

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**



**MAESTRÍA EN MECÁNICA, MENCIÓN MANUFACTURA  
COHORTE 2019**

**TEMA:**

---

**“TECNOLOGÍA DE MANUFACTURA DE CARROCERÍAS DE VEHÍCULOS  
TIPO GO-KARTS CON EL USO DE MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ  
EPOXI CON FIBRA BIODEGRADABLE YUTE”**

---

Trabajo de titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica, Mención  
Manufactura

**Autor:** Ing. Ronny Jairo Naranjo Santiana.

**Director:** Ing. Mario Alcides Lara Núñez, Mg.

**Ambato- Ecuador**

**2021**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En calidad de tutor del Trabajo de Titulación presentado, previo a la obtención del título Magíster en Mecánica, Mención Manufactura. Con el tema: “DISEÑO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DEL BASTIDOR DE UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN GO-KART APLICANDO TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN”, elaborado por el Ing. Ronny Jairo Naranjo Santiana con cedula de identidad C.I. 0502243041 Maestrante de la MAESTRÍA EN MECÁNICA, MENCIÓN MANUFACTURA COHORTE 2019 de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

Certifico:

- Que el presente Trabajo de Titulación es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

---

Ing. Mario Alcides Lara Nuñez Mg.

C. I.: 1801751981

**TUTOR**

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “DISEÑO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DEL BASTIDOR DE UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN GO-KART APLICANDO TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN” le corresponde exclusivamente al Ing. Ronny Jairo Naranjo Santiana, Autor bajo la Dirección del Ingeniero Ing. Mario Alcides Lara Núñez, Mg, director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

---

Ing. Ronny Jairo Naranjo Santiana

C.I. 0502243041

**AUTOR**

---

Ing. Mario Alcides Lara Núñez Mg.

C.I. 1801751981

**TUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.

---

Ing. Ronny Jairo Naranjo Santiana  
C.I. 0502243041

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica  
El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ingeniero Wilson Santiago Medina Robalino, Mg, e integrado por los señores: Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg. Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “DISEÑO DEL PROCESO DE MANUFACTURA DEL BASTIDOR DE UN VEHÍCULO DE COMPETICIÓN GO-KART APLICANDO TÉCNICAS DE OPTIMIZACIÓN”, elaborado y presentado por el Ing. Ronny Jairo Naranjo Santiana, para optar por el Grado Académico de Magíster en Mecánica, Mención Manufactura; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

---

Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.

Presidente del Tribunal

---

Ing. Cristian Fabián Pérez Salinas, Mg.

Miembro del Tribunal

---

Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

Miembro del Tribunal

## **DEDICATORIA**

A Dios, por bendecirme y permitirme llegar a la culminación de esta etapa, a mi familia, que han sido mi guía y apoyo para poder continuar con mi formación profesional, por ser el pilar en mi vida, mi fuerza y motivación en cada meta que me he propuesto, por ese apoyo y palabras de aliento incondicional hasta la culminación de este proyecto.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme culminar una etapa más en mi formación académica para desempeñarme profesionalmente de una manera eficiente con los conocimientos adquiridos.

A mi familia que me brinda su apoyo incondicional para cumplir con esta meta y alentarme a seguir adelante, pues todo sacrificio tiene su recompensa.

A mi tutor, que con su conocimiento, persistencia, paciencia y motivación ha sido la guía para desarrollar la presente investigación y poder cumplir con los objetivos planteados.

Por último, agradezco a todas las personas que han intervenido y han sido apoyo para culminar con esta etapa educativa y adquirir los conocimientos necesarios para poder enfocarlos en nuestro ámbito profesional.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN EJECUTIVO .....	xv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN .....	5
1.3 Problema .....	5
1.4 Preguntas directrices .....	6
1.5 OBJETIVOS .....	6
1.5.1 GENERAL .....	6
1.5.2 ESPECÍFICOS .....	6
1.6 Campo .....	7
1.7 HIPÓTESIS.....	7
1.8 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....	7
1.8.1 Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras vegetales ...	7
1.8.1.1 Desarrollo Industrial con la utilización de fibras vegetales .....	7
1.8.2 Materiales compuestos .....	9
1.8.2.1 Tendencias actuales en el desarrollo de nuevos materiales .....	9
1.8.3 Materia prima de origen vegetal .....	11
1.8.4 Fibras vegetales .....	11
1.8.4.1 Composición química de las fibras vegetales .....	13
1.8.4.2 Resina epoxi .....	14

