, incluidas las regiones secas que no son aptas para otros cultivos. El sisal se puede cultivar durante todo el año y en casi todos los tipos de suelo, a excepción de los excesivamente húmedos, salinos o arcillosos. Su resistencia a plagas, enfermedades y requisitos de insumos más bajos que otros cultivos lo hacen ventajoso para los agricultores. Su beneficio clave es que prospera en ambientes secos y tiene pocas posibilidades de experimentar malas cosechas debido a la sequía. [18]

En las hojas, las fibras se encuentran longitudinalmente y prevalecen más cerca de la superficie de la hoja. Las hojas son duras y tienen un contenido de humedad de alrededor del 90%, mientras que la pulpa blanda es extremadamente sólida. Para reducir la posibilidad de daños durante el proceso de limpieza una vez que las hojas estén secas, se debe quitar la fibra de las hojas recién cortadas. La sustancia pulposa se raspa, generalmente mediante un proceso de descortezado mecánico, y luego se extrae manualmente para recuperar la fibra. [18]

Sus hojas son picadas y trituradas después de la cosecha para separar la pulpa de las fibras. En África Oriental, la producción de fibras secas puede alcanzar las 2,5 toneladas por hectárea, cerca del promedio mundial. [18]



Figura 10. Fibra de Sisal

Fuente. <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/sisal/es/>

2.2.4 Matriz Polimérica

2.2.4.1 Resina Epoxi:

Las resinas epoxi son resinas de poliéster que pueden polimerizar mediante el mecanismo de apertura del anillo y se distinguen por tener varios grupos epoxi en su estructura. El grupo oxirano es otro nombre para el grupo epoxi. Como se ve en la Figura 11, este grupo consta de un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono, que luego se conectan de forma independiente. Las resinas epoxi son adaptables debido a la capacidad del anillo epoxi para reaccionar con una serie de productos químicos. [22]

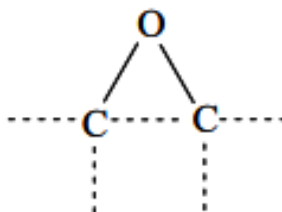


Figura 11. Estructura química del grupo oxirano

Fuente. Desarrollo de recubrimientos fotocurables con propiedades antimicrobianas, utilizando nanopartículas de plata, etc , a partir de materiales híbridos poliméricos producidos mediante la combinación de la fotopolimerización tiol-ene con el Sistema Epoxi-Amína

Desde que se usaron comercialmente por primera vez en 1947, las resinas epoxi han experimentado un crecimiento del consumo anual del 20 %. Son los materiales termoestables más investigados debido a sus excelentes propiedades y a los numerosos usos industriales para los que han sido desarrollados, incluidos recubrimientos, adhesivos y materiales de encapsulación, etc. [22]

Las resinas epoxi comerciales pueden tener una columna vertebral aromática, alifática o cicloalifática. La mayoría de las aplicaciones utilizan sistemas epoxi tradicionales, que son disfuncionales como matriz; sin embargo, algunas aplicaciones de alto rendimiento, como las

del sector aeroespacial, requieren el uso de sistemas epoxi multifuncionales. Las composiciones químicas más típicas de los sistemas epoxi multifuncionales y disfuncionales se muestran en la Figura 12. [22]

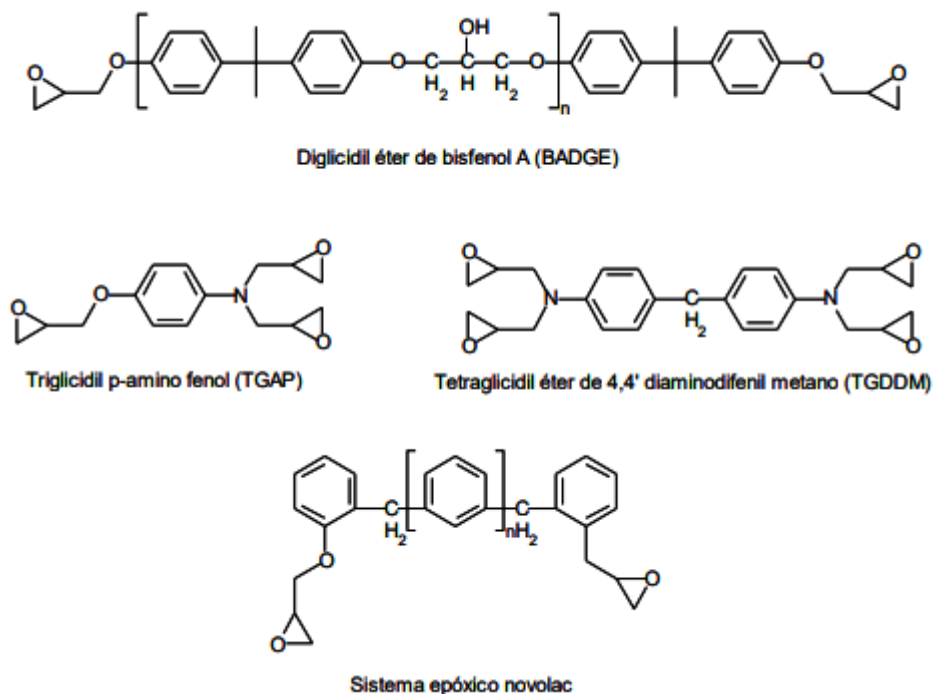


Figura 12. Estructuras químicas de sistemas epóxicos disfuncionales y multifuncionales

Fuente. Desarrollo de recubrimientos fotocurables con propiedades antimicrobianas, utilizando nanopartículas de plata, etc, a partir de materiales híbridos poliméricos producidos mediante la combinación de la fotopolimerización tiol-ene con el Sistema Epoxi-Amina

Debido a sus excelentes propiedades de resistencia térmica, química y su bajo costo, las resinas epoxi son una de las resinas de ingeniería más adaptables. Se utilizan con frecuencia como revestimientos protectores de alto rendimiento, adhesivos estructurales y como matriz para materiales compuestos. Regularmente y debido a su resistencia al desgaste, las resinas epoxi pueden ser utilizadas como recubrimientos en los que típicamente se aplican en la industria espesores de 3 a 5 mm. [23]

2.2.5 Tipos de análisis:

2.2.5.1 Análisis de impacto

La gran variedad de accidentes reales que pueden ocurrir debido a las diversas velocidades que puede alcanzar un automóvil, la gran variedad de objetos con los que puede chocar (fijos, móviles y más o menos deformables), y las características físicas de los pasajeros, se deben tener en cuenta para tener pruebas que produzcan datos lo más parecidos a la realidad. Debido

a su complejidad, la única forma de determinar el nivel de seguridad del automóvil es realizar varias pruebas de accidentes repetidamente. Para ello, los productores recurren al uso de más de 40 tipos diferentes de pruebas, que se repiten a lo largo de las distintas etapas de creación del modelo. Las pruebas se crean en base a un análisis de las estadísticas (figura 13) de los tipos de colisión más comunes. [24]

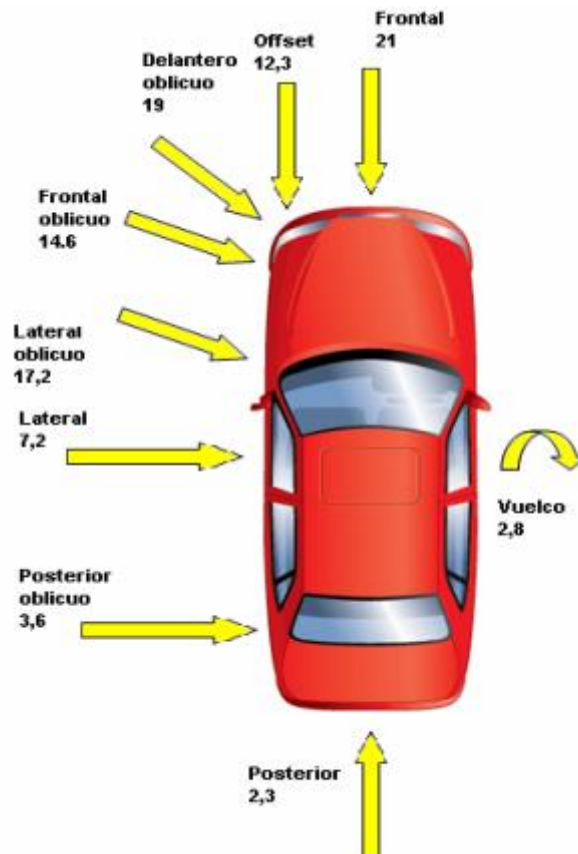


Figura 13. Estadística de siniestros

Fuente. SIMULACIÓN DE UN CHOQUE FRONTAL DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL CONTRA DIFERENTES TIPOS DE BARRERA

Las estadísticas de accidentes muestran que las colisiones frontales representan más de dos tercios de todas las colisiones, y que entre el 30 y el 50 por ciento de la superficie frontal suele estar cubierta por cada colisión. La ley actual, tal como se describe en la Directiva del Parlamento Europeo 96/79/CE, rige este tipo de prueba. En el momento del impacto, se simula que el automóvil viaja a 56 km/h. [24]

Dado que los ocupantes están sujetos a desaceleraciones bruscas en accidentes frontales, es importante maximizar los refuerzos de la estructura de soporte y los sistemas de contención. [24]



Figura 14. Crash-test frontal

Fuente. SIMULACIÓN DE UN CHOQUE FRONTAL DE UN VEHÍCULO AUTOMÓVIL CONTRA DIFERENTES TIPOS DE BARRERA

2.2.6 Datos obtenidos de la simulación:

2.2.6.1 Esfuerzo:

Las tensiones son fuerzas internas que tienen magnitudes, direcciones variadas y actúan sobre las porciones más pequeñas de un corte. Saber qué tan intensas son estas fuerzas en diferentes partes de una sección es crucial en la mecánica de sólidos porque afecta la resistencia de la sección a la deformación y las fuerzas. Estas fuerzas suelen variar de un punto a otro y están inclinadas con respecto al plano de la sección. Es conveniente resolver estas intensidades paralelas y perpendiculares a la sección que se está analizando. [25]

La definición matemática de esfuerzo se debe a que los componentes de intensidad de una fuerza por unidad de área, o el esfuerzo, son verdaderos solo en un lugar: [25]

$$\tau_{xx} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P_x}{\Delta A} \quad \sigma_{yy} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P_y}{\Delta A} \quad \tau_{zz} = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P_z}{\Delta A} \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde, en las tres circunstancias, el primer subíndice de τ o σ indica que considera el plano perpendicular al eje x y el segundo designa la dirección de la componente del esfuerzo. [25]

El esfuerzo normal en una ubicación (σ) es la magnitud de la fuerza perpendicular o normal a la sección. El esfuerzo de Tensión es el término comúnmente utilizado para describir las tensiones habituales que hacen que se acumule tensión en la superficie de una sección. Los esfuerzos de compresión, por otro lado, son aquellos que empujan contra él. Los esfuerzos cortantes (τ) son los componentes adicionales de la intensidad de la fuerza que operan paralelamente al plano del área elemental. [25]

Los esfuerzos normales y los esfuerzos cortantes son producidos por componentes de fuerza que son perpendiculares al plano cortante y tangenciales al plano cortante, respectivamente. [25]

2.2.6.2 Deformación unitaria:

Para desarrollar una relación tensión-deformación para un material en particular, se pueden usar métodos experimentales para conectar la tensión a la deformación del espécimen por unidad de longitud. El modelo constitutivo de un material expresa las propiedades mecánicas más significativas de un material durante un proceso de carga a través de esta relación. El modelo constitutivo de un material se basa en los hallazgos de las pruebas que se realizan en circunstancias de carga muy básicas. El comportamiento estructural general se puede predecir cuándo se combina una relación constitutiva con las ecuaciones de equilibrio y compatibilidad. [25]

2.2.6.3 Desplazamiento

El cambio de ubicación de una partícula en el espacio se denomina desplazamiento (en física, el símbolo delta Δ , o se usa para denotar cambios o diferencias finitas de cualquier variable). La trayectoria tomada es irrelevante al cambiar de posición. La posición inicial (\vec{r}_i) y la posición final (\vec{r}_f) de la partícula en movimiento deben conocerse para determinarla. El desplazamiento, es un vector que puede ser positivo, negativo o cero, se muestra en el esquema de la Figura 15 y se mide en metros según el SI. El desplazamiento es el mismo en dos dimensiones que en una: [26]

$$\Delta \vec{x} = (x_f - x_i)\hat{i} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_f - \vec{r}_i = (x_f\hat{i} + y_f\hat{j}) - (x_i\hat{i} + y_i\hat{j}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

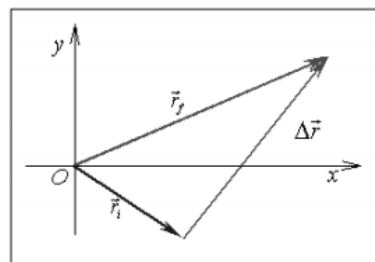


Figura 15. Vector desplazamiento en dos dimensiones

Fuente. MOVIMIENTO EN UNA DIMENSION

2.2.7 Modelo Micromecánico de Chamis:

El modelo micromecánico de Chamis, que está soportado por ROM, es crucial para la combinación de un Material Compuesto, pero también depende de factores semi-empíricos. [27]

La inclusión del efecto no lineal de la proporción volumétrica de las fibras y la influencia de los vacíos en la microestructura resultantes del proceso de fabricación, según [27]. En consecuencia, las siguientes ecuaciones se utilizan en este modelo micromecánico:

CONSTANTES ELASTICAS

$$E_x = E_{Lf} \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) \dots \dots \dots (4)$$

$$E_y = \frac{E_m}{1 - \sqrt{V_f} \cdot \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)} \dots \dots \dots (5)$$

$$E_z = E_y$$

$$G_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{V_f} \cdot \left(1 - \frac{G_m}{G_{Tf}}\right)} \dots \dots \dots (6)$$

$$v_{xy} = v_{LTf} \cdot V_f + v_m \cdot (1 - V_f) \dots \dots \dots (7)$$

$$v_{xz} = v_{xy} \dots \dots \dots (8)$$

$v_{yz} \rightarrow$ En material transversalmente isotropico se cumple:

$$G_{yz} = \frac{E_y}{2 \cdot (1 + v_{yz})} \dots \dots \dots (9)$$

CONSTANTES RESISTENTES

$$X_t = V_f \cdot X_{tf} \dots \dots \dots (10)$$

$$Y_t = X_{tm} \cdot \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) \cdot \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)\right] \dots \dots \dots (11)$$

$$X_c = V_f \cdot X_{cf} \dots \dots \dots (12)$$

$$Y_c = X_{cm} \cdot \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) \cdot \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)\right] \dots \dots \dots (13)$$

$$S_{xy} = S_m \cdot \left[1 - \left(\sqrt{V_f} - V_f\right) \cdot \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}}\right)\right] \dots \dots \dots (14)$$

De las fórmulas mostradas podemos señalar el significado de las propiedades en donde “ E ” es el Módulo de Elasticidad, “ G ” es el Módulo de cortadura, “ ν ” es el Modulo de Poisson, “ X ” es la Tension de rotura, “ S ” es la tensión de rotura a cortadura, “ ρ ” es la Densidad y “ V ” es la fricción en volumen de fibras.

Además, en los subíndices la “ L ” es longitudinal, “ T ” es transversal, “ LT ” es longitudinal – transversal, “ TT ” es transversal – transversal, “ t ” es tranccion, “ c ” es compresión, “ f ” es fibra y “ m ” es matriz

III Materiales y Métodos

3.1 Tipo y nivel de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La presente tesis es de tipo de investigación no experimental, la cual dentro de ello esta investigación busca verificar un parachoques con materiales compuestos (de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi) que resistan y garanticen seguridad a los componentes del vehículo y las persona, ante un impacto frontal.

3.1.2 Nivel de investigación

Esta tesis tiene un Nivel aplicativo, por lo que, mediante la selección de los Materiales y el Análisis de choque, se pretende mostrar una solución para el mundo automovilístico aumentando la resistencia en el parachoques.

3.1.3 Población y muestra

La población en esta investigación son los parachoques utilizados en los vehículos sedan. La muestra viene dada por los bumper para vehículos modelo Kia Rio 2021 fabricado con MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi.

3.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica e instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron:

- Análisis de documentación: resistencia de los parachoques actuales (plásticos) y los metálicos.
- Tamizaje de las fibras naturales
- Modelamiento de choque

3.3 Procedimientos de recolección de datos

Se reviso la resistencia de los parachoques con los materiales antiguos y los actuales, en donde se resalta la diferencia con respecto a la resistencia y el peso. Posterior a ello se utilizó las matrices de evaluación de procesos, métricas y necesidades para así poder comparar los

parachoques con materiales metálicos, plásticos y compuestos. Con ello, se analizó los distintos materiales de fibras obtenidas por el programa computacional CES Edupack para la materialidad del parachoques, y teniendo como matriz a la resina Epoxi. Luego, se modeló el impacto frontal del parachoques con los materiales compuestos mediante las ecuaciones de la Energía Cinética, el Teorema de Cantidad de Movimiento y la Energía de Deformación. Así mismo, se realizó la simulación de impacto frontal mediante el Software SolidWorks para saber cuál de los materiales propuestos tiene mayor resistencia a la hora de un choque. Finalmente se evaluó el costo de manufactura del parachoques con los tres materiales compuestos para conocer la estimación económica de la propuesta

3.4 Plan de procesamiento y análisis de datos

Para el plan de procesamiento y análisis de datos se utilizó como herramienta computacional al programa Microsoft Office Excel 2019.

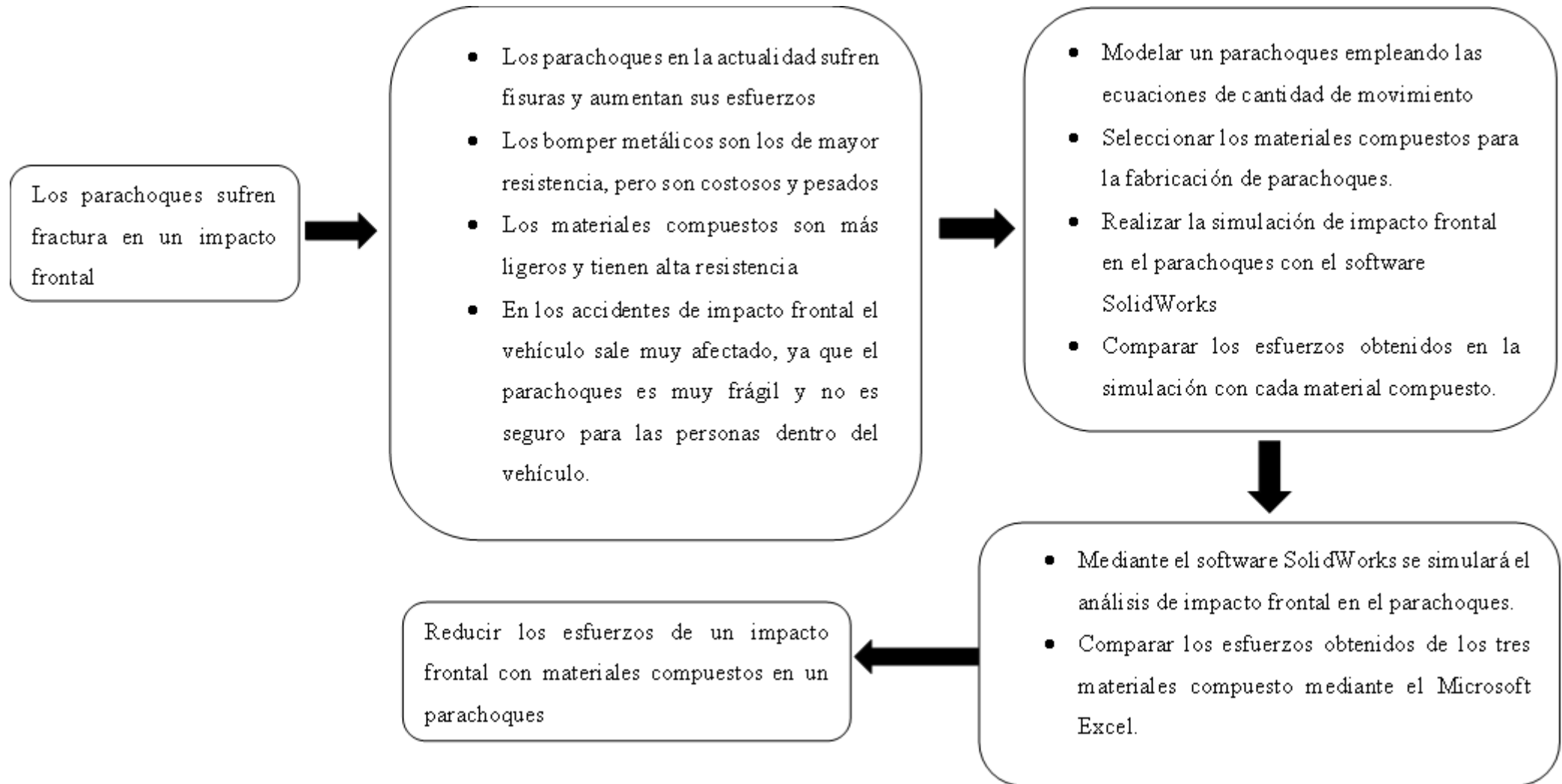
- **Tablas de operadores matemáticos.** Permitirá la elaboración de los materiales compuestos aplicando las ecuaciones del Modelo Micromecánico de Chamis. Con estos datos obtenidos se elaborarán los gráficos de tensiones, factor de seguridad, desplazamientos, Deformación unitaria y las Energías de Deformación.
- **Gráficos Comparativos.** Mediante estos gráficos comparativos se observará los resultados para así generar conclusiones.