CAPÍTULO II .....	16
METODOLOGÍA .....	16
2.1 MATERIALES .....	16
2.1.1 Fibra de yute.....	17
2.1.2 Telas de yute .....	19
2.1.3 Volumen total del material compuesto .....	19
2.1.3.1 Fracción volumétrica.....	20
2.1.3.2 Dimensiones de las probetas a ensayar .....	21
2.1.4 Ensayo de tracción .....	24
2.2 METODOLOGÍA .....	24
2.2.1 Modalidad de Investigación .....	25
2.2.1.1 Investigación Bibliográfica .....	25
2.2.1.2 Investigación de Laboratorio.....	25
2.2.1.3 Investigación Experimental.....	25
2.3 Población.....	25
2.3.1 Muestra.....	26
2.3.2 Diagrama Metodológico.....	28
2.3.3 Carrocería del vehículo Go-Karts .....	30
2.3.3.1 Diseño del frontal del Go-Kart.....	30
2.3.3.2 Modelado carenado frontal .....	30
2.3.3.3 Modelado carenado posterior .....	31
2.3.3.4 Modelado carenado lateral .....	31
2.3.3.5 Modelado cubierto de la dirección.....	32
2.3.3.6 Ensamble de la carrocería en el bastidor del vehículo .....	32
CAPÍTULO III.....	34
3.1 Análisis de los ensayos de tracción del material biocompuesto .....	34
3.1.1.1 Análisis de los resultados del ensayo a tracción .....	38
3.1.1.2 Comprobación de la mejor configuración según ensayos de tracción.....	41
3.1.2 Prueba de Impacto.....	42
3.1.3 Propiedades del material compuesto para la simulación.....	42

3.1.3.1 Propiedades del Acero estructural ASTM A 500 grado A.....	43
3.1.4 Cálculo del centro de gravedad del go kart.....	44
3.1.5 Análisis de la resistencia de la carrocería mediante el método de elementos finitos .....	45
3.1.6 Condiciones de simulación .....	45
3.1.6.1 Simulación de impacto de una esfera con el frontal de la carrocería.	45
3.1.6.2 Mallado de componentes del vehículo.....	47
3.1.6.3 Verificación de calidad de malla.....	47
3.1.7 Análisis de resultados de la simulación .....	48
3.1.8 Simulación del impacto lateral entre dos Go-kart.....	50
3.1.8.1 Análisis de resultado del impacto lateral .....	51
3.1.8.2 Impacto posterior entre dos karts .....	52
3.1.9 Análisis de resultados impacto posterior .....	53
3.1.9.1 Ensayo aerodinámico .....	54
3.1.9.2 Cálculo de coeficiente $C_x$ aerodinámico del modelo de Kart .....	55
3.1.9.3 Análisis de la simulación aerodinámica.....	55
3.2 Verificación de hipótesis.....	57
3.2.1 Decisión y conclusión de la hipótesis planteada.....	59
CAPÍTULO V .....	62
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	62
4.1 CONCLUSIONES .....	62
4.2 RECOMENDACIONES.....	63
CAPÍTULO IV.....	64
DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	64
5.1 DESCRIPCIÓN .....	64
5.2 Antecedentes de la propuesta.....	64
5.3 JUSTIFICACIÓN .....	65
5.4 OBJETIVOS .....	65
5.4.1 Objetivo general .....	65
5.4.2 Objetivos específicos .....	66
5.5 Análisis de factibilidad .....	66