3.5 Operacionalización de Variables

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE INDEPENDIENTE DESEÑO DE UN PARACHOQUES ANTE UN IMPACTO FRONTAL	Los parachoques son una pieza muy importante en un vehículo, ya que es la parte que absorbe, las fuerzas a través de un análisis de impacto frontal, en un accidente y no causar daños a las personas dentro del vehículo. [16]	Se diseñó y simuló un parachoques con materiales compuestos mediante ecuaciones matemáticas de cantidad de movimiento y el software SolidWorks	Simulación de impacto frontal Diseño	Esfuerzos Deformación unitaria Desplazamientos Energía de Deformación	MPa Adimensional mm kJ

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
VARIABLE DEPENDIENTE REDUCCION DE ESFUERZOS GENERADOS EN UN CHOQUE	Las tensiones son fuerzas internas que tienen magnitudes, direcciones variadas y actúan sobre las porciones más pequeñas de un corte. [25]	Se redujo los esfuerzos generados mediante el análisis de impacto con los MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi	Reducción de esfuerzos	Variación porcentual de Esfuerzos	Porcentaje

3.6 Metodología del Diseño



3.7 Formulación de las Hipótesis

OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de un parachoques frente a un impacto frontal con MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi para reducir los esfuerzos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se realiza un diseño de un parachoques frente a un impacto frontal con MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi, entonces, se reducirá los esfuerzos generados en un accidente vehicular.
OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICAS
<ul style="list-style-type: none"> • Seleccionar los materiales compuestos en función de sus propiedades mecánicas para la fabricación de parachoques mediante Software CESedupack. • Diseñar un parachoques con MC empleando la matriz de necesidades, métricas y evaluación de procesos. • Realizar el cálculo matemático del impacto frontal en el parachoques Kia Rio 2021 de acuerdo a la normativa GB17354-1998 y la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo. • Realizar la simulación de impacto frontal en el parachoques con el software SolidWorks, y comparar los esfuerzos obtenidos en la simulación del MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi. • Realizar un análisis económico de Fabricación y Venta del Parachoques con los Materiales Compuestos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se selecciona los materiales compuestos en función de sus propiedades mecánicas, entonces, se fabricará el parachoques con los materiales más resistentes. • Si se diseña un parachoques con MC empleando la matriz de necesidades, métricas y evaluación de procesos, entonces, se obtendrá un producto que satisfaga a los compradores del parachoques. • Si se realiza el cálculo matemático del impacto frontal en el parachoques Kia Rio 2021 de acuerdo a la normativa GB17354-1998 y la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo, entonces, se obtendrá lo valores de la energía de deformación generada por el impacto • Si se realiza la simulación de impacto frontal en el parachoques con el software SolidWorks, entonces, se podrá comparar los valores obtenidos de los esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y factor de seguridad de los tres materiales compuestos. • Si se realiza un análisis económico de Fabricación y Venta, entonces, se obtendrá el presupuesto de producción y venta de un parachoques con los Materiales Compuestos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi

3.8 Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
¿ES FACTIBLE QUE EL USO DE MATERIALES COMPUESTOS EN UN PARACHOQUES REDUZCA LOS ESFUERZOS FRENTE A UN	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE DISEÑO DE UN PARACHOQUES ANTE UN IMPACTO FRONTAL INDICADORES Energía de Deformación Esfuerzos Deformación unitaria Desplazamiento VARIABLE DEPENDIENTE REDUCCION DE ESFUERZOS	DISEÑO DE INVESTIGACION Tipo aplicada – correlacional con utilización del software CAD/CAE SolidWorks TECNICA DE RECOLECCION DE DATOS. En este proyecto de investigación se usará la observación directa de las fichas técnicas de la fabricación de parachoques; e indirectas, para los datos de las propiedades
	Diseño de un parachoques frente a un impacto frontal con MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi para reducir los esfuerzos.	Si se realiza un diseño de un parachoques frente a un impacto frontal con MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi, entonces, se reducirá los esfuerzos generados en un accidente vehicular		
	ESPECIFICO	ESPECIFICO		
	Seleccionar los materiales compuestos en función de sus propiedades mecánicas para la fabricación de parachoques mediante Software CESedupack.	Si se selecciona los materiales compuestos en función de sus propiedades mecánicas, entonces, se fabricará el parachoques con los materiales más resistentes.		
Diseñar un parachoques con MC empleando la matriz de necesidades, métricas y evaluación de procesos.	Si se diseña un parachoques con MC empleando la matriz de necesidades, métricas y evaluación de procesos, entonces, se obtendrá un producto que satisfaga a los compradores del parachoques.			

IMPACTO FRONTAL?	Realizar el cálculo matemático del impacto frontal en el parachoques Kia Rio 2021 de acuerdo a la normativa GB17354-1998 y la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo.	Si se realiza el modelamiento matemático del impacto frontal en el parachoques Kia Rio 2021 de acuerdo a la normativa GB17354-1998 y la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo, entonces, se obtendrá lo valores de la energía de deformación generada por el impacto	GENERADOS EN UN CHOQUE INDICADORES Variación porcentual de esfuerzos	mecánicas tanto de la fibra (Jute, Kenaf y Sisal) como la matriz (resina epoxi) POBLACION Y MUESTRA La unidad de estudio es el parachoques con materiales compuestos La población serán los parachoques fabricados en la actualidad con materiales plásticos
	Realizar la simulación de impacto frontal en el parachoques con el software SolidWorks, y comparar los esfuerzos obtenidos en la simulación del MC de Jute, Kenaf Y Sisal.	Si se realiza la simulación de impacto frontal en el parachoques con el software SolidWorks, entonces, se podrá comparar los valores obtenidos de los esfuerzos, deformaciones, desplazamientos y factor de seguridad de los tres materiales compuestos.		
	Realizar un análisis económico de Fabricación y Venta del Parachoques con los Materiales Compuestos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi.	Si se realiza un análisis económico de Fabricación y Venta, entonces, se obtendrá el presupuesto de producción y venta de un parachoques con los Materiales Compuestos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi		

IV Resultados Y Discusión

4.1 Selección de fibras de material compuesto

En la siguiente Ilustración 1 se observa los distintos tipos de materiales existentes que contiene el programa computacional CESedupack.

Posterior a ello se realizó un refinamiento de materiales que se emplearán de la biblioteca del software CESedupack. En donde se selecciona a las fibras naturales, poliméricas e híbridas para así obtener las fibras de mayor resistencia al impacto.

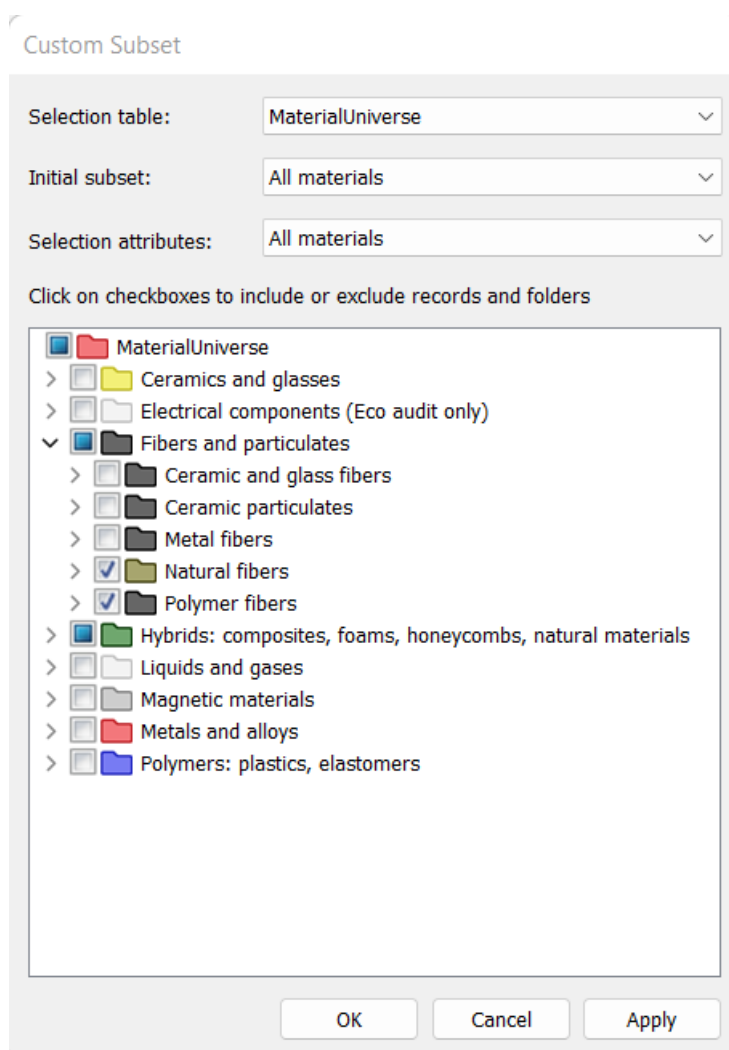


Ilustración 1. Tamizaje de los materiales de la biblioteca del software CESedupack

Fuente. Software CESedupack

Con ello, en la siguiente Ilustración 2 se muestra todas las fibras naturales, poliméricas e híbridas en donde posteriormente se mostrará en el gráfico 3 para así poder realizar un tamizaje con la ayuda del software CESedupack.

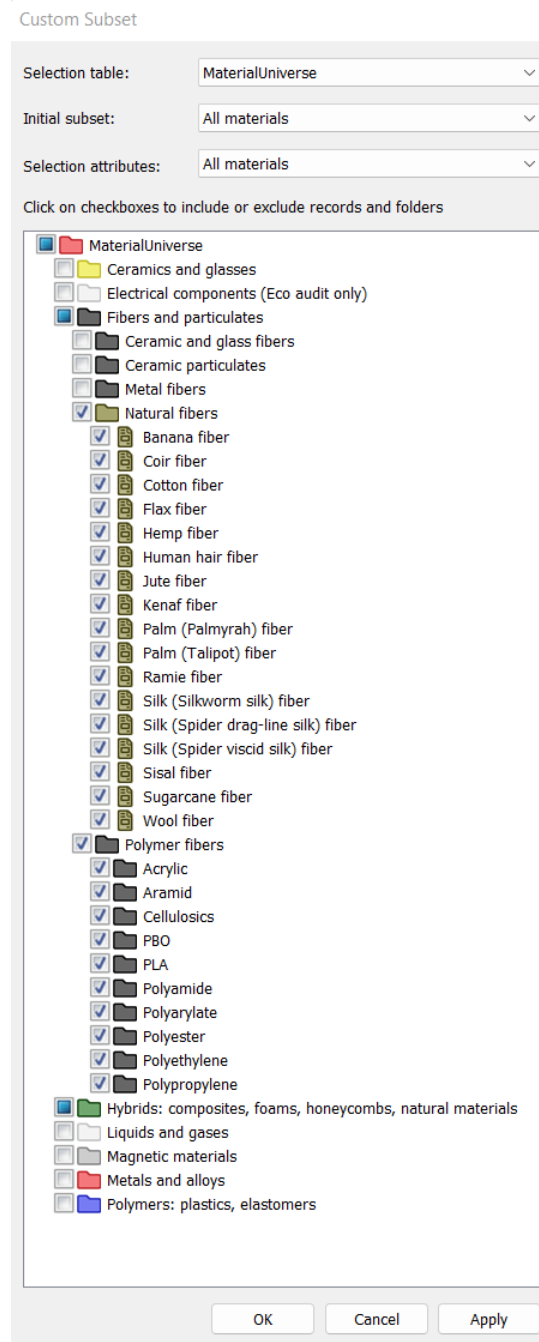


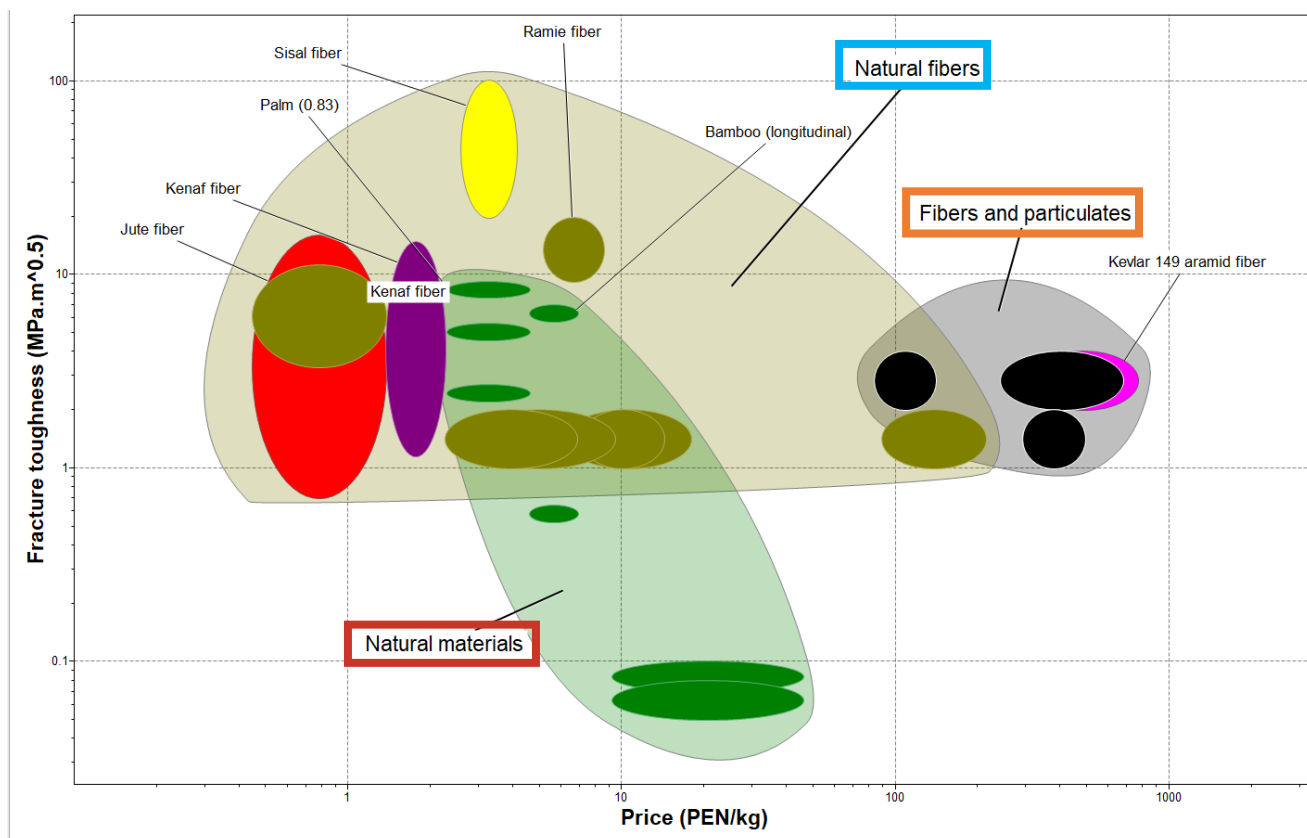
Ilustración 2. Selección de todas las fibras naturales, híbridas y polímeros.

Fuente. Software CESedupack

A continuación, en la siguiente grafica 3 de “Tenacidad a la Fractura vs Precio” se observa tres tipos de conjuntos de materiales en donde el conjunto de fibras naturales se encuentra en el cuadro color celeste; materiales naturales se muestran en el cuadro color granate y por ultimo las fibras y partículas se encuentra en el cuadro color naranja. Además, se muestra en círculos

y/o elipsis de color verde, verde oscuro y negro las distintas fibras las cuales pertenecen a los conjuntos ya mencionados.

“Tenacidad a la Fractura vs Precio”



Gráfica 3. Selección de las 3 fibras más resistentes y de menor costo

Fuente. Software CESedupack

Finalmente, podemos apreciar que la fibra de jute y kenaf, las cuales se muestra de color rojo y violeta, tienen una resistencia al impacto de 16.1 MPa y 14.8 MPa, además se puede verificar en el diagrama a la fibra sisal que su resistencia al impacto (101 MPa) es mucho mayor a las antes mencionadas, sin embargo comparada con la fibra de Kevlar 149 presentan una mayor resistencia y de menor costo, pues he sabido que el Kevlar 149 es utilizado en chalecos antibalas, pues este resiste un alto impacto.

En la tabla 1 se presenta las propiedades mecánicas de las fibras de Jute, Kenaf, Sisal y Kevlar, con sus respectivas unidades y precio en soles por kilogramo.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de las fibras naturales de Jute, Kenaf y Sisal

PARAMETROS	VALOR			UNIDADES
	JUTE	KENAF	SISAL	
Módulo de Young	55	47	24	GPa
Rigidez específica	37.2	46.5	16.8	MN.m/kg
Límite elástico	530	666	711	MPa
Resistencia a la tracción	770	780	790	MPa
Fuerza específica	358	657	499	kN.m/kg
Elongacion	2	4.1	2.9	%
Módulo de flexión	60	53	22	GPa
Resistencia a la flexión (módulo de ruptura)	770	780	790	MPa
Módulo de corte	20	17.4	1.21	GPa
Módulo de volumen	42.4	33	15.9	GPa
Coefficiente de Poisson	0.352	0.368	0.374	Adimensional
Factor de forma	1	1	1	
Energía elástica almacenada	3.76x10 ³	4.33x10 ³	2.01 ⁴	kJ/m ³
Resistencia a la fatiga a 10 ⁷ ciclos	308	312	316	MPa
Tenacidad a la fractura	16.1	14.8	101	MPa.m ^{0.5}
Dureza (G)	3.17	2.59	477	kJ/m ²
Densidad	1.52x10 ³	1.05x10 ³	1.45 x10 ³	kg/m ³
Precio	1.37	2.26	4.12	PEN/kg

4.2 Elaboración de las matrices de necesidades, métricas y evaluación de procesos.

En los siguientes puntos se mostradas las distintas matrices la cuales reflejaran cual es el material más adecuado para el parachoques tomando en cuenta las necesidades requeridas y los criterios de selección.

4.2.1 Matriz de evaluación de procesos:

Tabla 2. Matriz de selección de procesos respecto a los materiales convencionales, MC y acero.

Criterios de selección	CONCEPTOS		
	A- Convencionales - polimero (referencia)	B- Material compuesto	C- Acero
Peso ligero	0	0	-
Durabilidad	0	+	+
Facilidad de manufactura	0	-	0
Costo de materia prima	0	-	-
Resistencia al impacto	0	+	+
Resistencia a la corrosión	0	+	-
Tiempo de vida	0	+	+
Suma +	0	4	3
Suma 0	7	1	0
Suma -	0	2	4
Evaluacion neta	0	2	-1
Lugar	2	1	3
Continuar	Si	Si	No

Tabla 3. Parámetros de Validación.

DEDEMPÑO RELATIVO	CALIFICACION
Mucho peor que la referencia	1
Peor que la referencia	2
Igual que la referencia	3
Mejor que la refrencia	4
Mucho mejor que la referencia	5

Tabla 4. Valoración porcentual de los conceptos respecto a los MC y los Convencionales

Criterios de selección	Peso	B- de Material compuesto		A- de Convencionales - polimerico (referencia)	
		Cafificación	Evaluación ponderada	Cafificación	Evaluación ponderada
Peso ligero	18%	5	0,9	3	0,54
Durabilidad	18%	5	0,9	3	0,54
Facilidad de manufactura	5%	2	0,1	3	0,15
Costo de materia prima	14%	4	0,56	3	0,42
Resistencia al impacto	20%	5	1	3	0,6
Resistencia a la corrosión	10%	4	0,4	3	0,3
Tiempo de vida	15%	5	0,75	3	0,45
Total			4,61		3
lugar			1		2
Continuar			Si		No

4.2.2 Matriz de necesidades:

Esta matriz refleja la variedad de necesidades que requiere una persona o empresa en la producción de un parachoques.

Por ello, en el siguiente cuadro se observa una lista de las distintas especificaciones requeridas por los clientes en un parachoques de calidad y seguro, ya que ellos siempre optaran por la elección de un producto que cubra lo que requieren.

Además, a cada necesidad requeridas por el cliente se le dará una valoración que estará entre 1 – 5.

Tabla 5. Necesidades exigidas por los compradores

N°	NECESIDAD		imp.
1	Parachoques	Reduce las fisuras por radiacion	3
2	Parachoques	Permite mayor resistencia en un choque	5
3	Parachoques	Adaptable a las características de el vehiculo	3
4	Parachoques	Es ligero	4
5	Parachoques	Genera orgullo	5
6	Parachoques	No le afecta el agua	4
7	Parachoques	No le afecta el barro	4
8	Parachoques	Es duradera	4
9	Parachoques	Es seguro en pequeños choques	5
10	Parachoques	Factibilidad de elaboracion	4
11	Parachoques	Bajo costo	3
12	Parachoques	Genera seguridad	5
13	Parachoques	Materia prima accesible	3
14	Parachoques	Reduce la comtaminacion ambiental	5
15	Parachoques	Facil instalamiento	3

En la siguiente tabla se observa una lista de métricas (valor) las cuales juntará las distintas necesidades en un solo punto que se deberá satisfacer de acuerdo al grado de importancia.

Tabla 6. Ubicación de las necesidades con sus respectivas métricas.

Valor n°	Necesidad	Valor	Importancia	Unidad
1	1,2,6,7,8	vida util	5	años
2	2,9	Deformacion unitaria	5	mm
3	2,8,9	Desplazamientos	5	mm
4	2,5,8,9,12	Tensiones	5	N/mm2
5	9	Factor de seguridad	5	Und
6	10,11,13	Coste de fabricación	4	Dólar
7	4	Masa total	5	Kg
8	15	Tiempo de montaje/desmontaje	2	Seg
9	6	Resistencia a la corrosión	3	List
10	5,12,14	Genera orgullo	3	subj
11	3,10	Compatibilidad con el diseño aerodinamico del auto	4	
12	2	Resistencia a ciertas velocidades altas	5	Km/h
13	7	Compatibilidad con tapabarros	3	
14	9	Seguridad frente a un impacto de baja magnitud	4	km/h
15	12	rigides frontal y lateral	3	

- Tiempo de impacto:

$$\Delta t: 0.069 \sim 0.089$$

- Dependiendo de esta pérdida de energía será

$$U = (T_i - T_f) [kJ]$$

Ya que "U" representa las formas de energía no conservativas y se realizara el supuesto de la existencia única de pérdidas por deformación, se tiene que:

$$U = U_{bumper} + U_{pared}$$

Donde: $U_{bumper} \gg U_{pared}$

$$U = U_{bumper}$$

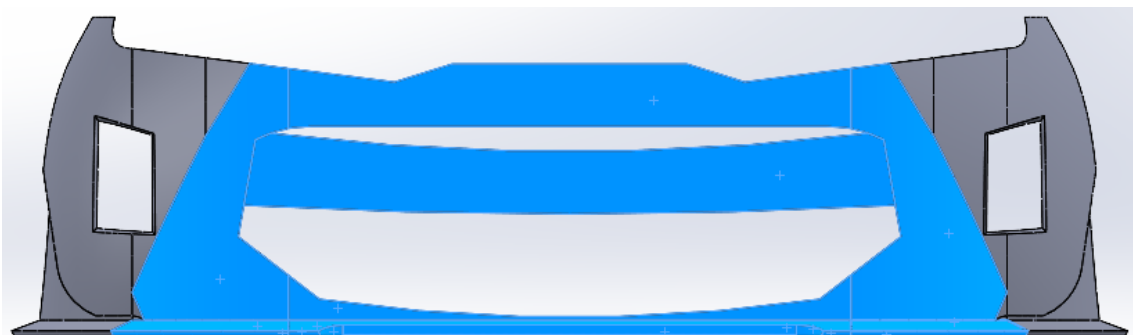


Ilustración 4. Área de impacto del bumper

- Área de impacto frontal:

$$A_{contacto} = 310\,909.10\text{mm}^2$$

- Teorema de cantidad de movimiento:

$$m \cdot C_i + \int_{t_i}^{t_f} F \, dt = m \cdot C_f$$

$$F \cdot \Delta t = m(C_f - C_i)$$

$$F = \frac{m(C_f - C_i)}{\Delta t}$$

- Esfuerzo axial:

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{contacto}}$$

- Energía de Deformación:

$$W = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2}{E}$$

- Deformación unitaria

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E}$$

4.3.2 Modelamiento del impacto frontal según la normativa GB17354-1998 y directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo.

✚ Según la normativa GB17354-1998, menciona que para un ensayo de impacto no destructivo se toma una velocidad de 4km/h.

Es por ello que se realizó el modelamiento a dicha velocidad para los MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi respectivamente.

✓ Parámetros de entrada

- Volumen de bumper (parachoques):

$$V_{bumper} = 3\,965\,469.83 \text{ mm}^3$$

- Masa del automóvil:

$$m = 1\,100 \text{ kg}$$

- Velocidad de impacto:

$$v_{impacto} = 4 \text{ km/h}$$

✓ Módulo Elástico de los Materiales:

$$E_{jute} = 34\,400 \text{ MPa}$$

$$E_{kenaf} = 29\,600 \text{ MPa}$$

$$E_{sisal} = 15\,800 \text{ MPa}$$

✓ Choque frontal:

- Según los resultados obtenidos en [28], para materiales compuesto con disposición de fibras semejantes a un material isoentrópico obtiene coeficientes de restitución con un valor de 0.31 aproximadamente.

$$e = 0.31$$

- Asimismo, en [28], obtiene resultados de tiempo de impacto cercanos a 0.088s, por lo que se realizara el modelamiento con dicho valor.

$$t = 0.088 \text{ s}$$

- Luego de tener los valores del coeficiente de restitución y el tiempo de impacto, se halla la velocidad inicial de impacto:

$$C_i = v_{impacto} * \frac{5}{18} \text{ [m/s]}$$

$$C_i = 4 * \frac{5}{18} \text{ [m/s]}$$

$$C_i = 1.1111 \text{ [m/s]}$$

- Posteriormente se calculó la velocidad final de impacto

$$C_f = -e \cdot C_i$$

$$C_f = -(0.31) \cdot (1.1111 \text{ m/s})$$

$$C_f = -0.3444 \text{ m/s}$$

✓ Energía cinética:

- En primer lugar, se calcula la energía cinética antes de choque:

$$E_{k1} = \frac{m \cdot C_i^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k1} = \frac{(1\ 100)(1.1111)^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k1} = 0.6790$$

- Luego se calcula la energía cinética después del choque:

$$E_{k2} = \frac{m \cdot C_f^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k2} = \frac{(1\ 100)(-0.34444)^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k2} = 0.0653 \text{ kJ}$$

- Con los dos tipos de energía se encuentra la energía disipada:

$$U = E_{k1} - E_{k2} \text{ [kJ]} \rightarrow \text{Energía Disipada}$$

$$U = 0.6790 - 0.0653 \text{ [kJ]}$$

$$U = 0.6138 \text{ kJ}$$

- Para así poder realizar el cálculo de la Energía Disipada por unidad de volumen.

$$U_{esp} = \frac{U}{V_{bumper}(10)^{-9}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

$$U_{esp} = \frac{0.6138}{(3\ 965\ 469.83)(10)^{-9}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

$$U_{esp} = 154.7759 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

✓ Teorema de cantidad de movimiento

- Área de impacto frontal:

$$A_{contacto} = 310\ 909.10 \text{ mm}^2$$

- Con las velocidades encontradas, la masa y el tiempo, se calcula la fuerza de impacto:

$$F = \left| \frac{m(C_f - C_i)}{t} \right| [N]$$

$$F = \left| \frac{1\ 100[(-0.34444) - 1.1111]}{0.088} \right| [N]$$

$$F = 18\ 194\ N$$

- Luego se halla el esfuerzo axial generado en el choque

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{contacto}} [MPa]$$

$$\sigma_x = \frac{18\ 194}{310\ 909.10} [MPa]$$

$$\sigma_x = 0.0585\ MPa$$

- Finalmente se realiza el cálculo de las energías de deformación y la energía transferida a elementos adyacentes al parachoques.

- Para el material compuesto de Jute/Epoxi:

- Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E_{jute}}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{0.0585}{34\ 400}$$

$$\varepsilon_{max} = 1.7012 \times 10^{-6}$$

- Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\ 000}{E_{jute}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.0585^2)(1\ 000)}{34\ 400} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = 4.9776 \times 10^{-5} \frac{kJ}{m^3}$$

- Energía transferida

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elatico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 154.7759 - 4.9776 \times 10^{-5} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 154.7759 \frac{kJ}{m^3}$$

- Para el material compuesto de Kenaf/Epoxi:

- Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E_{kenaf}}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{0.0585}{29\,600}$$

$$\varepsilon_{max} = 1.9770 \times 10^{-6}$$

- Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\,000}{E_{kenaf}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.0585^2)(1\,000)}{29\,600} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = 5.7848 \times 10^{-5} \frac{kJ}{m^3}$$

- Energía transferida

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elastico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 154.7759 - 5.7848 \times 10^{-5} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 154.7759 \frac{kJ}{m^3}$$

- Para el material compuesto de Sisal/Epoxi:

- Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E_{jute}}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{0.0585}{15\,800}$$

$$\varepsilon_{max} = 3.7038 \times 10^{-6}$$

- Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\,000}{E_{jute}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.0585^2)(1\,000)}{15\,800} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

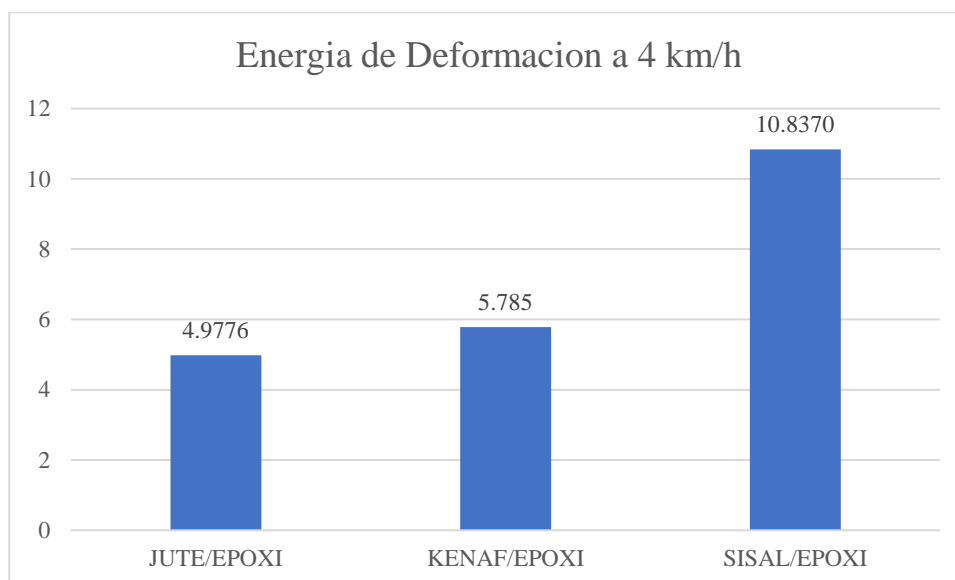
$$W_{elastico} = 1.0837 \times 10^{-4} \frac{kJ}{m^3}$$

➤ Energía transferida

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elatico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 154.7759 - 1.0837 \times 10^{-4} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 154.7758 \frac{kJ}{m^3}$$



Gráfica 4. Comparación de las Energías de Deformación de los MC generadas en el impacto a 4 km/h

* Los valores mostrados en la gráfica se encuentran en $10^{-4} kJ$

En la gráfica 4 de “Energía de Deformación”, se observa el límite elástico de cada material compuesto, ya que pasando los valores mostrados para cada material la energía interna generada a la hora del impacto se trasladará a las demás partes del automóvil. Por otro lado, el MC de Sisal/Epoxi es el material que más soporta a un choque de 4 km/h con una energía de deformación de $10.8370 \times 10^{-4} kJ$, seguido del kenaf/Epoxi ($5.785 \times 10^{-4} kJ$) y por último el Jute/Epoxi ($4.9776 \times 10^{-4} kJ$).

✚ Según la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo, menciona que para un ensayo de impacto no destructivo se toma una velocidad de 56 km/h.

Es por ello que se realizó el modelamiento a dicha velocidad para los MC de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi respectivamente.

*** Caso N°01:**

✓ Parámetros de entrada

- Volumen de bumper (parachoques):

$$V_{bumper} = 3\,965\,469.83 \text{ mm}^3$$

- Masa del automóvil:

$$m = 1\,100 \text{ kg}$$

- Velocidad de impacto:

$$v_{impacto} = 56 \text{ km/h}$$

✓ Módulo elástico Materiales

$$E_{jute} = 34\,400 \text{ MPa}$$

$$E_{kenaf} = 29\,600 \text{ MPa}$$

$$E_{sisal} = 15\,800 \text{ MPa}$$

✓ Choque frontal

* Para efecto de cálculo se realizó una suposición en los valores del coeficiente de restitución y el tiempo de impacto.

- Coeficiente de restitución.

$$e = 0.21$$

- Tiempo de impacto

$$t = 0.098 \text{ s}$$

- Luego de tener los valores del coeficiente de restitución y el tiempo de impacto, se halla la velocidad inicial de impacto:

$$C_i = v_{impacto} * \frac{5}{18} \text{ [m/s]}$$

$$C_i = 56 * \frac{5}{18} \text{ [m/s]}$$

$$C_i = 15.5556 \text{ m/s}$$

- Posteriormente se calculó la velocidad final de impacto

$$C_f = -e \cdot C_i$$

$$C_f = -(0.21) \cdot (15.5556 \text{ m/s})$$

$$C_f = -3.2667 \text{ m/s}$$

✓ Energía cinética

- En primer lugar, se calcula la energía cinética antes de choque:

$$E_{k1} = \frac{m \cdot C_i^2}{2000} [kJ]$$

$$E_{k1} = \frac{(1\ 100)(15.5556)^2}{2000} [kJ]$$

$$E_{k1} = 133.0864\ kJ$$

- Luego se calcula la energía cinética después del choque:

$$E_{k2} = \frac{m \cdot C_f^2}{2000} [kJ]$$

$$E_{k2} = \frac{(1\ 100)(-3.2667)^2}{2000} [kJ]$$

$$E_{k2} = 5.8691\ kJ$$

- Con los dos tipos de energía se encuentra la energía disipada:

$$U = E_{k1} - E_{k2} [kJ] \rightarrow \text{Energía Disipada}$$

$$U = 133.0864 - 5.8691 [kJ]$$

$$U = 127.2173\ kJ$$

- Para así poder realizar el cálculo de la Energía Disipada por unidad de volumen.

$$U_{esp} = \frac{U}{V_{bumper}(10)^{-9}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$U_{esp} = \frac{127.2173}{(3\ 965\ 469.83)(10)^{-9}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$U_{esp} = 32\ 081 \frac{kJ}{m^3}$$

✓ Teorema de cantidad de movimiento

- Área de impacto frontal:

$$A_{contacto} = 310\ 909.10\ mm^2$$

- Con las velocidades encontradas, la masa y el tiempo, se calcula la fuerza de impacto:

$$F = \left| \frac{m(C_f - C_i)}{t} \right| [N]$$

$$F = \left| \frac{1\ 100[(-3.2667) - 15.5556]}{0.098} \right| [N]$$

$$F = 211\ 270\ N$$

- Luego se halla el esfuerzo axial generado en el choque

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{\text{contacto}}} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_x = \frac{211\,270}{310\,909.10} \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_x = 0.6795 \text{ MPa}$$

- Finalmente se realiza el cálculo de las energías de deformación y la energía transferida a elementos adyacentes al parachoques.

- Para el material compuesto de Jute/Epoxi:

- Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{\sigma_x}{E_{\text{jute}}}$$

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{0.6795}{34\,400}$$

$$\varepsilon_{\text{max}} = 1.9754 \times 10^{-5}$$

- Energía de deformación:

$$W_{\text{elastico}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\,000}{E_{\text{jute}}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W_{\text{elastico}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.6795^2)(1\,000)}{34\,400} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W_{\text{elastico}} = 0.0067 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

- Energía transferida:

$$W_{\text{trans}} = U_{\text{esp}} - W_{\text{elastico}} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W_{\text{trans}} = 32\,081 - 0.0067 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} \right]$$

$$W_{\text{trans}} = 32\,080.9933 \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3}$$

- Para el material compuesto de Kenaf/Epoxi

- Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{\sigma_x}{E_{\text{jute}}}$$

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{0.6795}{29\,600}$$

$$\varepsilon_{\text{max}} = 2.2957 \times 10^{-5}$$

➤ Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\,000}{E_{jute}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.6795^2)(1\,000)}{29\,600} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = 0.0078 \frac{kJ}{m^3}$$

➤ Energía transferida:

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elastico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 32\,081 - 0.0078 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 32\,080.9922 \frac{kJ}{m^3}$$

• Para el material compuesto de Sisal/Epoxi

➤ Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E_{jute}}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{0.6795}{15\,800}$$

$$\varepsilon_{max} = 4.3008 \times 10^{-5}$$

➤ Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\,000}{E_{jute}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.6795^2)(1\,000)}{15\,800} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

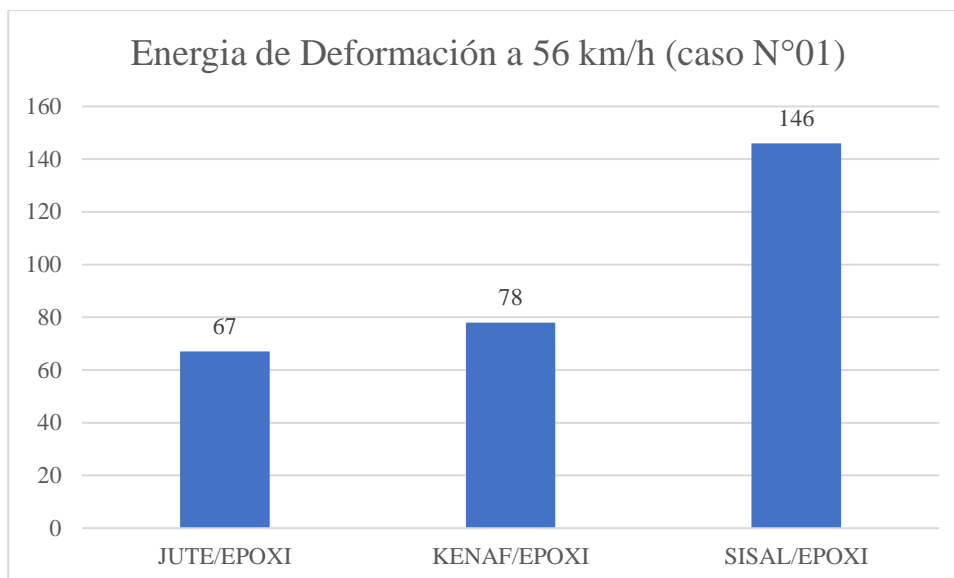
$$W_{elastico} = 0.0146 \frac{kJ}{m^3}$$

➤ Energía transferida:

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elastico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 32\,081 - 0.0146 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 32\,080.9854 \frac{kJ}{m^3}$$



Gráfica 5. Comparación de las Energías de Deformación de los MC generadas en el impacto a 56 km/h (caso N°01)

* los valores mostrados en la gráfica se encuentran en $10^{-4}kJ$

En la gráfica 5 de “Energía de Deformación”, se observa el límite elástico de cada material compuesto, ya que pasando los valores mostrados para cada material la energía interna generada a la hora del impacto se trasladará a las demás partes del automóvil. Por otro lado, el MC de Sisal/Epoxi es el material que más soporta a un choque de 56 km/h (Caso N°01) con una energía de deformación de 146×10^{-4} kJ, seguido del kenaf/Epoxi (78×10^{-4} kJ) y por último el Jute/Epoxi (67×10^{-4} kJ).

***Caso N°02:** En este caso se idealiza el coeficiente de restitución igualándolo a cero.

✓ Parámetros de entrada

- Volumen de bumper (parachoques):

$$V_{bumper} = 3\,965\,469.83 \text{ mm}^3$$

- Masa del automóvil:

$$m = 1\,100 \text{ kg}$$

- Velocidad de impacto:

$$v_{impacto} = 56 \text{ km/h}$$

✓ Módulo elástico Materiales

$$E_{jute} = 34\,400 \text{ MPa}$$

$$E_{kenaf} = 29\,600 \text{ MPa}$$

$$E_{sisal} = 15\,800 \text{ MPa}$$

✓ Choque frontal

- Coeficiente de restitución:

$$e = 0$$

- Tiempo de impacto:

$$t = 0.098 \text{ s}$$

- Luego de tener los valores del coeficiente de restitución y el tiempo de impacto, se halla la velocidad inicial de impacto:

$$C_i = v_{\text{impacto}} * \frac{5}{18} \text{ [m/s]}$$

$$C_i = 56 * \frac{5}{18} \text{ [m/s]}$$

$$C_i = 15.5556 \text{ m/s}$$

- Posteriormente se calculó la velocidad final de impacto:

$$C_f = -e \cdot C_i$$

$$C_f = -(0) \cdot (15.5556 \text{ m/s})$$

$$C_f = 0 \text{ m/s}$$

✓ Energía cinética

- En primer lugar, se calcula la energía cinética antes de choque:

$$E_{k1} = \frac{m \cdot C_i^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k1} = \frac{(1100)(15.5556)^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k1} = 133.0864 \text{ kJ}$$

- Luego se calcula la energía cinética después del choque:

$$E_{k2} = \frac{m \cdot C_f^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k2} = \frac{(1100)(0)^2}{2000} \text{ [kJ]}$$

$$E_{k2} = 0 \text{ kJ}$$

- Con los dos tipos de energía se encuentra la energía disipada:

$$U = E_{k1} - E_{k2} \text{ [kJ]} \rightarrow \text{Energía Disipada}$$

$$U = 133.0864 - 0 \text{ [kJ]}$$

$$U = 133.0864 \text{ kJ}$$

- Para así poder realizar el cálculo de la Energía Disipada por unidad de volumen:

$$U_{esp} = \frac{U}{V_{bumper}(10)^{-9}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$U_{esp} = \frac{133.0864}{(3\ 965\ 469.83)(10)^{-9}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$U_{esp} = 33\ 561 \frac{kJ}{m^3}$$

✓ Teorema de cantidad de movimiento

- Área de impacto frontal:

$$A_{contacto} = 310\ 909.10 mm^2$$

- Con las velocidades encontradas, la masa y el tiempo, se calcula la fuerza de impacto:

$$F = \left| \frac{m(C_f - C_i)}{t} \right| [N]$$

$$F = \left| \frac{1\ 100[(0) - 15.5556]}{0.098} \right| [N]$$

$$F = 174\ 600 N$$

- Luego se halla el esfuerzo axial generado en el choque:

$$\sigma_x = \frac{F}{A_{contacto}} [MPa]$$

$$\sigma_x = \frac{174\ 600}{310\ 909.10} [MPa]$$

$$\sigma_x = 0.5616 MPa$$

- Finalmente se realiza el cálculo de las energías de deformación y la energía transferida a elementos adyacentes al parachoques.