5.6 Fundamentación .....	66
5.7 Metodología .....	66
5.8 DESARROLLO .....	71
5.8.1.1 Moldes para el carenado posterior del go kart .....	71
5.8.1.2 Molde para el carenado lateral del go kart .....	72
5.8.2 Procedimiento para la obtención de los carenados con fibra de yute y resina epóxi .....	73
5.8.2.1 Preparación de las fibras de yute.....	73
5.8.2.2 Preparación del molde y contramolde.....	74
5.8.3 Técnica de molde al vacío.....	75
5.8.4 Proceso de ensamble de la carrocería.....	78
5.8.5 Análisis económico .....	79
5.8.5.1 Costos de diseño de los moldes.....	80
5.8.6 Conclusiones de la propuesta .....	81
BIBLIOGRAFÍA .....	82
Anexo 1: Ensayo de tracción.....	87
Anexo 2: Norma ASTM D 3039 .....	90
Anexo 3: Norma NTE INEN 1323.....	100
Anexo 4: Norma CIA KIAT .....	102
Anexo 5: Tabla T-student .....	104
Anexo 6: Comparación mediante Ansys/Ls-Dyna/reseach.....	105

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de fibras naturales y su ubicación dentro de la planta .....	12
Tabla 2: Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales .....	14
Tabla 3: Propiedades de la resina epóxi .....	14
Tabla 4: Materiales y equipos .....	16
Tabla 5: Propiedades mecánicas de la fibra vegetal de yute .....	18
Tabla 6: Configuración del material biocompuesto .....	23
Tabla 7: Muestras de probetas para ensayos .....	26
Tabla 8: Variable Independiente .....	27
Tabla 9: Variable Dependiente.....	27
Tabla 10: Análisis probetas a 30° .....	35
Tabla 11: Análisis de probetas a 45° .....	36
Tabla 12: Análisis de probetas a 90° .....	37
Tabla 13: Comparación ensayos de tracción.....	41
Tabla 14: Análisis de impacto probetas de yute.....	42
Tabla 15: Principales propiedades para simulación de resistencia .....	43
Tabla 16: Principales propiedades ASTM A-500 .....	43
Tabla 17: Condiciones del impactador tipo esfera.....	46
Tabla 18: Condiciones para simular el impacto lateral .....	50
Tabla 19: Verificación de la hipótesis.....	57
Tabla 20: Comparación esfuerzo de tracción.....	60
Tabla 21: Diagrama analítico carenado frontal .....	67
Tabla 22: Diagrama analítico carenado posterior .....	68
Tabla 23: Diagrama analítico carenado lateral.....	69
Tabla 24: Diagrama analítico carenado protector .....	70
Tabla 25: Diagrama de ensamble de la carrocería .....	79
Tabla 26: Costos de producción de carenados de vehículo.....	80

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de materiales .....	10
Figura 2: Fibras floemáticas en corte transversal del tallo del lino.....	11
Figura 3: Fibra de yute en su estado natural .....	18
Figura 4: Tela en Fibra de Yute .....	19
Figura 5: Dimensiones probeta de ensayo tracción.....	21
Figura 6: Corte de la fibra de yute a 45° de inclinación.....	21
Figura 7: Corte de fibra de yute a 60° de inclinación.....	22
Figura 8: Corte de fibra de yute a 90 ° .....	22
Figura 9: Proceso obtención de probeta de resina epoxi con la fibra del yute.....	23
Figura 10: Probetas para ensayo de tracción del biocompuesto .....	24
Figura 11: Máquina de ensayos de tracción universal Metrotest 50KN .....	24
Figura 12: Flujograma general para el diseño.....	29
Figura 13: Modelos de carrocería go- Kart .....	30
Figura 14: Modelo frontal del vehículo .....	31
Figura 15: Modelo 3D carenado posterior del vehículo.....	31
Figura 16: Modelo 3D carenado Lateral del vehículo .....	32
Figura 17: Modelo 3D cubierta de la dirección del vehículo.....	32
Figura 18: Ensamble del bastidor con la carrocería .....	33
Figura 19: Módulo elasticidad a 30° .....	38
Figura 20: Esfuerzo de tracción a 30° .....	38
Figura 21: Módulo de elasticidad a 45°.....	39
Figura 22: Esfuerzo de tracción a 45° .....	39
Figura 23: Módulo de elasticidad a 90°.....	40
Figura 24: Esfuerzo tracción a 90° .....	40
Figura 25: Probeta luego del ensayo de impacto .....	42
Figura 26: Ubicación del CG vista lateral del vehículo .....	44
Figura 27: Ubicación del CG vista superior del vehículo .....	45
Figura 28: Impactador 2 kg para simulación.....	46
Figura 29: Piloto con peso de 70 Kg para simulación .....	47
Figura 30: Mallado del modelo a simular .....	47
Figura 31: Jacobiano y calidad de malla .....	48