- Para el material compuesto de Jute/Epoxi

- Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E_{jute}}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{0.5616}{34\ 400}$$

$$\varepsilon_{max} = 1.6325 \times 10^{-5}$$

➤ Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\,000}{E_{jute}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.5616^2)(1\,000)}{34\,400} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = 0.0046 \frac{kJ}{m^3}$$

➤ Energía transferida:

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elastico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 33\,561 - 0.0046 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 33\,560.9954 \frac{kJ}{m^3}$$

• Para el material compuesto de Kenaf/Epoxi

➤ Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E_{jute}}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{0.5616}{29\,600}$$

$$\varepsilon_{max} = 1.8973 \times 10^{-5}$$

➤ Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\,000}{E_{jute}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.5616^2)(1\,000)}{29\,600} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = 0.0053 \frac{kJ}{m^3}$$

➤ Energía transferida:

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elastico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 33\,561 - 0.0053 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 33\,560.9947 \frac{kJ}{m^3}$$

- Para el material compuesto de Sisal/Epoxi

➤ Cálculo de la deformación unitaria:

$$\varepsilon_{max} = \frac{\sigma_x}{E_{jute}}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{0.5616}{15\ 800}$$

$$\varepsilon_{max} = 3.5544 \times 10^{-5}$$

➤ Energía de deformación:

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sigma_x^2 \cdot 1\ 000}{E_{jute}} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{elastico} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(0.5616^2)(1\ 000)}{15\ 800} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

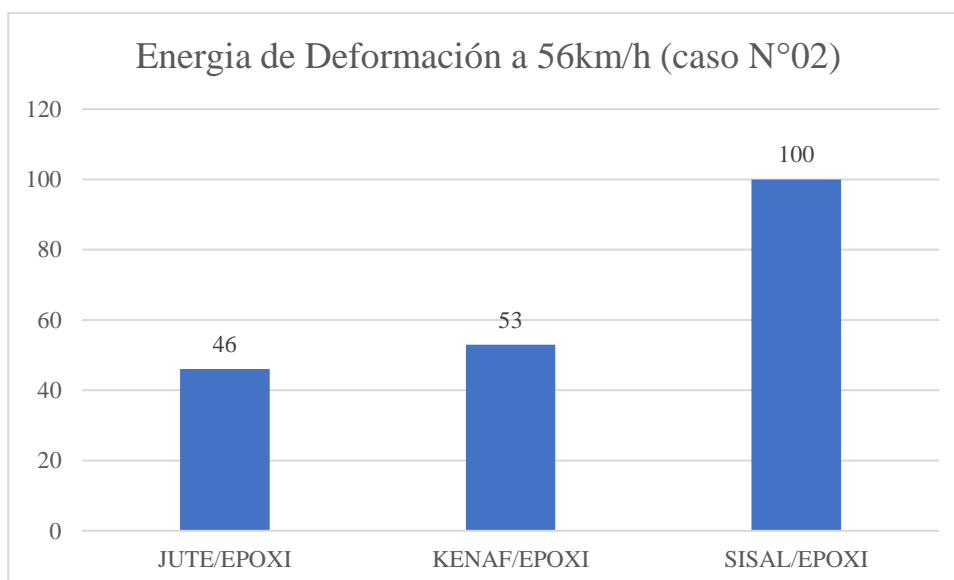
$$W_{elastico} = 0.01 \frac{kJ}{m^3}$$

➤ Energía transferida:

$$W_{trans} = U_{esp} - W_{elastico} \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 33\ 561 - 0.01 \left[\frac{kJ}{m^3} \right]$$

$$W_{trans} = 33\ 560.99 \frac{kJ}{m^3}$$



Gráfica 6. Comparación de las Energías de Deformación de los MC generadas en el impacto a 56 km/h (caso N°02)

* Los valores mostrados en la gráfica 6 se encuentran en $10^{-4} kJ$

En la gráfica 6 de “Energía de Deformación”, se observa el límite elástico de cada material compuesto, ya que pasando los valores mostrados para cada material la energía interna generada a la hora del impacto se trasladará a las demás partes del automóvil. Por otro lado, el MC de Sisal/Epoxi es el material que más soporta a un choque de 56 km/h (Caso N°02) con una energía de deformación de 100×10^{-4} kJ, seguido del kenaf/Epoxi (56×10^{-4} kJ) y por último el Jute/Epoxi (46×10^{-4} kJ).

4.4 Análisis de impacto

Mediante las ecuaciones (4), (5), (6), (7), (8), (9), (10), (11), (12), (13) y (14) del modelo micromecánica de chamis podemos obtener las propiedades mecánicas del material compuesto de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi las cuales se muestran en las tablas 8,11 y 14, y así poder realizar la simulación en el software SolidWorks

Para esta tesis se empleó la simulación de un choque o impacto frontal del bumpers mediante el programa computacional SolidWorks para así obtener los esfuerzos, desplazamiento y deformación unitaria en cada material compuesto

Posteriormente se muestra las propiedades mecánicas y simulación de cada MC.

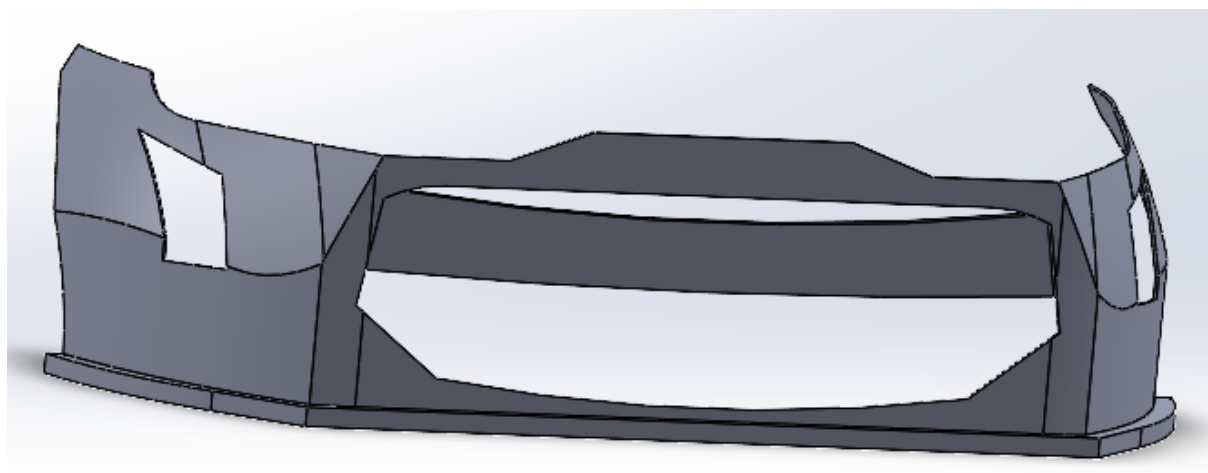


Ilustración 5. Parachoques Kia Rio (Sedan) 2021

- ✚ Según la normativa GB17354-1998, se simuló una velocidad de 4 km/h.
- ✓ Jute (fibra) – Resina Epoxi (matriz)

En la siguiente tabla 8 se mostrará las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto a simular, mediante pruebas de tracción, en donde se empleó como fibra natural al Jute y como matriz a la resina Epoxi.

Tabla 8. Propiedades Mecánicas del MC de Jute/Epoxi

PROPIEDADES	Unidades	VALOR
Límite elástico	MPa	415.8
Módulo elástico	MPa	34 400
Coefficiente de Poisson	-	0.3512
Densidad	kg/m ³	1 332
Módulo cortante	MPa	4 703
Tensión a la rotura	MPa	462

Para el criterio de mallado, se empleó malla sólida basada en curvatura bien refinada como se muestra en la Tabla 9, para ello, se utilizó el método de elementos finitos.

Tabla 9. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Jute/Epoxi a 4km/h

PARAMETROS	RESULTADOS
Tipo De Malla	Malla sólida
Mallador Utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos Jacobianos Para Malla De Alta Calidad	16 Puntos
Tamaño Máximo De Elemento	13.1388 mm
Tamaño Mínimo Del Elemento	6.3451 mm
Calidad De Malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	275 707
Número total de elementos	322 186
Cociente máximo de aspecto	10.975
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00295
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:22

Fuente. Software SolidWorks

Los resultados de la simulación obtenidos por el software SolidWorks los podemos observar en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Jute/Epoxi a 4 km/h

RESULTADOS	
Tensión (MPa)	41.73
Desplazamiento (mm)	0.613
Deformación Unitaria	0.0006881

Fuente. Software SolidWorks

En estos resultados se observa que el Material Compuesto formado por la fibra natural de Jute y la matriz de Resina Epoxi, presenta una Resistencia de 41.73 MPa, un Desplazamiento de 0.613 mm y una deformación unitaria de 0.0006881, ante a un impacto frontal de 4 Km/h.



Ilustración 6. Mallado del parachoques (Jute/Epoxi) a 4 km/h

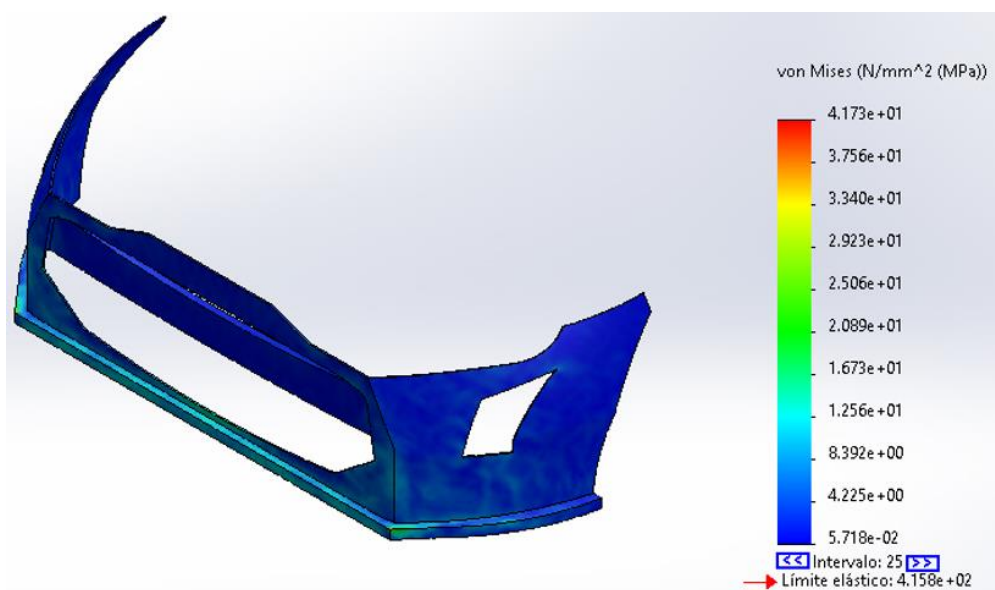


Ilustración 7. Simulación de impacto – Esfuerzos (Jute/Epoxi) a 4 km/h

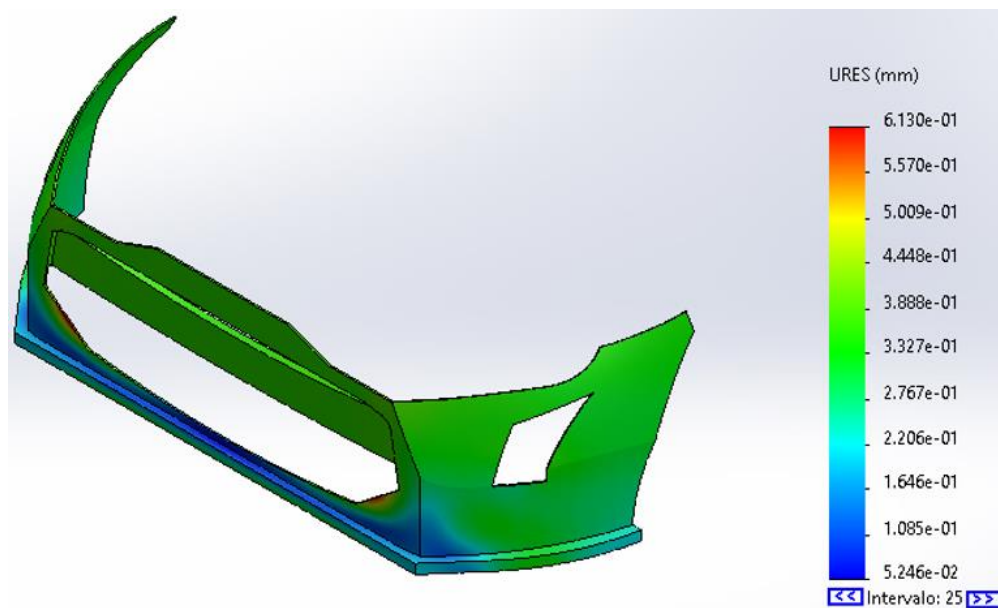


Ilustración 8. Simulación de impacto – Desplazamientos (Jute/Epoxi) a 4 km/h

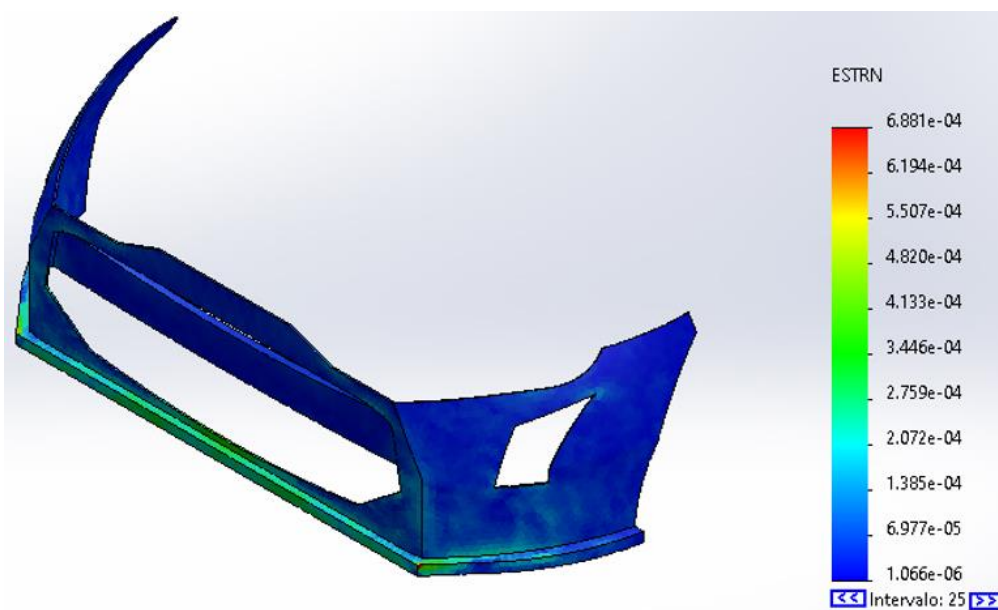


Ilustración 9. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Jute/Epoxi) a 4 km/h

✓ Kenaf (fibra) – Resina Epoxi (matriz)

En la tabla 11 se mostrará las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto a simular, mediante pruebas de tracción, en donde se empleó como fibra natural al Kenaf y como matriz a la resina Epoxi.

Tabla 11. Propiedades Mecánicas del MC de Kenaf/Epoxi

PROPIEDADES	Unidades	VALOR
Límite elástico	MPa	421.2
Módulo elástico	MPa	29 600
Coefficiente de Poisson	-	0.3608
Densidad	kg/m ³	1 050
Módulo cortante	MPa	4 579
Tensión a la rotura	MPa	468

Para el criterio de mallado, se empleó malla sólida basada en curvatura bien refinada como se muestra en la Tabla 12, para ello, se utilizó el método de elementos finitos.

Tabla 12. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Kenaf/Epoxi a 4 km/h

PARAMETROS	RESULTADOS
Tipo De Malla	Malla sólida
Mallador Utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos Jacobianos Para Malla De Alta Calidad	16 Puntos
Tamaño Máximo De Elemento	13.1388 mm
Tamaño Mínimo Del Elemento	6.3451 mm
Calidad De Malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	275 707
Número total de elementos	322 186
Cociente máximo de aspecto	10.975
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00295
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:35

Fuente. Software SolidWorks

Los resultados de la simulación obtenidos por el software SolidWorks los podemos observar en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Kenaf/Epoxi a 4 km/h

RESULTADOS	
Tensión (MPa)	34.38
Desplazamiento (mm)	0.6219
Deformación Unitaria	0.0006777

En estos resultados se observa que el Material Compuesto formado por la fibra natural de Kenaf y la matriz de Resina Epoxi, presenta una Resistencia de 34.38 MPa, un Desplazamiento de 0.6219 mm y una deformación unitaria de 0.0006777, ante a un impacto frontal de 4 Km/h



Ilustración 10. Mallado del parachoques (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h

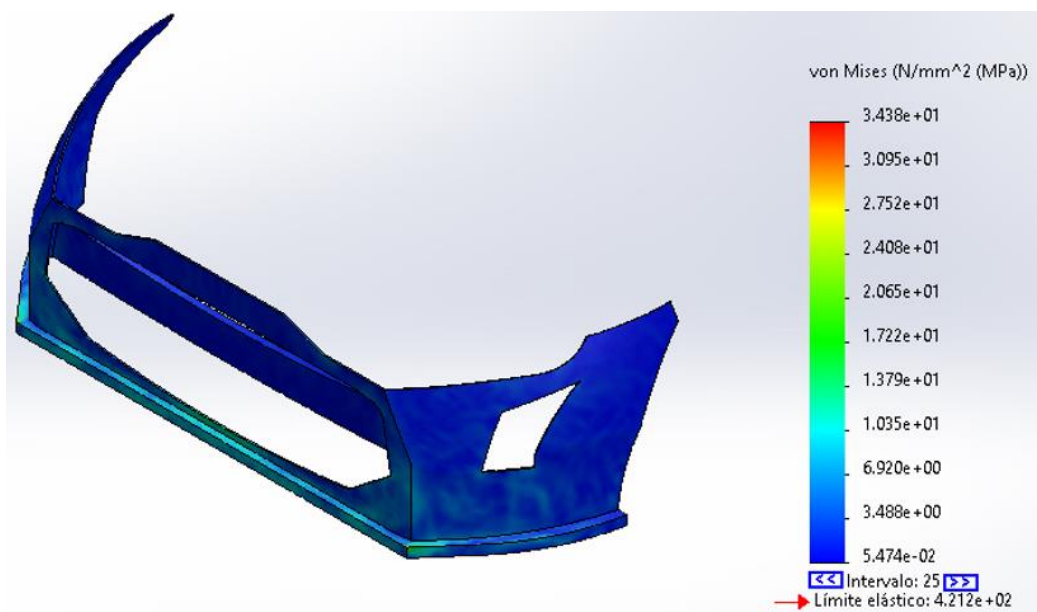


Ilustración 11. Simulación de impacto – Esfuerzos (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h

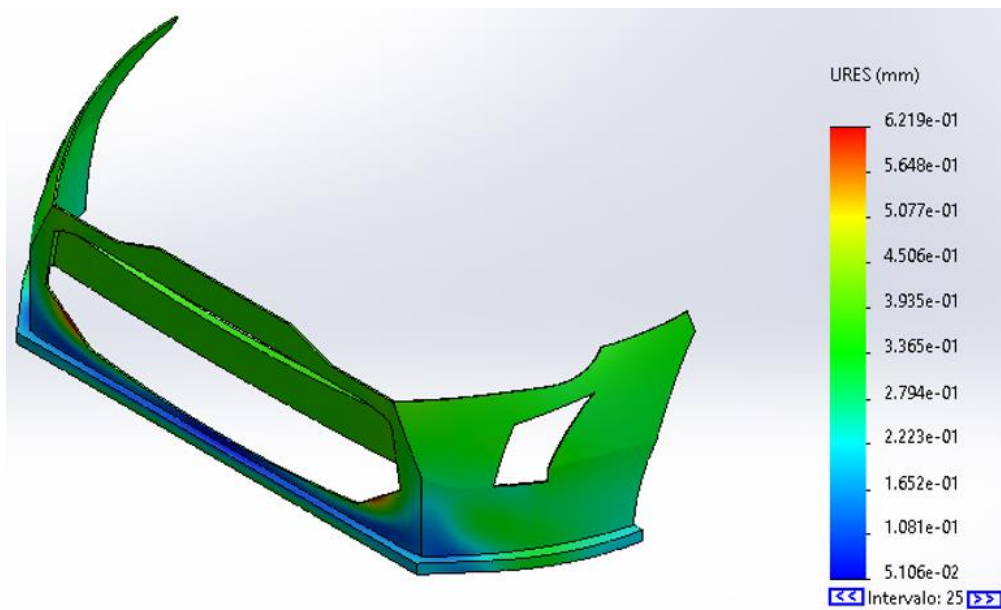


Ilustración 12. Simulación de impacto – Desplazamientos (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h

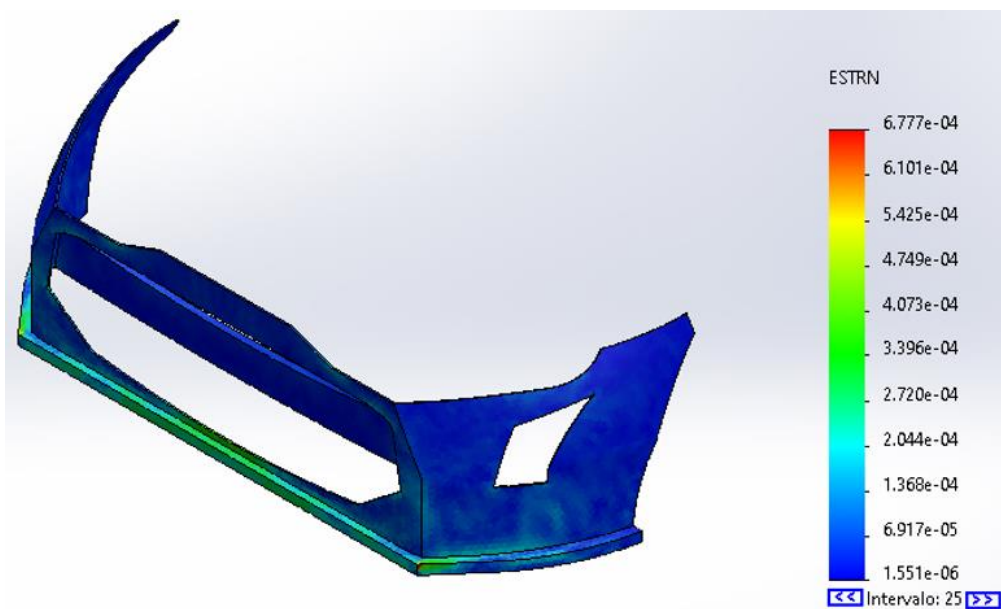


Ilustración 13. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Kenaf/Epoxi) a 4 km/h

✓ Sisal (fibra) – Resina Epoxi (matriz)

En la tabla 14 se mostrará las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto a simular, mediante pruebas de tracción, en donde se empleó como fibra natural al Sisal y como matriz a la resina Epoxi.

Tabla 14. Propiedades Mecánicas del MC de Sisal/Epoxi

PROPIEDADES	Unidades	VALOR
Límite elástico	MPa	426.6
Módulo elástico	MPa	15 800
Coefficiente de Poisson	-	0.3644
Densidad	kg/m ³	1 290
Módulo cortante	MPa	1 228
Tensión a la rotura	MPa	474

Para el criterio de mallado, se empleó malla sólida basada en curvatura bien refinada como se muestra en la Tabla 15, para ello, se utilizó el método de elementos finitos.

Tabla 15. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Sisal/Epoxi a 4 km/h

PARAMETROS	RESULTADOS
Tipo De Malla	Malla sólida
Mallador Utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos Jacobianos Para Malla De Alta Calidad	16 Puntos
Tamaño Máximo De Elemento	13.1388 mm
Tamaño Mínimo Del Elemento	6.3451 mm
Calidad De Malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	275 707
Número total de elementos	322 186
Cociente máximo de aspecto	10.975
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00295
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:43

Fuente. Software SolidWorks

Los resultados de la simulación obtenidos por el software SolidWorks los podemos observar en la siguiente Tabla 16.

Tabla 16. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Sisal/Epoxi a 4 km/h

RESULTADOS	
Tensión (MPa)	27.71
Desplazamiento (mm)	0.942
Deformación Unitaria	0.001016

En estos resultados se observa que el Material Compuesto formado por la fibra natural de Sisal y la matriz de Resina Epoxi, presenta una Resistencia de 27.71 MPa, un Desplazamiento de 0.942 mm y una deformación unitaria de 0.001016, ante a un impacto frontal de 4 Km/h



Ilustración 14. Mallado del parachoques (Sisal/Epoxi) a 4 km/h

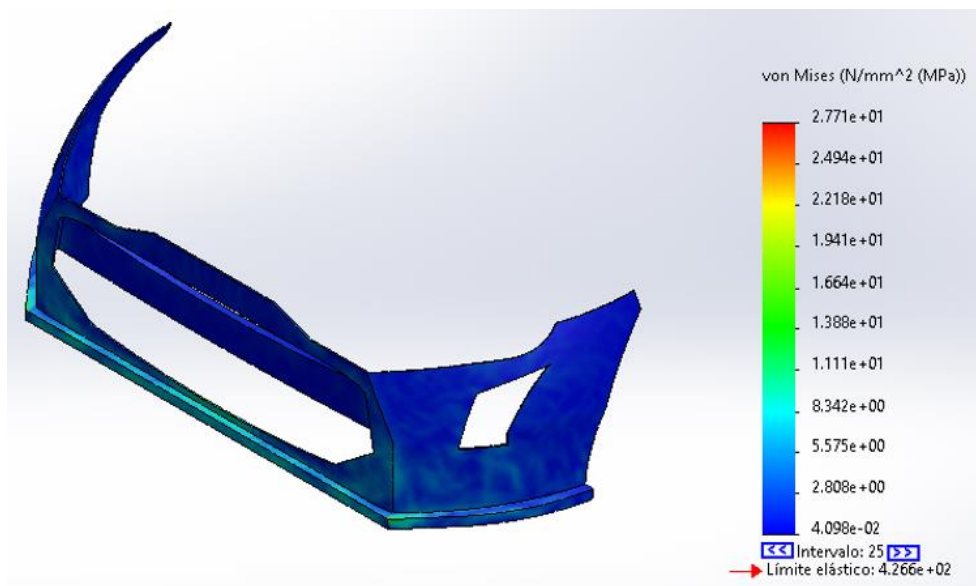


Ilustración 15. Simulación de impacto – Esfuerzos (Sisal/Epoxi) a 4 km/h

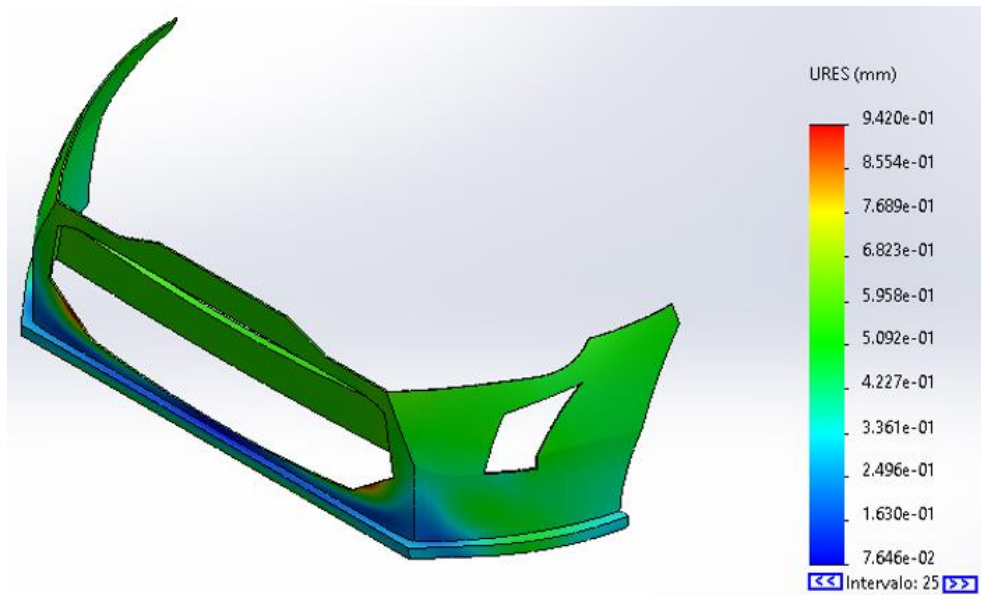


Ilustración 16. Simulación de impacto – Desplazamientos (Sisal/Epoxi) a 4 km/h

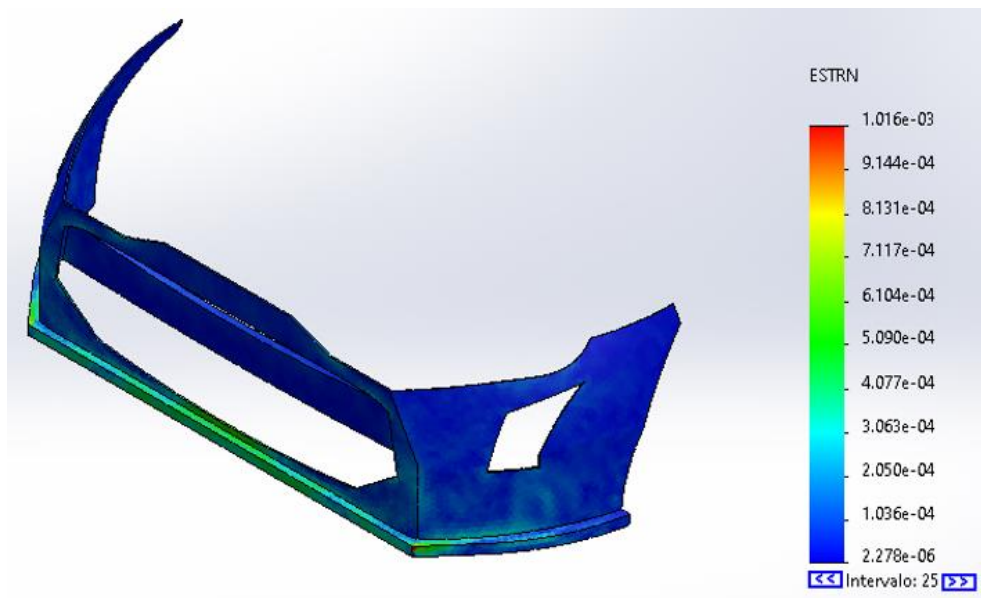


Ilustración 17. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Sisal/Epoxi) a 4 km/h

- ✚ Según la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo, se simuló a una velocidad de 56 km/h.

✓ Jute (fibra) – Resina Epoxi (matriz)

En la tabla 17 se mostrará las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto a simular, mediante pruebas de tracción, en donde se empleó como fibra natural al Jute y como matriz a la resina epoxi.

Tabla 17. Propiedades Mecánicas del MC de Jute/Epoxi

PROPIEDADES	Unidades	VALOR
Límite elástico	MPa	415.8
Módulo elástico	MPa	34 400
Coefficiente de Poisson	-	0.3512
Densidad	kg/m ³	1 332
Módulo cortante	MPa	4 703
Tensión a la rotura	MPa	462

Para el criterio de mallado, se empleó malla sólida basada en curvatura bien refinada como se muestra en la Tabla 18, para ello, se utilizó el método de elementos finitos.

Tabla 18. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Jute/Epoxi a 56 km/h

PARAMETROS	RESULTADOS
Tipo De Malla	Malla sólida
Mallador Utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos Jacobianos Para Malla De Alta Calidad	16 Puntos
Tamaño Máximo De Elemento	13.1388 mm
Tamaño Mínimo Del Elemento	6.3451 mm
Calidad De Malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	275 707
Número total de elementos	322 186
Cociente máximo de aspecto	10.975
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00295
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:22

Fuente. Software SolidWorks

Los resultados de la simulación obtenidos por el software SolidWorks los podemos observar en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Jute/Epoxi a 56 km/h

RESULTADOS	
Tensión (MPa)	708.7
Desplazamiento (mm)	11.35
Deformación Unitaria	0.009924

En estos resultados se observa que el Material Compuesto formado por la fibra natural de Jute y la matriz de Resina Epoxi, presenta una Resistencia de 708.7 MPa, un Desplazamiento de 11.35 mm y una deformación unitaria de 0.009924, ante a un impacto frontal de 56 Km/h.



Ilustración 18. Mallado del parachoques (Jute/Epoxi) a 56 km/h

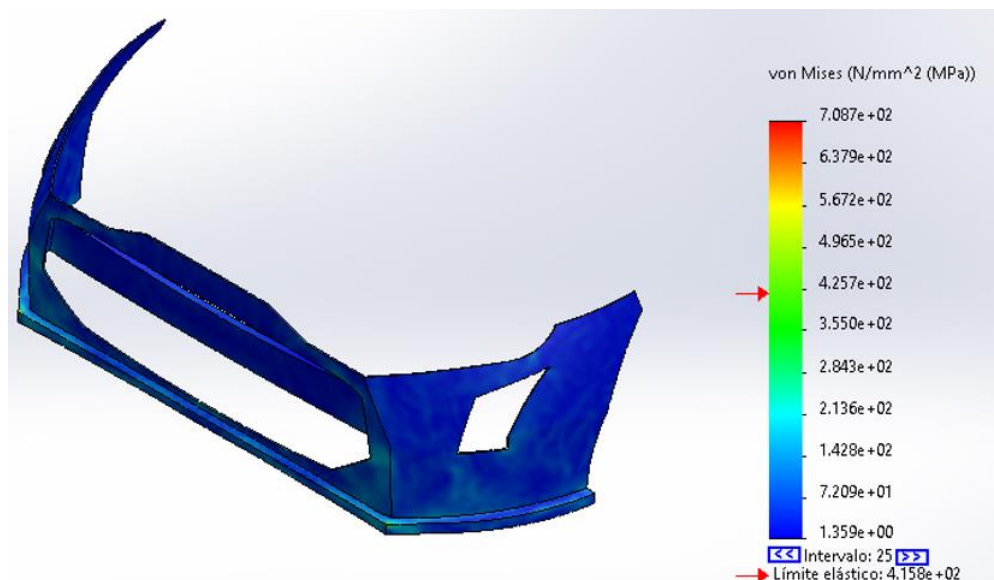


Ilustración 19. Simulación de impacto – Esfuerzos (Jute/Epoxi) a 56 km/h

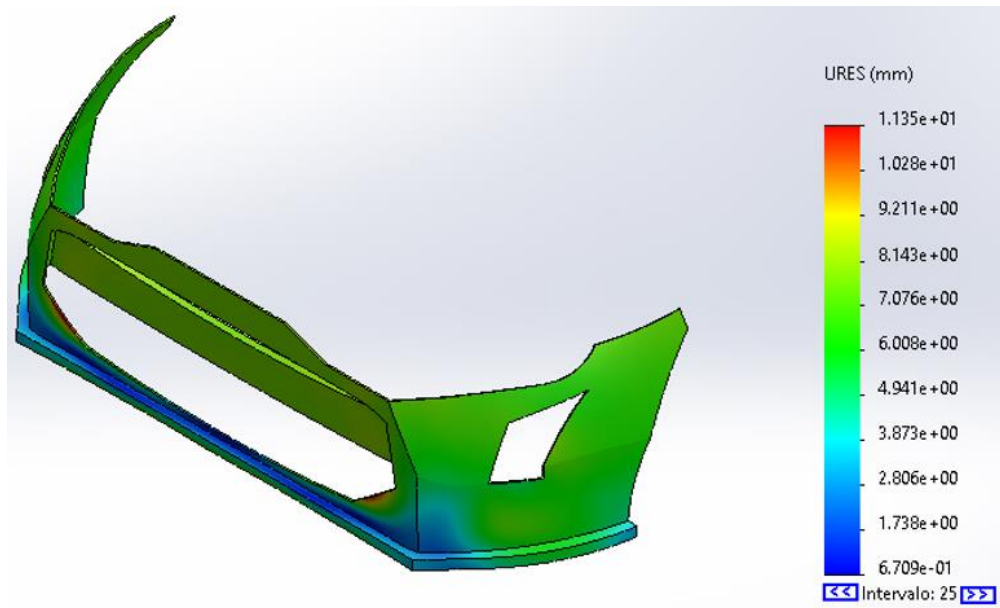


Ilustración 20. Simulación de impacto – Desplazamientos (Jute/Epoxi) a 56 km/h

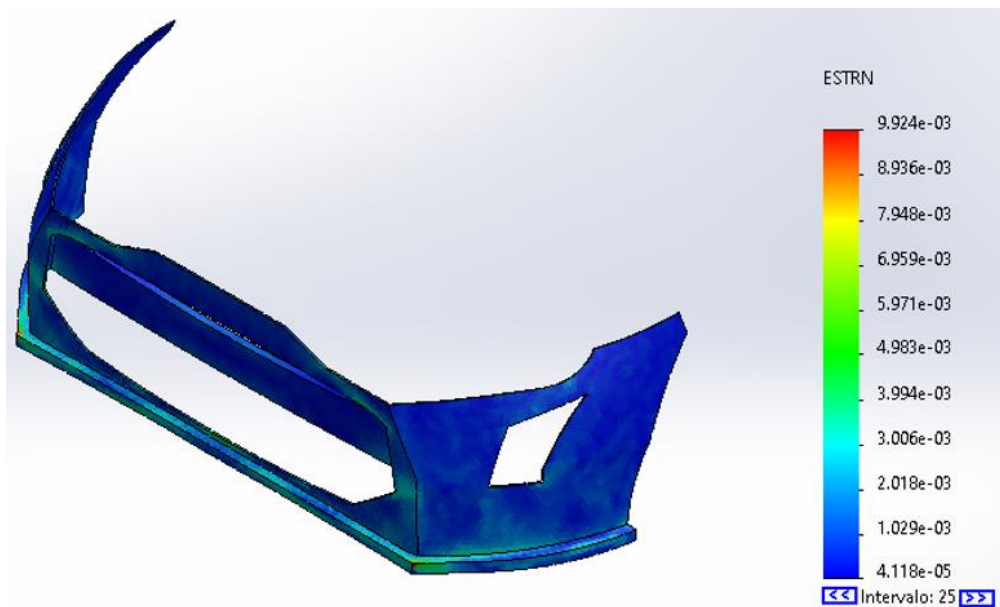


Ilustración 21. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Jute/Epoxi) a 56 km/h

✓ Kenaf (fibra) – Resina Epoxi (matriz)

En la tabla 20 se mostrará las propiedades mecánicas obtenidas del material compuesto a simular, mediante pruebas de tracción, en donde se empleó como fibra natural al Kenaf y como matriz a la resina epoxi.

Tabla 20. Propiedades Mecánicas del MC de Kenaf/Epoxi

PROPIEDADES	Unidades	VALOR
Límite elástico	MPa	421.2
Módulo elástico	MPa	29 600
Coefficiente de Poisson	-	0.3608
Densidad	kg/m ³	1 050
Módulo cortante	MPa	4 579
Tensión a la rotura	MPa	468

Para el criterio de mallado, se empleó malla sólida basada en curvatura bien refinada como se muestra en la Tabla 21, para ello, se utilizó el método de elementos finitos.

Tabla 21. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Kenaf/Epoxi a 56 km/h

PARAMETROS	RESULTADOS
Tipo De Malla	Malla sólida
Mallador Utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos Jacobianos Para Malla De Alta Calidad	16 Puntos
Tamaño Máximo De Elemento	13.1388 mm
Tamaño Mínimo Del Elemento	6.3451 mm
Calidad De Malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	275 707
Número total de elementos	322 186
Cociente máximo de aspecto	10.975
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00295
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:35

Fuente. Software SolidWorks

Los resultados de la simulación obtenidos por el software SolidWorks los podemos observar en la Tabla.

Tabla 22. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Kenaf/Epoxi a 56 km/h

RESULTADOS	
Tensión (MPa)	617.7
Desplazamiento (mm)	10.99
Deformación Unitaria	0.01021

En estos resultados se observa que el Material Compuesto formado por la fibra natural de Kenaf y la matriz de Resina Epoxi, presenta una Resistencia de 617.7 MPa, un Desplazamiento de 10.99 mm y una deformación unitaria de 0.01021, ante a un impacto frontal de 56 Km/h.



Ilustración 22. Mallado del parachoques (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h

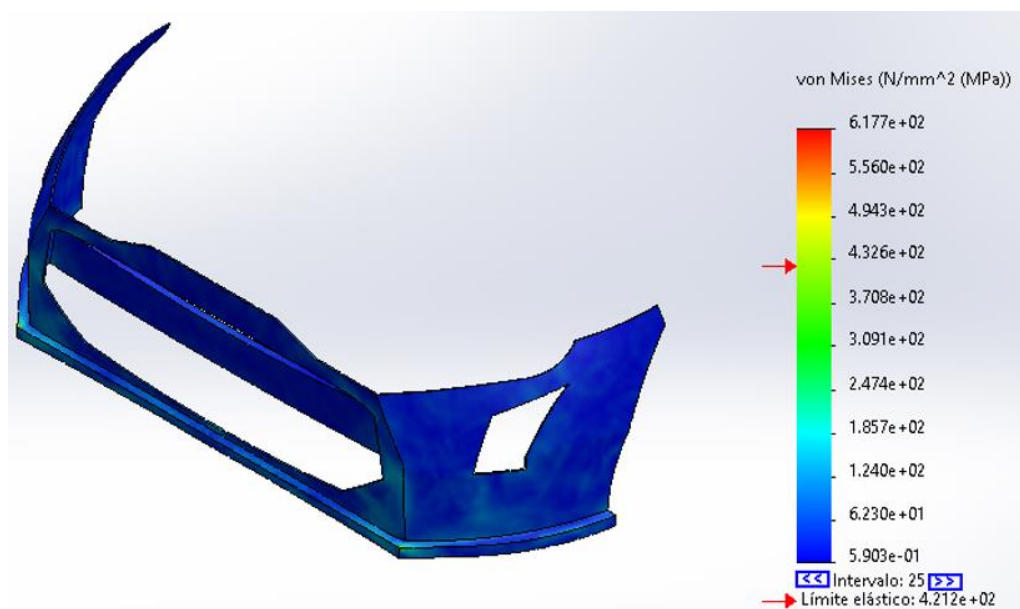


Ilustración 23. Simulación de impacto – Esfuerzos (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h

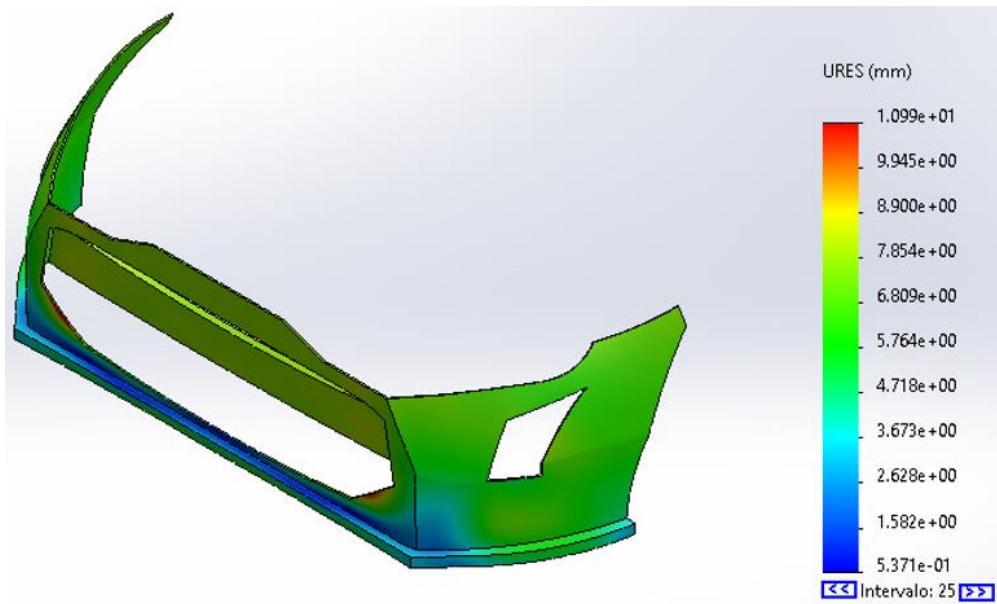


Ilustración 24. Simulación de impacto – Desplazamientos (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h

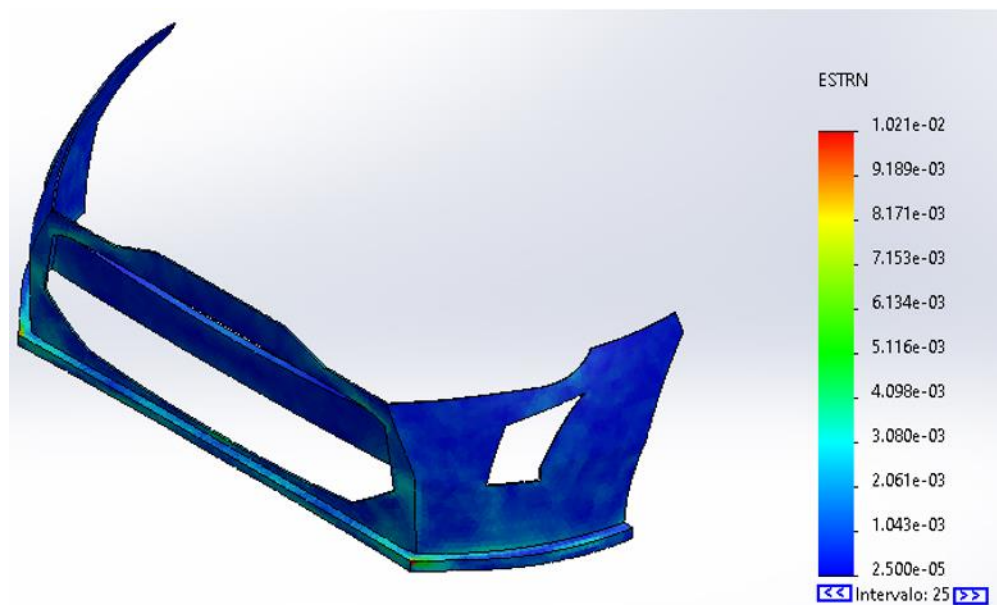


Ilustración 25. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Kenaf/Epoxi) a 56 km/h

✓ Sisal (fibra) – Resina Epoxi (matriz)

En la tabla 23 se mostrará las propiedades mecánicas obtenidas del Material Compuesto a simular, mediante pruebas de tracción, en donde se empleó como fibra natural al Sisal y como matriz a la Resina Epoxi.