Figura 32: Esfuerzo en el carenado frontal posición 1.....	48
Figura 33: Esfuerzos en el carenado frontal posición 2 .....	49
Figura 34: Esfuerzos en el carenado frontal lateral izquierdo.....	49
Figura 35: Radio de giro y ángulo de impacto del vehículo .....	50
Figura 36: Vehículos para impacto lateral .....	51
Figura 37: Simulación impacto lateral .....	51
Figura 38: Impacto lateral vista 3D.....	52
Figura 39: Esquema de simulación posterior .....	52
Figura 40: Ubicación 3D de los vehículos para impactar .....	53
Figura 41: Esfuerzos impacto posterior .....	53
Figura 42: Vista superior del análisis del impacto posterior.....	54
Figura 43: Comportamiento del flujo del aire en el kart.....	55
Figura 44: velocidad del fluido lateral máxima 12,07 m/s .....	56
Figura 45: Resistencia frontal aerodinámica.....	56
Figura 46: Presión máxima aerodinámica.....	57
Figura 47: Molde del carenado posterior .....	71
Figura 48: Proceso del moldeo del carenado lateral .....	72
Figura 49: Molde de la carrocería del go kart.....	72
Figura 50: Tejido de la fibra de yute.....	73
Figura 51: Corte de fibra de yute .....	74
Figura 52: Aplicación de cera desmoldante .....	74
Figura 53: Aplicación de la fibra de yute y resina .....	75
Figura 54: Aplicación papel desmoldante.....	75
Figura 55: Técnica de moldeo al vacío .....	76
Figura 56: Retiro del plástico de vacío .....	76
Figura 57: Retiro del papel desmoldante .....	77
Figura 58: Desmolde del carenado del vehículo .....	77
Figura 59: Estructura carenado terminado .....	78
Figura 60: Go kart para colocar la carrocería.....	78

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo caracterizar un material al combinar fibra natural de yute con resina epoxi para la fabricación y manufactura de los componentes del carenado que conforma la carrocería del vehículo go-kart de competencia.

De la caracterización y análisis de los ensayos se determinó que el material biocompuesto de 70 por ciento de matriz epoxi reforzado con el 30 por ciento de fibra de yute tuvieron el mejor comportamiento a tracción bajo la norma (ASTM D3039-2017), esto permitió realizar un procedimiento para la aplicación del material en la fabricación de los carenados de la carrocería del go-kart y mediante la simulación de impacto en el programa Ansys/Ls-Dyna reseach se evaluó, el comportamiento mecánico de los modelos a diferentes fenómenos entre ellos impacto frontal, lateral posterior y análisis aerodinámico del vehículo obteniendo esfuerzos máximos que no superan los 45,73Mpa durante el tiempo de análisis de 0,15s, de igual manera el comportamiento aerodinámico presentó buenas características en el flujo de corriente de aire el cual alcanzo una velocidad de fluido máxima de 12,07m/s.

Posteriormente se diseñaron los modelos de los moldes mediante programas CAD/CAE para manufactura e ingeniería y se estableció parámetros para construirlos de forma manual y con la técnica de moldeo a vacío de cada componente que conforma la carrocería del vehículo go-kart. Finalmente se implementa un proceso tecnológico para la fabricación de los componentes de la carrocería como son el carenado frontal, lateral, posterior y el cubre dirección con espesor de 2mm cuyos datos demuestran que el biocompuesto tiene buena resistencia y comportamiento mecánico.

**Palabras Clave:** Biocompuesto, tracción, carenado, fibra de yute, impacto, aerodinámico, go kart molde.

## ABSTRACT

The main objective of this research project is to characterize a new material by combining natural jute fiber with epoxy resin to new material by combining natural jute fiber with epoxy resin for the manufacture and fabrication of the fairing and manufacture of the components of the fairings that make up the bodywork of the competition go kart competition go kart vehicle.