Tabla 23. Propiedades Mecánicas del MC de Sisal/Epoxi

PROPIEDADES	Unidades	VALOR
Límite elástico	MPa	426.6
Módulo elástico	MPa	15 800
Coefficiente de Poisson	-	0.3644
Densidad	kg/m ³	1 290
Módulo cortante	MPa	1 228
Tensión a la rotura	MPa	474

Para el criterio de mallado, se empleó malla sólida basada en curvatura bien refinada como se muestra en la Tabla 24, para ello, se utilizó el método de elementos finitos.

Tabla 24. Criterios de Mallado para la simulación del MC de Sisal/Epoxi a 56 km/h

PARAMETROS	RESULTADOS
Tipo De Malla	Malla sólida Malla basada en curvatura de combinado
Mallador Utilizado:	curvatura de combinado
Puntos Jacobianos Para Malla De Alta Calidad	16 Puntos
Tamaño Máximo De Elemento	13.1388 mm
Tamaño Mínimo Del Elemento	6.3451 mm
Calidad De Malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	275 707
Número total de elementos	322 186
Cociente máximo de aspecto	10.975
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99.9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0.00295
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh;mm;ss):	00:00:43

Fuente. Software SolidWorks

Los resultados de la simulación obtenidos por el software SolidWorks los podemos observar en la siguiente Tabla 25.

Tabla 25. Resultados de la simulación de impacto del parachoques con el MC de Sisal/Epoxi a 56 km/h

RESULTADOS	
Tensión (MPa)	396
Desplazamiento (mm)	13.11
Deformación Unitaria	0.01349

En estos resultados se observa que el Material Compuesto formado por la fibra natural de Sisal y la matriz de Resina Epoxi, presenta una Resistencia de 396 MPa, un Desplazamiento de 13.11 mm y una deformación unitaria de 0.01349, ante a un impacto frontal de 56 Km/h.



Ilustración 26. Mallado del parachoques (Sisal/Epoxi) a 56 km/h

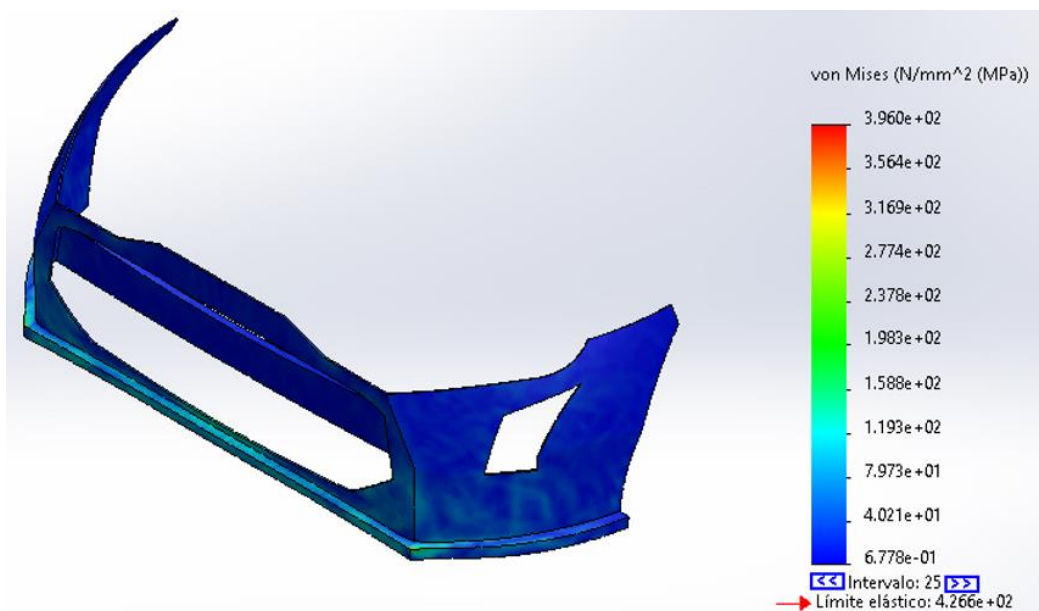


Ilustración 27. Simulación de impacto – Esfuerzos (Sisal/Epoxi) a 56 km/h

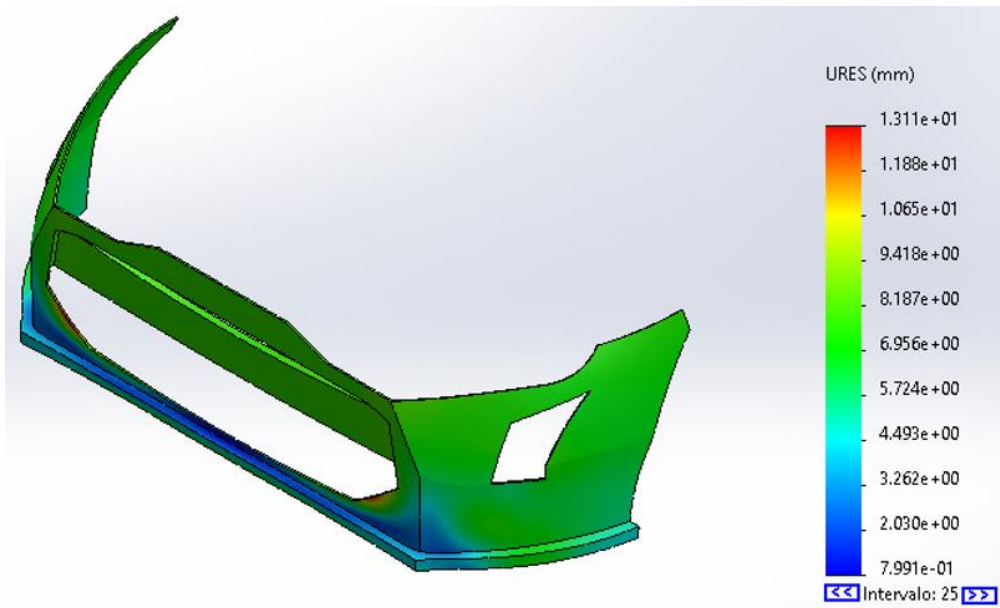


Ilustración 28. Simulación de impacto – Desplazamientos (Sisal/Epoxi) a 56 km/h

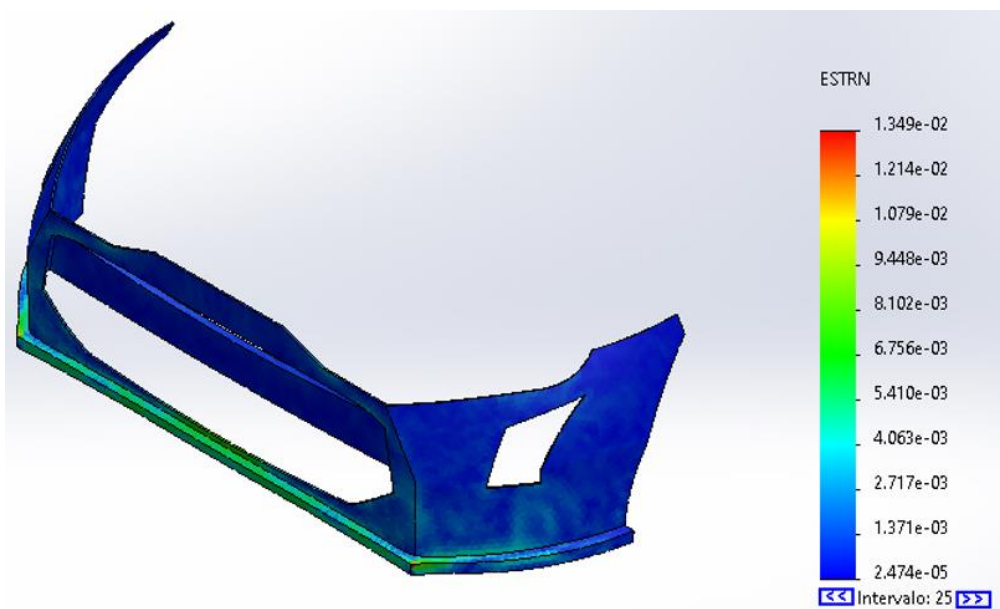


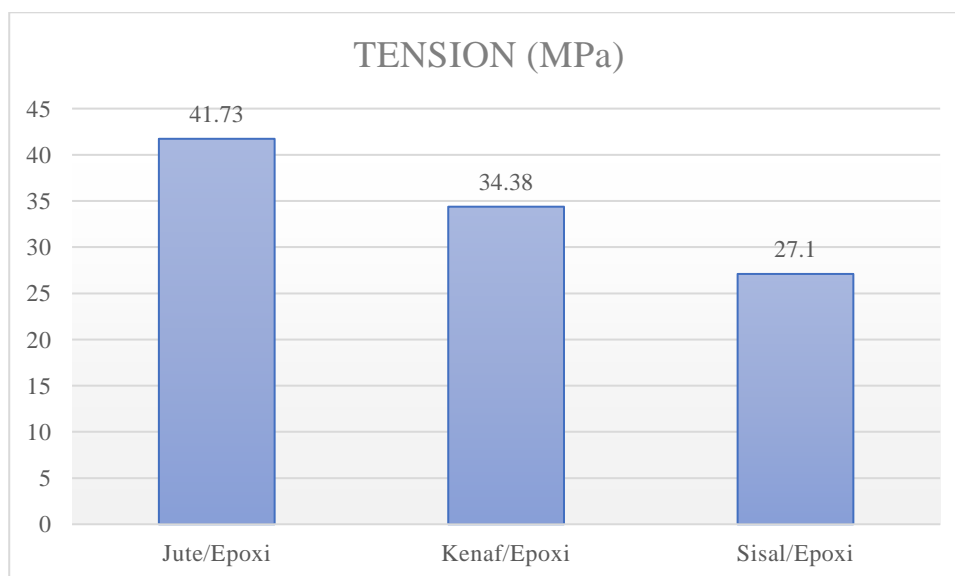
Ilustración 29. Simulación de impacto – Deformación Unitaria (Sisal/Epoxi) a 56 km/h

4.5 Comparación de los MC

En las siguientes gráficas se mostrará los resultados de Tensión, Factor de Seguridad, Desplazamiento y Deformación Unitaria de los materiales compuestos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi. En donde se reflejará cual es el MC con mayor resistencia frente a un impacto.

✚ Según la normativa GB17354-1998

En la gráfica 7 de “TENSION” mostrada se puede observar que el Material Compuesto formado por la fibra de Jute/Epoxi tiene mayor tensión (41.73 MPa) frente a un choque de 4 Km/h, por encima los MC de Kenaf/Epoxi (34.38 MPa) y Sisal/Epoxi (27.1 MPa).



Gráfica 7. Comparación de las Tensiones de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h

Con la gráfica anterior de las tensiones obtenidas mediante la simulación de impacto, se calculó el factor de seguridad para cada MC, en donde se mostrará en la gráfica 8 cual material compuesto es el más seguro ante un choque de 4 km/h

- Cálculo del Factor de Seguridad:

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

- Para el MC de Jute/Epoxi:

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material (Jute/Epoxi)}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

$$F.S = \frac{415.8}{41.73}$$

$$F.S = 9.964$$

- Para el MC de Kenaf/Epoxi

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material (Kenaf/Epoxi)}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

$$F.S = \frac{421.2}{34.38}$$

$$F.S = 12.251$$

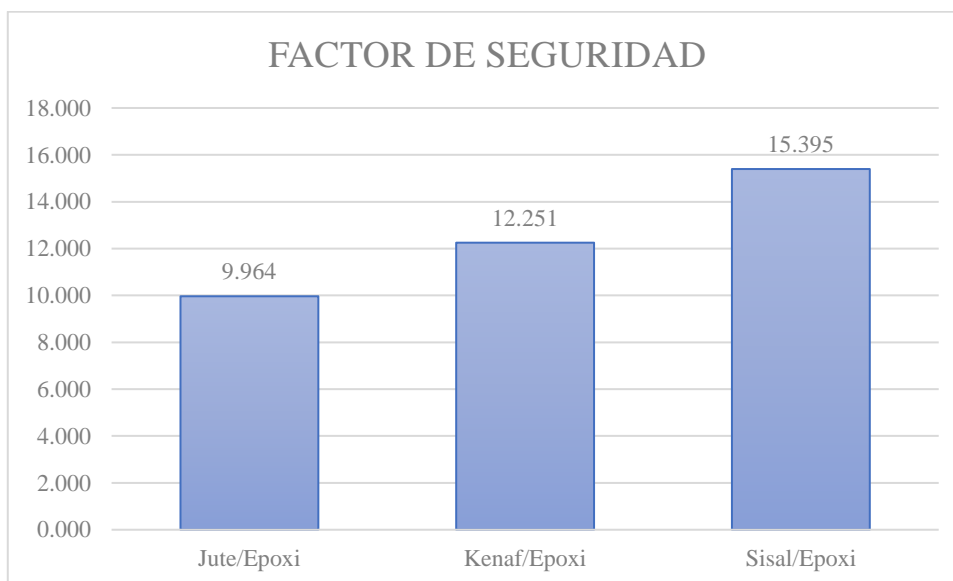
- Para el MC de Sisal/Epoxi

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material (Sisal/Epoxi)}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

$$F.S = \frac{426.6}{27.71}$$

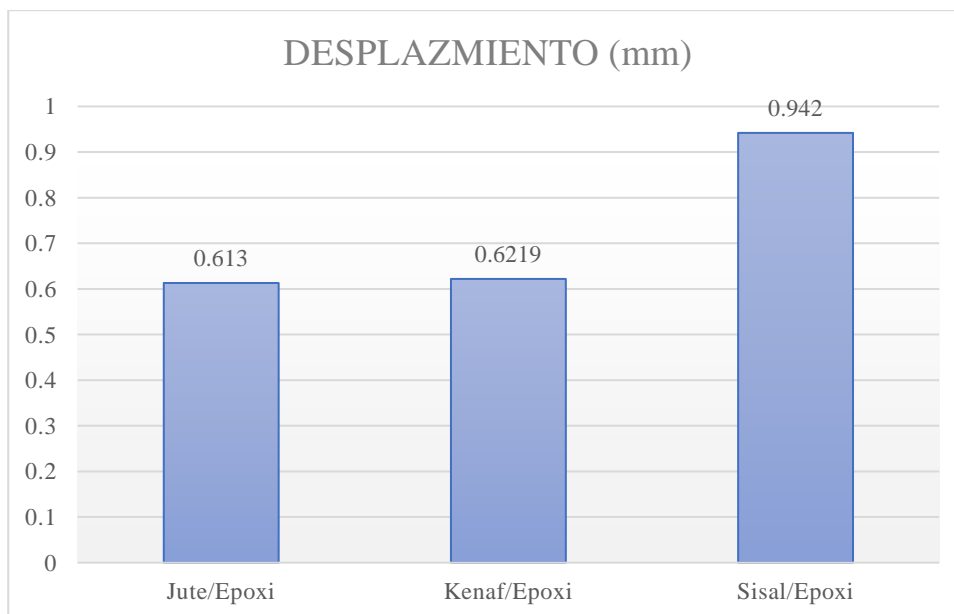
$$F.S = 15.395$$

Con los valores calculados, se realizó la gráfica 8 de “FACTOR DE SEGURIDAD” en donde se muestra que el material compuesto de Sisal/Epoxi tiene un F.S de 15.395, siendo el mayor y el más seguro ante el impacto frontal de 4 km/h, seguido por el MC de Kenaf/Epoxi (F.S de 12.251) y finalmente el Jute/Epoxi (F.S de 9.964).



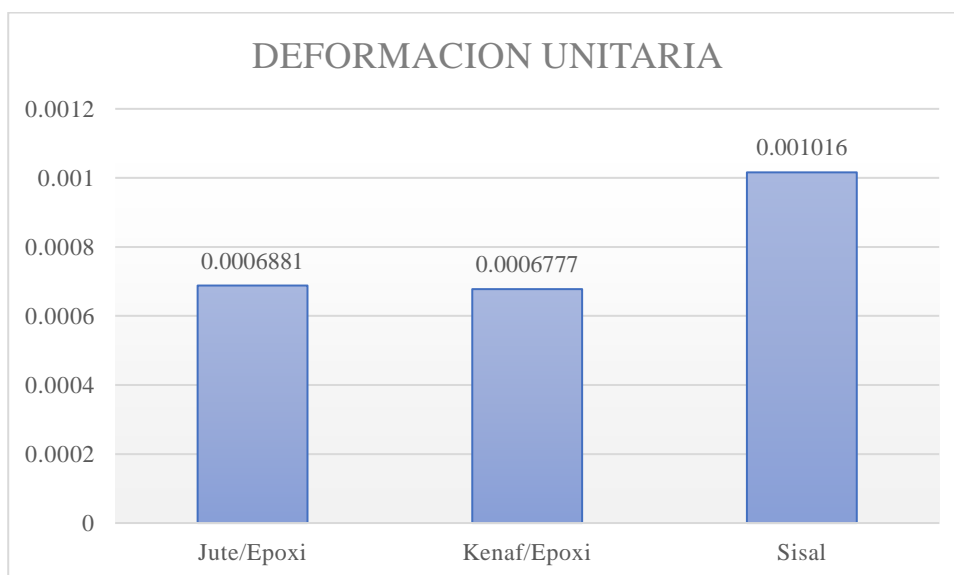
Gráfica 8. Comparación del F.S de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h

Por otro lado, en la gráfica 9 de “DESPLAZAMIENTO” se puede observar que la fibra de Sisal/Epoxi tiene un mayor desplazamiento (0.942 mm) frente a un impacto de 4 Km/h. Además, inverso a ello está la fibra de Jute/Epoxi la cual tiene el menor desplazamiento (0.613 mm) debajo de la fibra de Kenaf/Epoxi (0.6219 mm).



Gráfica 9. Comparación de los Desplazamientos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h

Además, se muestra en la gráfica 10 de “DEFORMACION UNITARIA” que la fibra de Sisal/Epoxi tiene una mayor deformación unitaria (0.001016) frente a un impacto frontal de 4 Km/h, estando por debajo las dos fibras de Jute/Epoxi (0.0006881) y Kenaf/Epoxi (0.0006777) presentadas en esta tesis.



Gráfica 10. Comparación de las deformaciones unitarias de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 4 km/h

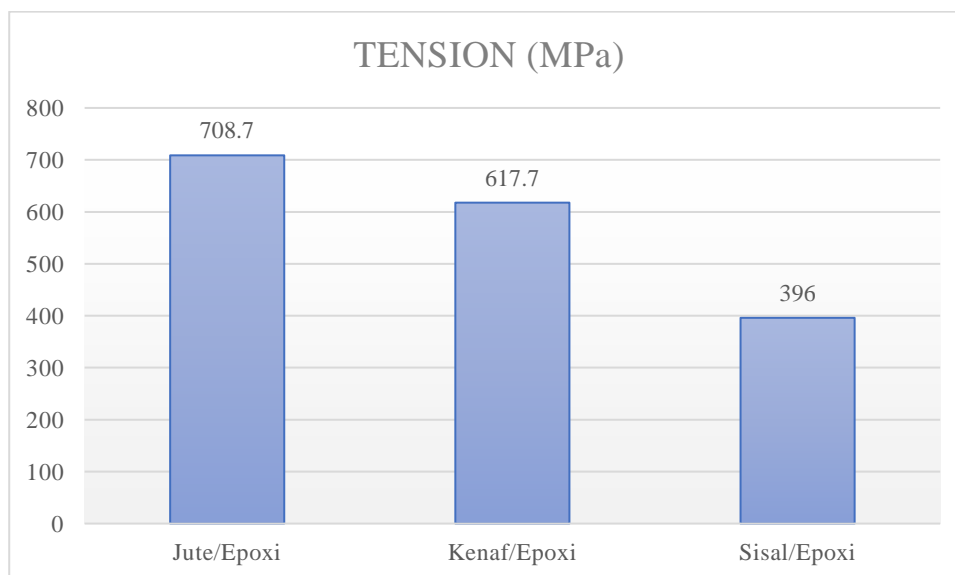
Por último, se muestra en la tabla 26 los resultados en donde se encuentran los parámetros de Tensión, Desplazamiento y Deformación Unitaria de cada Material Compuesto, frente a un impacto frontal de 4 Km/h, propuesta en esta tesis con sus respectivos valores.