From the characterization and analysis of the tests, it was determined that the material biocomposite material of 70 percentage epoxy matrix and reinforced with 30 percentage jute fiber had the best tensile behavior under the standard (ASTM D3039-2017) allowed us to carry out a procedure for the application of the material in the manufacture of the fairings of the go kart bodywork and by means of the impact simulation in the program Ansys Ls-Dyna reseach, the mechanical behavior of the models was evaluated in different phenomena, among them frontal impact, rear lateral impact and aerodynamic analysis of the maximum stresses that do not exceed 45.73 Mpa during the analysis time of 0.15 seconds. in the same way the aerodynamic behavior presented good characteristics in the flow of the aerodynamic behavior presented good characteristics in the air current flow, reaching a maximum fluid velocity of 12.07 m/s.

Subsequently, the mold models were designed using CAD/CAE programs for manufacturing and engineering and parameters were established to build the molds. engineering and manufacturing software, and parameters were established to build the molds manually and with the manually and with the vacuum molding technique for each component that makes up the body of the go kart vehicle. the body of the go kart vehicle. Finally, a technological process is implemented for the manufacture of the body components such as the front, side and rear components such as the front, side and rear fairing and the steering cover with a thickness of 2mm. whose data show that the biocomposite has good resistance and mechanical behavior. good resistance and mechanical behavior.

**Keywords:** Biocomposite, traction, fairing, jute fiber, impact, aerodynamic, go kart mold.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO TEÓRICO**

### **1.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS**

El perfeccionamiento de nuevos productos se ha convertido en un tema de interés mundial, principalmente relacionado con el continuo crecimiento de la población, por lo que el consumo de recursos crece a un ritmo alarmante afectando directamente al medio ambiente [1].

La fabricación y aplicación de productos habituales ejercen presiones directas que afectan el equilibrio ambiental, lo que ha llevado a que los mercados cambien sus demandas con respecto al desarrollo de productos amigables con el medio ambiente. Esta es una razón principal para el desarrollo de nuevos productos que aporten a la sostenibilidad del planeta. La mayoría de las empresas tienen un enfoque de sostenibilidad mediante prácticas con nuevas tendencias [2].

Estos intentos son consecuencia directa de los impulsores regulatorios y del mercado. Alayón en su investigación “Principios conceptuales de producción sostenible en la práctica”, nos indica que en las industrias como la metalúrgica, la fundición y la fabricación están optando por estrategias más proactivas basadas en disminuir la afectación al medio ambiente y están trabajando en el diseño de productos bajo una perspectiva de evaluación continua de los procesos de producción [2].

La evaluación del ciclo de vida, se ha convertido en una herramienta indispensable para los diseños de nuevos productos. Una de las principales preocupaciones con respecto a los impactos del ciclo de vida del producto es la generación de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente CO<sub>2</sub>. Los compromisos internacionales han llevado a las empresas a ser más conscientes de la responsabilidad social y ambiental, [3].

Por lo tanto, los materiales de biocompuestos emergen como una alternativa sorprendente para la fabricación de nuevos productos sostenibles. Han demostrado que los materiales como el Tetra Pack conjuntamente con fibra natural pueden reciclarse para la elaboración de biocompuestos. Hidalgo Salazar en dos ocasiones y Muñoz Vélez realizaron sus investigaciones juntando la fibra de Fique a este material, mejorando las propiedades mecánicas [4] [5] [6].

Estos biocompuestos pueden estar hechos de diversos tipos de fibras naturales, un ejemplo de estas investigaciones comprende estudios con fibras como abacá y bambú [7], kenaf [8], cáñamo [9], lino [10] y el yute, donde el estudio que realiza Prashant Tripathi, menciona que a medida que aumenta el porcentaje de fibra natural, la característica de degradabilidad del compuesto aumenta debido al incremento del contenido de celulosa [11].

Los biocompuestos tienen varias aplicaciones industriales, la mayoría de ellas en la industria automotriz. Sin embargo, no existen materiales de base biológica para uso o desarrollo comercial que se consideren totalmente sostenibles [12]. Debido a su naturaleza renovable, la investigación y el desarrollo de biocompuestos han aumentado constantemente y sus aplicaciones se están extendiendo a múltiples áreas. Siendo su principal atractivo la combinación de bajo precio, biodegradabilidad, disponibilidad y su capacidad para sustituir otros compuestos que usan refuerzos sintéticos tradicionales como fibra de vidrio o carbono [13], [14].

Por ejemplo en su revisión bibliográfica “Review of the Applications of Biocomposites in the Automotive Industry”, Obed Akampumuza nos menciona que reduciendo el peso utilizando materiales compuestos con fibra natural en paneles de puertas, asientos y tableros de automóviles, no solo se beneficiará al medio ambiente, sino también a los usuarios reduciendo el uso de combustible, ya que en Estados Unidos se está implementando una normativa, para aumentar progresivamente la economía de combustible a 54.5 millas por galón (MPG), que a su vez es igual a 87.87 kilómetros por galón (KPG), para automóviles y camiones ligeros para el año 2025, esto representaría aproximadamente casi el doble de recorrido por cada galón [15].

El primero Kart fue fabricado en agosto de 1956 por Arte Ingels en el estado de California en Estados Unidos, este vehículo estaba potenciado por un motor de podadora de una compañía llamada West Bend Company, la carrocería en este prototipo no existía. Sin embargo, la carrocería la constituyen aquellas partes del Go-kart que están en contacto con el aire a excepción de las partes mecánicas, y es fundamental para la aerodinámica que a determinadas velocidades supone una parte muy importante de la resistencia al avance del vehículo y la protección del piloto [16]. El material principal utilizado en estas carrocerías es de base polimérica y de fibras sintéticas con refuerzos metálicos, haciendo que esta carrocería no sea reciclable y su ciclo de vida se reduzca [16].

La necesidad de un mejor ciclo de vida de los productos fabricados y piezas automotrices livianas son una puerta de entrada para aliviar el consumo de combustible automotriz y, por lo tanto, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, esto continuará incitando una investigación cada vez mayor sobre la viabilidad de los compuestos a base de fibra natural en automóviles [16].

La industria carrocera en el Ecuador inicia en la década de los años 50, junto con la tapicería de asientos para buses y la fabricación de baterías y neumáticos. Posteriormente se fundó AYMESA en el año 1973 y en mayo del mismo año lanzaron al mercado el primer carro fabricado en el país, el Andino con una producción de 144 unidades en el año [17].

En nuestro país se realizan varias competencias interuniversitarias, una de ellas es la Copa Quito Karting Club, que convoca a varias universidades del país a participar con un vehículo tipo Go Kart, sin embargo, en el país no se produce este tipo de vehículos, lo que se realiza es el ensamblaje, uno de los pocos establecimientos identificado en que se lo puede hacer es Kart Mini [17].

La actividad a la que se dedica Kart Mini (Ecuador) es la de ensamblar y comercializar “Go-Karts” de forma muy ocasional, así como también dispone escasamente de repuestos u otros productos afines por lo que es considerado como uno de los pocos, por no mencionar el único, que realiza esta actividad; lo que provoca una

monopolización del mercado y por ende que el cliente no tenga alternativas en cuanto a productos, precios y calidad [18]. Eso lleva a que el costo de este tipo de vehículo se eleve y no haya una calidad adecuada en este proceso, por lo que no se dispone de tecnología y conocimiento.

Las experiencias que existen en investigaciones, con el uso de biofibra (Yute) en carrocerías de vehículos de competencia son, Caza en 2015 en su estudio compara las carrocerías anteriormente fabricadas como el COTOPAXI 1, que es una carrocería hecha a base de resina poliéster reforzado con fibra de vidrio y placas de aluminio tanto en el frente como el respaldo del vehículo [19].

El Cotopaxi 2, es una carrocería que está hecha a base de resina poliéster con fibra de vidrio, acompañado de masilla plástica para otorgar buenos acabados y formas onduladas. En el año 2015 se desarrolla una carrocería con componentes biodegradables, el COLIBRÍ es otra carrocería construida con resina poliéster, con refuerzo de fibra de yute, la cual obtuvo resultados en el peso, disminuyendo casi 18 Kg en relación al COTOPAXI 1, que representa un 67.50 % de peso neto aligerado; y comparando con la carrocería del COTOPAXI 2, que pesa 22.66 Kg, se puede afirmar que se ha reducido un 61.34 % de peso [19].