Tabla 26. Resultados de la simulación a 4 km/h.

RESULTADOS			
PARAMETROS	JUTE	KENAF	SISAL
Tensión (MPa)	41.73	34.38	27.1
Factor de Seguridad	9.964	12.251	15.395
Desplazamiento (mm)	0.613	0.6219	0.942
Deformación Unitaria	0.0006881	0.0006777	0.001016

✚ Según la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo.

En la gráfica 11 de “TENSION” mostrada se puede observar que el material compuesto formado por la fibra de Jute/Epoxi tiene una mayor tensión (708.7 MPa) frente a un impacto frontal de 56 Km/h, por encima los MC de Kenaf/Epoxi (617.7 MPa) y Sisal/Epoxi (396 MPa).



Gráfica 11. Comparación de las Tensiones de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h

Con la gráfica anterior de las tensiones obtenidas mediante la simulación de impacto, se calculó el Factor de Seguridad para cada MC, en donde se mostrará en la gráfica 12 cual material compuesto es el más seguro ante un choque de 56 km/h.

- Cálculo del Factor de Seguridad:

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

- Para el MC de Jute/Epoxi:

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material (Jute/Epoxi)}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

$$F.S = \frac{415.8}{708.7}$$

$$F.S = 0.587$$

- Para el MC de Kenaf/Epoxi

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material (Kenaf/Epoxi)}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

$$F.S = \frac{421.2}{617.7}$$

$$F.S = 0.682$$

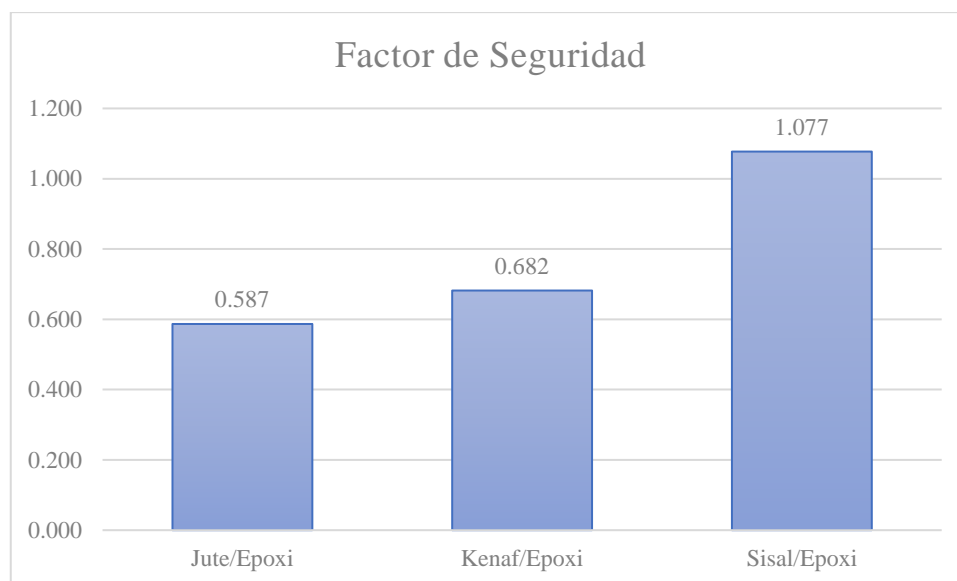
- Para el MC de Sisal/Epoxi

$$F.S = \frac{\text{Limite elástico del material (Sisal/Epoxi)}}{\text{Esfuerzo máximo por Von Misses}}$$

$$F.S = \frac{426.6}{396}$$

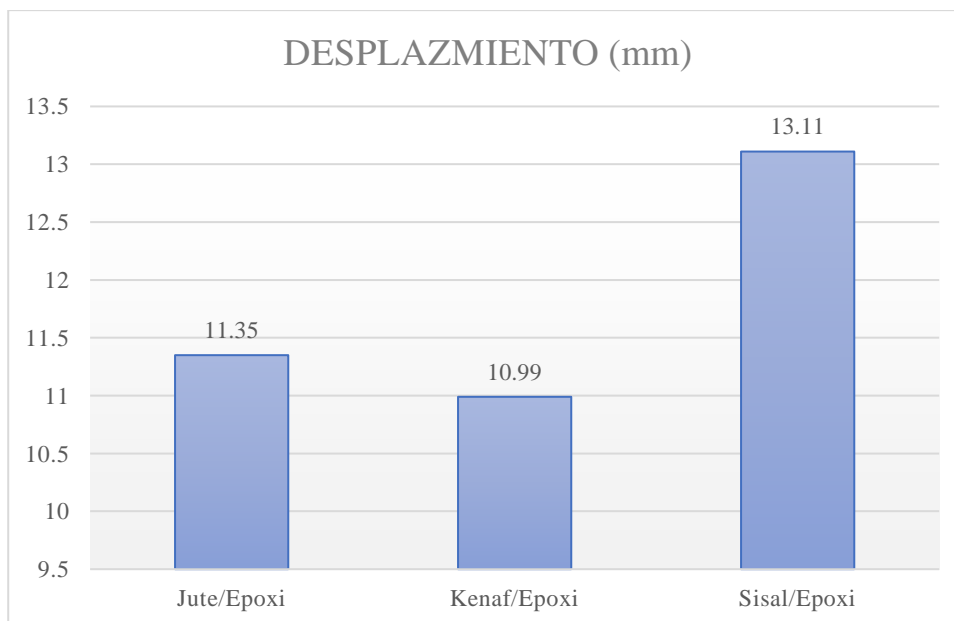
$$F.S = 1.077$$

Con los valores calculados, se realizó la gráfica 12 de “FACTOR DE SEGURIDAD” en donde se muestra que el Material Compuesto de Sisal/Epoxi tiene un F.S de 1.077, siendo el mayor y el más seguro ante el impacto frontal de 56 km/h, seguido por el MC de Kenaf/Epoxi (F.S de 0.682) y finalmente el Jute/Epoxi (F.S de 0.587).



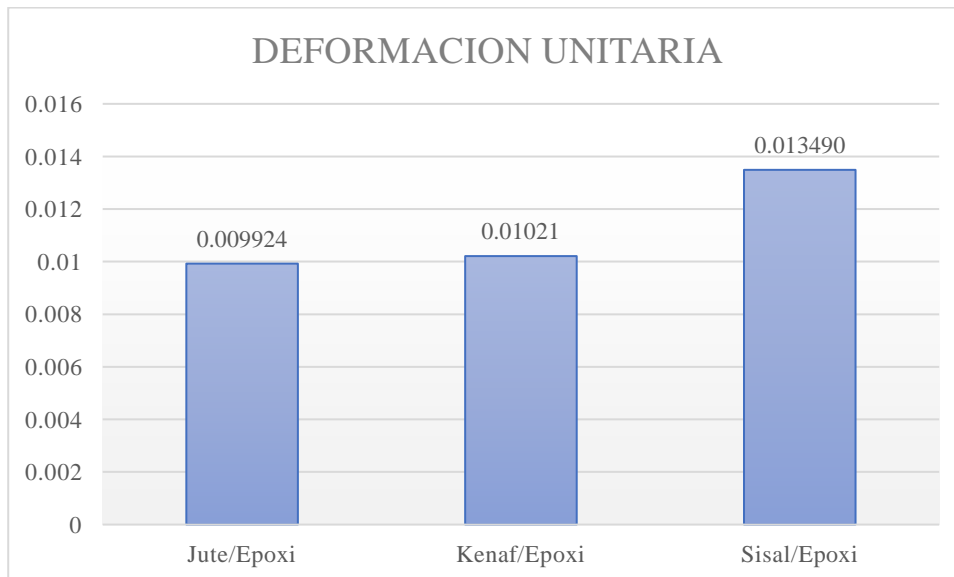
Gráfica 12. Comparación del F.S de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h

Por otro lado, en la gráfica 13 de “DESPLAZAMIENTO” se puede observar que la fibra de Sisal/Epoxi tiene un mayor desplazamiento (13.11 mm) frente a un impacto de 56 Km/h. Además, inverso a ello está la fibra de Jute/Epoxi la cual tiene el menor desplazamiento (11.35 mm) debajo de la fibra de Kenaf/Epoxi (10.99 mm).



Gráfica 13. Comparación de los Desplazamientos de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h

Además, se muestra en la gráfica 14 de “DEFORMACION UNITARIA” que la fibra de Sisal/Epoxi tiene una mayor deformación unitaria (0.013490) frente a un impacto frontal de 56 Km/h, estando por debajo las dos fibras de Jute/Epoxi (0.009924) y Kenaf/Epoxi (0.01021) presentadas en esta tesis.



Gráfica 14. Comparación de las deformaciones unitarias de Jute/Epoxi, Kenaf/Epoxi y Sisal/Epoxi a 56 km/h

Por último, se muestra en la tabla 27 los resultados en donde se encuentran los parámetros de Tensión, Desplazamiento y Deformación Unitaria de cada Material Compuesto, frente a un impacto frontal de 56 Km/h, propuesta en esta tesis con sus respectivos valores.

Tabla 27. Resultados de la simulación a 56 km/h.

RESULTADOS			
PARAMETROS	JUTE	KENAF	SISAL
Tensión (MPa)	708.7	617.7	396
Factor de Seguridad	0.587	0.682	1.077
Desplazamiento (mm)	11.35	10.99	13.11
Deformacion Unitaria	0.009924	0.01021	0.013490

4.6 Análisis de costos de fabricación:

En las siguientes tablas 28, 29 y 30, se muestra los materiales y mano de obra que se empleará para la manufactura del parachoques con cada MC, en la cual se aprecia que el material compuesto de Jute/Epoxi es el más económico para su fabricación, seguido del MC de Kenaf/Epoxi y por último el MC de Sisal/Epoxi.

✚ Costos de fabricación del MC de Jute/Epoxi.

Tabla 28. Manufactura del Parachoques con MC de Jute/Epoxi

DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
Resina Epoxi	4 kg	S/16.00	S/64.00
Fibra natural (Jute)	20 kg	S/1.37	S/27.40
Cera	1 litros	S/18.72	S/18.72
Molde	1 unidad	S/400.00	S/400.00
Mano de Obra	1 unidad	S/120.00	S/120.00
Cera Desmoldante	1 unidad	S/18.72	S/18.72
		TOTAL	S/648.84
		IGV	18%
		VENTA	S/765.63

✚ Costos de fabricación del MC de Kenaf/Epoxi.

Tabla 29. Manufactura del Parachoques con MC de Kenaf/Epoxi

DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
Resina Epoxi	4 kg	S/16.00	S/64.00
Fibra natural (Kenaf)	20 kg	S/2.26	S/45.20
Cera	1 litros	S/18.72	S/18.72
Molde	1 unidad	S/400.00	S/400.00
Mano de Obra	1 unidad	S/120.00	S/120.00
Cera Desmoldante	1 unidad	S/18.72	S/18.72
		TOTAL	S/666.64
		IGV	18%
		VENTA	S/786.64

✚ Costos de fabricación del MC de Sisal/Epoxi.

Tabla 30. Manufactura del Parachoques con MC de Sisal/Epoxi

DETALLE	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	SUB TOTAL
Resina Epoxi	4 kg	S/16.00	S/64.00
Fibra natural (Sisal)	20 kg	S/4.12	S/82.40
Cera	1 litros	S/18.72	S/18.72
Molde	1 unidad	S/400.00	S/400.00
Mano de Obra	1 unidad	S/120.00	S/120.00
Cera Desmoldante	1 unidad	S/18.72	S/18.72
		TOTAL	S/703.84
		IGV	18%
		VENTA	S/830.53

V Conclusiones

- Se logro realizar un tamizaje de las fibras encontradas en el software CESedupack en donde se seleccionó las fibras con mayor resistencia al impacto y con menor precio para mezclarlo teóricamente con la resina epoxi y así obtener el material compuesto para el bumper.

- Se realizó un diseño de parachoques con materiales compuestos los cuales se evaluaron mediante las matrices de necesidades, métricas y evaluación de procesos, en donde se obtuvo un resultado favorable que cubre las expectativas y satisface los requerimientos de los clientes, brindándoles seguridad, para la fabricación y compra del parachoques.

- Se planteo dos escenarios con sus respectivas normativas para el modelamiento del impacto frontal la cual se analizó antes y después del choque, posterior a ello se empleó las ecuaciones de la Energía Cinética, el Teorema de Cantidad de Movimiento y la Energía Interna que se genera a la hora del impacto.

En la aplicación de la normativa GB17354-1998 se obtuvo que el MC de Sisal/Epoxi tiene un 46.62% respecto al Kenaf/Epoxi y 54.07% respecto al Jute/Epoxi, de mayor soporte de la energía de deformación y límite de rotura antes de dispersar la energía interna a los demás componentes del automóvil (Kia Rio 2021 - Sedan) a la hora del impacto frontal de 4 km/h

Para la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo, en ambos casos, se obtuvo que el Material Compuesto de Sisal/Epoxi tiene mayor acumulación de energía interna y límite de rotura del 47% respecto al MC de Kenaf/Epoxi y 54% respecto al Jute/Epoxi, con respecto a los otros dos materiales compuestos, a la hora del impacto de 56 km/h.

- Se realizo el CAD del parachoques Kia Rio 2021 (Sedan) y se simuló mediante el análisis de impacto frontal con ayuda del software SolidWorks. En donde se obtuvo los valores de los esfuerzos (grafica 7 y 11), factor de seguridad (grafica 8 y 12), desplazamientos (grafica 9 y 13) y deformaciones unitarias (gráfica 10 y 14) de los MC.

Además, aplicando la normativa GB17354-1998, se observó por medio de la gráfica 8 de “Factor de Seguridad” que los tres Materiales Compuestos tienen un alto valor de Seguridad ante el impacto frontal de 4 km/h, pero siendo el MC de Sisal/Epoxi el que presenta mayor resistencia y seguridad (F.S de 15.395), seguido

del MC de Kenaf/Epoxi con un F.S de 12.251 y por último el MC de Jute/Epoxi con un F.S de 9.964.

Por otro lado, aplicando la directiva 96/79/CE del Parlamento Europeo, se observó por medios de la gráfica 12 de “Factor de Seguridad” que los tres Materiales Compuestos sufren un grave daño ante el impacto frontal de 56 km/h, pero siendo el MC de Sisal/Epoxi el que presenta una resistencia y seguridad mayor a 1 (F.S de 1.077), luego los dos MC tienen un Factor de Seguridad menor a 1, en donde el MC de Kenaf/Epoxi tiene un F.S de 0.682 y por último el MC de Jute/Epoxi tiene un F.S de 0.587.

Por ello el material más resistente y seguro es el Material Compuesto de Sisal/Epoxi, ya que para ambos análisis presenta un factor de seguridad mayor a 1.

- Se realizó un análisis de costo de fabricación y venta del parachoques con los tres distintos Materiales Compuestos propuestos por la presente tesis. En donde en la tabla 28, 29 y 30 se muestra los precios para la manufactura. Además, se aprecia que la fabricación del parachoques con el MC de Jute/Epoxi es el más económico de realizar costando S/648.84 y teniendo una venta de S/765.63 (18% IGV), seguido de ello se tiene al parachoques de Kenaf/Epoxi costando S/666.64 y teniendo una venta de S/786.64 (18% IGV) y por último está el parachoques de Sisal/Epoxi siendo el más costoso, pero más resistente, teniendo un valor de producción de S/703.84 y una venta de S/830.53 (18% IGV).

VI Recomendaciones

- Se recomienda que al realizar el ensayo de impacto a una velocidad de 56km, se debe tomar valores reales para no sobredimensionar el parachoques (coeficiente de restitución).
- Además, se recomienda que experimentalmente se debe encontrar los valores del coeficiente de restitución, propiedades transversales y longitudinales, ya que estos valores varían de acuerdo al tipo de ensayo que se le aplique.
- Para mayor exactitud de los valores de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos (fibras y matriz) se debe realizar distintos ensayos de impacto, ya que los valores tomados son de la biblioteca CESedupack. Además, se debe volver a realizar el cálculo del Modelo Micromecánica de Chamis, ya que los valores de las propiedades mecánicas cambiarán.
- Se recomienda que al obtener los valores experimentales de impacto se debe volver a realizar el cálculo del modelamiento, ya que puede variar el valor del Coeficiente de Restitución, Tiempo de Impacto, Modulo Elástico y la Energía de Deformación.
- Por último, se recomienda dimensionar el parachoques aumentándole su espesor y así verificar que su factor de seguridad aumente y así garantizar que será aún más resistente

VII Referencias

- [1 D. J. Martín, «Paragolpes: una pieza en evolución,» *CESVIMAP* 72.
]
- [2 Haque, Enamul; Bassett, Walt y Lewis, Thomas F, «Procedimiento para diseñar y fabricar un parachoques de automóvil con sección en Ia formado a partir de material compuesto termoplástico de estera de vidrio con cargas de minerales.».
- [3 D. A. De la Cruz, «Proceso de diseño de componentes plásticos del sistema de parachoque frontal de un automóvil».
- [4 O. M. d. I. Salud, «Traumatismos causados por el tránsito,» [En línea]. Available:
] <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.
- [5 Motorpasion, «Las 7 lesiones más habituales causadas por un accidente de tráfico (y cómo podemos tratar de evitarlas),» [En línea]. Available:
] <https://www.motorpasion.com/espaciotoyota/las-siete-lesiones-mas-habituales-causadas-por-un-accidente-de-trafico>.
- [6 ELMOTOR, «¿Qué accidentes de coche son los más peligrosos?,» [En línea]. Available:
] <https://motor.elpais.com/actualidad/accidentes-de-coche-mas-peligrosos/>.
- [7 C. y. M. SUTRAN (Superintendencia de Transporte Terrestre de Personas, «REPORTE ESTADÍSTICO N° 009 – 2021: Accidentes de tránsito ocurridos en carreteras (a julio del 2021),» [En línea]. Available:
] <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2202890/Reporte%20Estad%C3%ADstico%20N%C2%B009-2021%20-%20Accidentes%20de%20tr%C3%A1nsito%20ocurridos%20en%20carreteras.pdf.pdf>.
- [8 M. d. Salud, «Sistema de Vigilancia en Salud Pública de lesiones por accidentes de tránsito,» [En línea]. Available:
] <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/sala/2021/SE33/transito.pdf>.
- [9 P. N. d. Peru, «Accidentes de Tránsito,» [En línea]. Available:
] [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/2B1C02D821790F7405257921007253EB/\\$FILE/3_Accidentes_de_Tr%C3%A1nsito.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/2B1C02D821790F7405257921007253EB/$FILE/3_Accidentes_de_Tr%C3%A1nsito.pdf).
- [1 S. Salifu, D. Desai, O. Ogunbiyi, R. Sadiku, O. Adesina y O. Adesina, «Comparative study of high velocity impact response of aluminium 3105-H18 and carbon fibre-epoxy composite double hat bumper beams,» *ScienceDirect*, 2020.
- [1 S.S. Godara y Shiv Narayan Nagar, «Analysis of frontal bumper beam of automobile vehicle by using carbon fiber composite material,» *ScienceDirect*, 2020.
- [1 G. Sun, X. Wang, J. Fang, T. Pang y Q. Li, «Parallelized optimization design of bumper systems under multiple low-speed impact loads,» *ScienceDirect*, 2021.

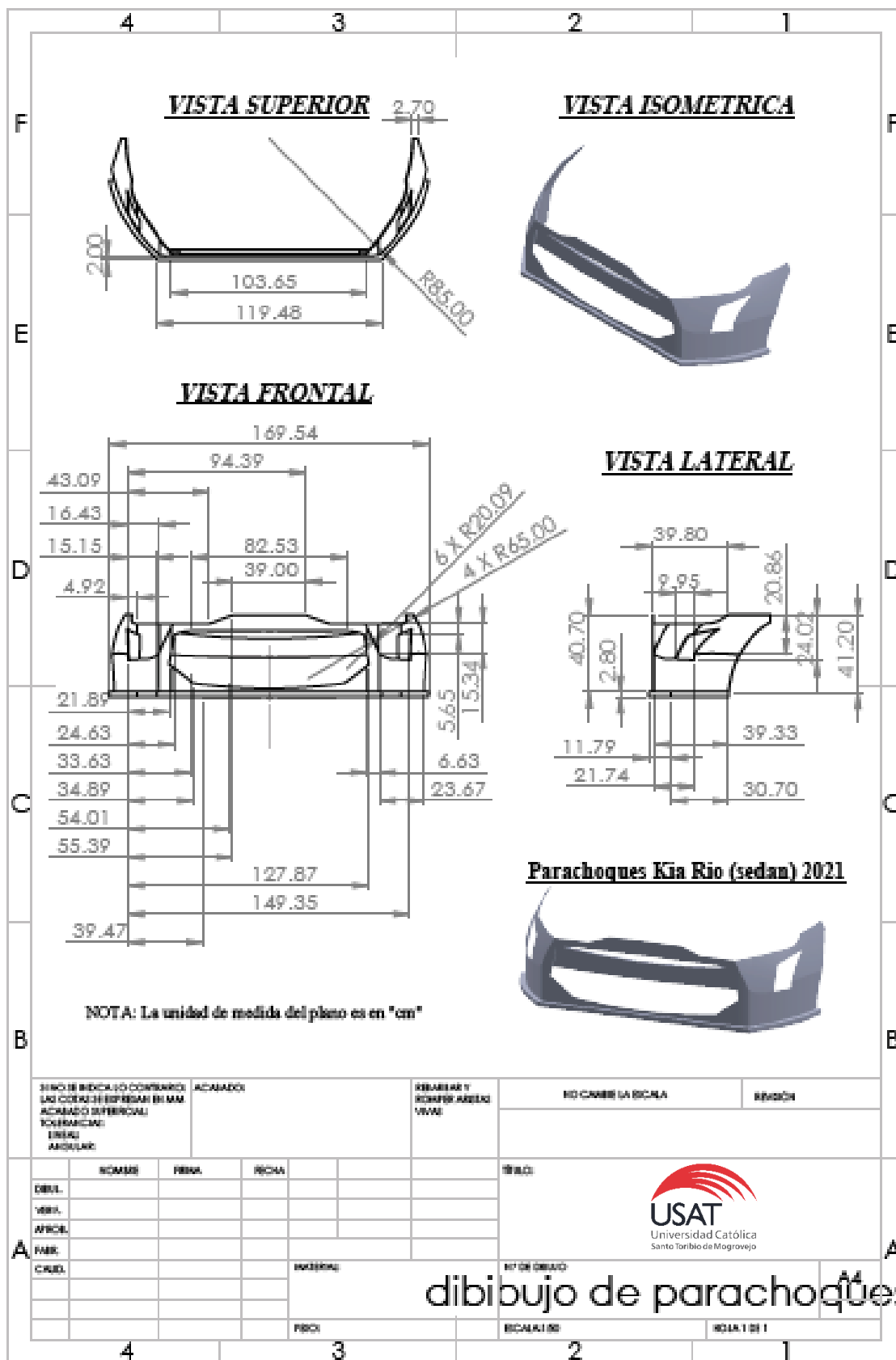
- [1 N. K. Khedkar, C.R. Sonawane y S. Kumar, «Experimental and static numerical analysis
3] on bumper beam to be proposed for Indian passenger car,» *ScienceDirect*, 2020.
- [1 S. Yang , Y. Sun y C. Qi, «Performance Assessment and Optimal Design of Hybrid
4] Material Bumper for Pedestrian Lower Extremity Protection,» *International Journal of Mechanical Sciences*, 2019.
- [1 Y. Kim , C. Choi , Sarath , Kumar , S. Kumar y C. Kim, «Behavior of dragon skin flexible
5] metal bumper under hypervelocity impact,» *International Journal of Impact Engineering*, 2018.
- [1 M. S. Valarezo Acosta, «Diseño Aerodinámico de Parachoques Delantero a Través de
6] Simulación Virtual para Cabezal Kenworth T800,» Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil- Ecuador, 2021.
- [1 J. P. Cevallos Espinosa y J. G. Tenesaca Bravo, «OBTENCIÓN Y
7] CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIPROPILENO REFORZADAS CON FIBRAS DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN,» ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito - Ecuador, 2012.
- [1 O. d. I. N. U. p. I. A. y. I. Agricultura, «Fibras del Futuro,» [En línea]. Available:
8] <https://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>.
- [1 EcoHabitar, «Kenaf: un material excelente para bioconstrucción,» [En línea]. Available:
9] <https://ecohabitar.org/kenaf-un-material-excelente-para-bioconstruccion/>.
- [2 EcoInventos, «Kenaf, la planta multiusos,» [En línea]. Available:
0] <https://ecoinventos.com/kenaf-la-planta-multiusos/>.
- [2 G. Borau, «Kenaf, la planta de los múltiples usos y alternativa en la rotación de cultivos,»
1] [En línea]. Available: <https://borauhermanos.com/kenaf-la-planta-de-los-multiples-usos-y-alternativa-en-la-rotacion-de-cultivos/>.
- [2 E. E. García Padilla, «Desarrollo de recubrimientos fotocurables con propiedades
2] antimicrobianas. utilizando nanopartículas de plata,etc , a partir de materiales híbridos poliméricos producidos mediante la combinación de la fotopolimerización tiol-ene con el Sistema Epoxi-Amina,» CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA, 2014.
- [2 E. E. García Padilla, «Desarrollo de Recubrimientos Fotocurables con Propiedades
3] Antimicrobianas, utilizando nanopartículas de plata, etc, a partir de materiales híbridos poliméricos producidos mediante la combinación de la fotopolimerización tiol-ene con el sistema epoxi-amina,» CENTRO DE INVESTIGACION EN QUIMICA APLICADA, 2014.
- [2 D. Illescas Pérez, «SIMULACIÓN DE UN CHOQUE FRONTAL DE UN VEHÍCULO
4] AUTOMÓVIL CONTRA DIFERENTES TIPOS DE BARRERA,» UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR, 2009.

- [2 A. Escamilla Navarro, «DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRAÚLICA PARA EXTRAER
5] O INTRODUCIR PERNOS Y BUJES DE PARTES AUTOMOTRICES MEDIANTE EL
ANÁLISIS MATEMÁTICO Y EL MÉTODO DEL ELEMENTO FINITO,» Mexico D.F,
2005.
- [2 J. Inzunza, «CAPITULO 2. MOVIMIENTO EN UNA DIMENSION.,» de *FISICA:*
6] *INTRODUCCION A LA MECANICA* , 2002.
- [2 L. Lisbôa Vignoli, «MODELOS MICROMECAÑICOS APLICADOS À ANÁLISE
7] MULTIESCALA DE COMPÓSITOS LAMINADOS,» COPPE, Rio de Janerio, 2020.
- [2 Yefa Hu, Can Liu, Jinguang Zhang, Guoping Ding y Qiong Wu, «Research on carbon
8] fiber–reinforced plastic bumper beam subjected to low velocity frontal impact,» *Advances
in Mechanical Engineering*, vol. 7, pp. 1-15, 2015.
- [2 D. A. d. I. Cruz, «Proceso de diseño de componentes plásticos del sistema de parachoque
9] frontal de un automóvil».
- [3 F. Delgado, E. Gallo y J. Díaz, «Estado Actual de la Filosofía de Manufactura Esbelta
0] como Estrategia de Mejoramiento Continuo en el Desarrollo Empresarial de
Bucaramanga,» *ITECKNE*, vol. 7, nº 1, pp. 54-61, 2010.
- [3 M. Begoña, A. Santidrián y H. Valladares, «El sistema ABC en el sector logístico
1] mexicano. Un análisis empírico,» *Revista iberoamericana de contabilidad de gestión*, nº
10, pp. 13-56, 2007.
- [3 L. Cuatrecasas y J. Fortuny, «El diagrama O-T. Una herramienta visual para la
2] optimización de procesos en entornos Lean,» *International Conference on Industrial
Engineering & Industrial Management - CIO*, pp. 1237-1246, 2007.
- [3 O. Parada , «Un enfoque multicriterio para la toma de decisiones en la gestión de
3] inventarios,» *Cuadernos de Administración*, vol. 22, nº 38, pp. 169-187, 2009.
- [3 Moreano Darwin y Zambrano David, [En línea]. Available:
4] <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/11769/T-ESPEL-MAI-0555.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [3 N. Composites. [En línea]. Available: [https://www.navalcomposites.com/materiales-5\] compuestos](https://www.navalcomposites.com/materiales-5] compuestos).
- [3 F. Zwicky, *Morphological Astronomy*, The Observatory, 1948.
6]
- [3 D. J. George, «Tigerprints.clemson.edu,» [En línea]. Available:
7] https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?referer=&httpsredir=1&article=2558&context=all_theses.
- [3 W. B. J. F. y. K. H. G. G. Pahl, *Engineering Design – A Systematic Approach*, 2007.
8]

- [3 G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen y K. H. Grote, Engineering Design – A Systematic
9] Approach, 2007.
- [4 T. Takala, Design Transactions and Retrospective Planning Tools for Conceptual Design,
0] In Intelligent CAD Systems II: Implementation Issues, 1989.
- [4 L. Wang, W. Shen, H. Xie, J. Neelamkavil and A. Pardasani, Collaborative Conceptual
1] Design - State of the Art and Future Trends, Computer-Aided Design, 2002.
- [4 D. S. S.A., «SolidWoks,» [En línea]. Available: <https://www.solidworks.com/es>.
2]
- [4 G. R. Liu y Quek,S. S., «Fundamentals for Finite Element Method,» 2014.
3]
- [4 S. S. Rao, «Overview of Finite Element Method,» *ScienceDirect*, 2018.
4]
- [4 J. Cevallos y T. José, Artists, *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES*
5] *COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIPROPILENO REFORZADAS CON*
FIBRAS DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN. [Art].
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2012.
- [4 F. Stupenengo, «Materiales y materia primas,» Buenos Aires, 2011.
6]
- [4 Moncayo Theurer, M.; Rodriguez, J; Alcívar; López; Soriano; Villacis, «Las fibras de
7] carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras,» 2016.
- [4 A. B. Andres, «ANÁLISIS POR FATIGA EN EL EJE DE UN ENGRANE
8] HELICOIDAL PARA EVALUAR EL DESEMPEÑO UTILIZANDO MATERIALES
COMPUESTOS,» 2020.
- [4 «Hierro Fundido: Acero Forjado: Hierro Dúctil».
9]
- [5 Cesar Edil da Costa, Francisco Velasco López y Jose Manuel Torralba Castelló,
0] «Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones».
- [5 CARMAN, «SOLIDWORKS ANALISIS ESTÁTICO,» 2014. [En línea]. Available:
1] <https://grupocarman.com/blog/2014/02/13/solidworks-analisis-estatico/>.

VIII Anexos

Anexos 1. Plano del Parachoques Kia Rio (Sedan) 2021



Anexos 2. Propiedades Mecánicas de la fibra de Jute



General information

Overview

Jute is a long, soft, shiny vegetable fiber made from plants in the genus *Corchorus*, family Malvaceae. Like kenaf, industrial hemp, flax (linen) and ramie, jute is a bast fiber plant, one in which the fibers extracted from the stem or bast. Jute is one of the cheapest natural fibers and is second only to cotton in amount produced and variety of uses. It can be spun into coarse, strong threads. When woven it is called hessian or burlap. There is growing interest in using jute as reinforcement in composites, replacing glass.

Designation

Jute, fiber

Typical uses

Jute is used chiefly to make cloth for wrapping bales of raw cotton, and to make sacks and coarse cloth. The fibers are also woven into curtains, chair coverings, carpets, area rugs, hessian cloth, and backing for linoleum.

Composition overview

Compositional summary

Jute fibers are composed primarily of cellulose and lignin

Form	Fiber		
Material family	Natural		
Base material	Cellulose		
Renewable content	100		%

Composition detail (polymers and natural materials)

Natural material	100		%
------------------	-----	--	---

Price

Price	* 0.447	- 1.37	PEN/kg
Price per unit volume	* 643	- 2.09e3	PEN/m ³

Physical properties

Density	1.44e3	- 1.52e3	kg/m ³
---------	--------	----------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	17	- 55	GPa
Specific stiffness	11.5	- 37.2	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	145	- 530	MPa
Tensile strength	400	- 770	MPa
Specific strength	98	- 358	kN.m/kg
Elongation	1.7	- 2	% strain
Flexural modulus	* 13	- 60	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 400	- 770	MPa
Shear modulus	* 6.3	- 20	GPa
Bulk modulus	* 22	- 42.4	GPa
Poisson's ratio	* 0.349	- 0.352	
Shape factor	1		
Elastic stored energy (springs)	420	- 3.76e3	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 160	- 308	MPa

Values marked * are estimates.
ANSYS Granta provides no warranty for this data.

Impact & fracture properties

Fracture toughness	* 0.701	-	16.1	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	0.0427	-	3.17	kJ/m ²

Thermal properties

Glass temperature	* 380	-	390	°C
Maximum service temperature	* 400	-	420	°C
Thermal conductivity	* 0.25	-	0.35	W/m.°C
Specific heat capacity	1.2e3	-	1.22e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 15	-	30	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 187	-	975	°C
Thermal distortion resistance	* 0.0098	-	0.0203	MW/m

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque			
Acoustic velocity	3.25e3	-	6.36e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.00226	-	0.00325	

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	No
-----------------------------------	----

Absorption & permeability

Water absorption @ 24 hrs	* 2.2	-	2.6	%
Water absorption @ sat	11	-	13	%
Humidity absorption @ sat	13	-	14	%

Durability

Water (fresh)	Acceptable			
Water (salt)	Limited use			
Weak acids	Limited use			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Limited use			
Strong alkalis	Unacceptable			
Organic solvents	Acceptable			
Oxidation at 500C	Unacceptable			
UV radiation (sunlight)	Good			
Flammability	Highly flammable			
Oxygen index	* 17	-	19	%

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	4	-	8	MJ/kg
Sources	61.9 MJ/kg (Ecoinvent v2.2); 72 MJ/kg (Ecoinvent v2.2)			
CO2 footprint, primary production	2.89	-	2.96	kg/kg
Sources	2.58 kg/kg (Ecoinvent v2.2); 3.06 kg/kg (Ecoinvent v2.2)			
Water usage	2.55e3	-	2.8e3	l/kg

Values marked * are estimates.
ANSYS Granta provides no warranty for this data.

Processing energy, CO2 footprint & water

Fabric production energy	* 2.48	-	2.73	MJ/kg
Fabric production CO2	* 0.198	-	0.218	kg/kg
Fabric production water	* 1.03	-	1.55	l/kg

Recycling and end of life

Recycle	✘			
Recycle fraction in current supply	8.55	-	9.45	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 16.9	-	17.7	MJ/kg
Combustion CO2	* 1.39	-	1.46	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✓			

Links

ProcessUniverse

Reference

Shape

Fuente. Software CESedupack

Anexos 3. Propiedades Mecánicas de la fibra de Kenaf



Kenaf fiber

Page 1 of 3

General information

Overview

Kenaf (*Hibiscus cannabinus*) is a fast growing fiber crop related to cotton, okra, and hibiscus. The plants, which reach heights of 8 to 20 feet, are harvested for their stalks from which the fiber is extracted. The fiber is used in the manufacture of industrial textiles, ropes, and twines. Kenaf is among the most widely utilized of the bast (stem) fibers.

Designation

Kenaf, fiber

Typical uses

The main uses of kenaf fiber have been rope, twine, coarse cloth (similar to that made from jute), and paper. Emerging uses of kenaf fiber include engineered wood, insulation, and clothing-grade cloth and as a reinforcement in polymer-matrix composites.

Composition overview

Compositional summary

Cellulose (C6-H10-O5) _n	
Form	Fiber
Material family	Natural
Base material	Cellulose
Renewable content	100 %

Composition detail (polymers and natural materials)

Natural material	100 %
------------------	-------

Price

Price	* 1.37	- 2.26	PEN/kg
Price per unit volume	* 1.35e3	- 2.38e3	PEN/m ³

Physical properties

Density	980	- 1.05e3	kg/m ³
---------	-----	----------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	35	- 47	GPa
Specific stiffness	34.4	- 46.5	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 195	- 666	MPa
Tensile strength	390	- 780	MPa
Specific strength	* 192	- 657	kN.m/kg
Elongation	2	- 4.1	% strain
Flexural modulus	* 14	- 53	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 390	- 780	MPa
Shear modulus	* 12.9	- 17.4	GPa
Bulk modulus	* 28	- 33	GPa
Poisson's ratio	* 0.344	- 0.368	
Shape factor	1		
Elastic stored energy (springs)	* 594	- 4.33e3	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 156	- 312	MPa

Values marked * are estimates.
ANSYS Granta provides no warranty for this data.

Impact & fracture properties

Fracture toughness	1.16	-	14.8	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	0.0684	-	2.59	kJ/m ²

Thermal properties

Glass temperature	* 380	-	390	°C
Maximum service temperature	* 400	-	420	°C
Thermal conductivity	* 0.25	-	0.35	W/m.°C
Specific heat capacity	1.2e3	-	1.22e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 15	-	30	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 214	-	820	°C
Thermal distortion resistance	* 0.0098	-	0.0203	MW/m

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque	
Acoustic velocity	5.85e3 - 6.84e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.00212 - 0.00226	

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	No
-----------------------------------	----

Absorption & permeability

Humidity absorption @ sat	8	-	10	%
---------------------------	---	---	----	---

Durability

Water (fresh)	Acceptable	
Water (salt)	Acceptable	
Weak acids	Limited use	
Strong acids	Unacceptable	
Weak alkalis	Limited use	
Strong alkalis	Unacceptable	
Organic solvents	Acceptable	
Oxidation at 500C	Unacceptable	
UV radiation (sunlight)	Good	
Flammability	Highly flammable	
Oxygen index	* 17 - 19	%

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	4	-	8	MJ/kg
Sources	62.3 MJ/kg (Ecoinvent v2.2); 72.3 MJ/kg (Ecoinvent v2.2)			
CO2 footprint, primary production	2.67	-	2.94	kg/kg
Sources	2.56 kg/kg (Ecoinvent v2.2); 3.04 kg/kg (Ecoinvent v2.2)			
Water usage	500	-	1.5e3	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Values marked * are estimates.
ANSYS Granta provides no warranty for this data.

Fabric production energy	* 2.48	-	2.73	MJ/kg
Fabric production CO2	* 0.198	-	0.218	kg/kg
Fabric production water	* 1.03	-	1.55	l/kg

Recycling and end of life

Recycle	✘			
Recycle fraction in current supply	8.55	-	9.45	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 17	-	17.9	MJ/kg
Combustion CO2	* 1.39	-	1.46	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✓			

Links

ProcessUniverse

Reference

Shape

Fuente. Software CESedupack

Anexos 4. Propiedades Mecánicas de la fibra de Sisal



Sisal fiber

Page 1 of 3

General information

Overview

Sisal fiber is derived from an agave, *Agave sisalana*. Sisal is valued for cordage use because of its strength, durability, ability to stretch, affinity for certain dyestuffs, and resistance to deterioration in saltwater.

Designation

Sisal, fiber

Typical uses

Sisal is used by industry in three grades, according to www.sisal.ws. The lower grade fiber is processed by the paper industry because of its high content of cellulose and hemicelluloses. The medium grade fiber is used in the cordage industry for making: ropes, baler and binders twine. Ropes and twines are widely employed for marine, agricultural, and general industrial use. The higher-grade fiber after treatment is converted into yarns and used by the carpet industry. Sisal is now used as a reinforcement in polymer-matrix composites.

Composition overview

Compositional summary

Cellulose 70 wt% and lignin 12 wt %.

Form	Fiber		
Material family	Natural		
Base material	Cellulose		
Renewable content	100		%

Composition detail (polymers and natural materials)

Natural material	100		%
------------------	-----	--	---

Price

Price	* 2.58	-	4.12	PEN/kg
Price per unit volume	* 3.61e3	-	5.98e3	PEN/m ³

Physical properties

Density	1.4e3	-	1.45e3	kg/m ³
---------	-------	---	--------	-------------------

Mechanical properties

Young's modulus	9.4	-	24	GPa
Specific stiffness	6.6	-	16.8	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	* 495	-	711	MPa
Tensile strength	550	-	790	MPa
Specific strength	* 347	-	499	kN.m/kg
Elongation	2	-	2.9	% strain
Flexural modulus	* 9.4	-	22	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 550	-	790	MPa
Shear modulus	* 1	-	1.21	GPa
Bulk modulus	* 6.2	-	15.9	GPa
Poisson's ratio	* 0.359	-	0.374	
Shape factor	1			
Elastic stored energy (springs)	* 6.82e3	-	2.01e4	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 220	-	316	MPa

Values marked * are estimates.
ANSYS Granta provides no warranty for this data.

Impact & fracture properties

Fracture toughness	19.6	-	101	MPa.m ^{0.5}
Toughness (G)	38.5	-	477	kJ/m ²

Thermal properties

Glass temperature	* 380	-	390	°C
Maximum service temperature	* 400	-	420	°C
Thermal conductivity	* 0.25	-	0.35	W/m.°C
Specific heat capacity	1.2e3	-	1.22e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* 15	-	30	µstrain/°C
Thermal shock resistance	* 1.08e3	-	3.27e3	°C
Thermal distortion resistance	* 0.0098	-	0.0203	MW/m

Magnetic properties

Magnetic type	Non-magnetic
---------------	--------------

Optical, aesthetic and acoustic properties

Transparency	Opaque			
Acoustic velocity	2.5e3	-	4.22e3	m/s
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.00407	-	0.00753	

Critical materials risk

Contains >5wt% critical elements?	No
-----------------------------------	----

Absorption & permeability

Water absorption @ 24 hrs	* 2	-	2.4	%
Water absorption @ sat	10	-	12	%
Humidity absorption @ sat	10	-	12	%

Durability

Water (fresh)	Excellent			
Water (salt)	Excellent			
Weak acids	Acceptable			
Strong acids	Unacceptable			
Weak alkalis	Acceptable			
Strong alkalis	Unacceptable			
Organic solvents	Acceptable			
Oxidation at 500C	Unacceptable			
UV radiation (sunlight)	Good			
Flammability	Highly flammable			
Oxygen index	* 17	-	19	%

Primary production energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	9.5	-	10.5	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	1.5	-	1.7	kg/kg
Water usage	7.88e3	-	8.71e3	l/kg

Processing energy, CO2 footprint & water

Fabric production energy	* 2.48	-	2.73	MJ/kg
--------------------------	--------	---	------	-------

Values marked * are estimates.
ANSYS Granta provides no warranty for this data.

Fabric production CO2	* 0.198	-	0.218	kg/kg
Fabric production water	* 1.03	-	1.55	l/kg

Recycling and end of life

Recycle	✘			
Recycle fraction in current supply	8.55	-	9.45	%
Downcycle	✓			
Combust for energy recovery	✓			
Heat of combustion (net)	* 19.3	-	20.2	MJ/kg
Combustion CO2	* 1.5	-	1.58	kg/kg
Landfill	✓			
Biodegrade	✓			

Links

ProcessUniverse

Reference

Shape

Fuente. Software CESedupack