En el estudio de Alejandro Loza, realiza un análisis comparativo de peso, costo, dureza, resistencia al impacto y durabilidad de un nuevo modelo de retrovisor para un vehículo tipo coupe aplicando biofibra, con respecto el retrovisor existente en el mercado, en el cual se demostró que el nuevo modelo de material compuesto tiene buenas propiedades mecánicas con menor costo, mejor calidad, excelentes propiedades de impacto y dureza y sobre todo amigable con el medio ambiente por su tiempo de degradación [20].

Como se observa anteriormente, en el Ecuador al no existir un progreso industrial para el manejo de los avances de tecnologías en nuevos materiales, llegamos a ser consumidores de productos importados lo que genera la fuga de capital de nuestro país y que los costos sean elevados; en vista de esto, es necesario fomentar la cultura de investigación en este campo y empezar la base en el crecimiento e investigación de la

estructura tanto de la carrocería para un prototipo de Go kart como etapa inicial del progreso en vehículos de competencia para la categoría de karting dentro del país que genere un aporte al cambio industrial en el Ecuador [20].

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

La razón por la que se lleva a cabo este proyecto es para proponer un proceso para construir una carrocería con nuevos materiales, aplicando refuerzos de biofibras. La disminución del peso del vehículo de competencia tipo Go-Kart es una característica fundamental, con una resistencia similar a los materiales que se ocupan hoy en día, al no ser importado y realizado en el país, se reducirá el costo de adquisición. Este material ocupa una biofibra como refuerzo, por lo que se vuelve amigable con el medio ambiente y se lo puede reciclar, aumentando su ciclo de vida.

El desarrollo del presente proyecto permitirá a los fabricantes arriesgar su inversión a nuevas tecnologías existentes y a la vez se podría visualizar con mayor claridad los beneficios y crecimiento al apostar a una nueva propuesta como es la manufactura de una carrocería de un Go-Kart en el país, esto abarataría costos de producción para poner a disposición del mercado un vehículo de entrenamiento a un precio accesible y con satisfactorias características de calidad.

Al emplear este tipo de material aportara en beneficio de la reducción de materiales contaminantes, el estudio de caracterización mecánica del material cuenta con una gran variedad de fibras con diferentes características mecánicas, físico químicas que servirán para ser usadas en el diseño de carrocerías del Go -kart

Por esta razón el presente proyecto es factible para la elaboración y caracterización del material compuesto a partir de caracterizar un nuevo material al combinar fibra natural de yute con resina epóxi.

## **1.3 Problema**

El diseño y fabricación de los componentes de la carrocería de los vehículos Go-Kart no ha presentado un desarrollo importante a lo largo del tiempo en el país, y las pocas investigaciones realizadas en institutos educativos no se realiza un estudio del peso de

la carrocería pues afecta directamente en el tiempo de aceleración y aumento de combustible de esta manera limita la máxima potencia y rendimiento que debe tener el vehículo Go-kart durante la competencia.

#### **1.4 Preguntas directrices**

- ¿Qué son los materiales biocompuestos y cuál es su aplicación en las estructuras de carrocerías para vehículo go kart?
- ¿Cuáles serán las mejores combinaciones y fracciones volumétricas con la que se pueda caracterizar el material biocompuesto en el estudio?
- ¿La norma que se utiliza para ensayos en material poliméricos permitirá determinar las propiedades mecánicas a tracción del material biocompuesto?
- ¿El método de elementos finitos permitirá determinar la resistencia del material biocompuesto mediante la simulación de impacto frontal, lateral, posterior y aerodinámico?
- ¿El nuevo material biocompuesto reducirá el peso de los carenados de la carrocería del vehículo go kart?

#### **1.5 OBJETIVOS**

##### **1.5.1 GENERAL**

- Desarrollar una tecnología para el proceso de manufactura de carrocerías para un vehículo tipo Go-kart con material biocompuesto de matriz epoxi y fibra de yute como refuerzo.

##### **1.5.2 ESPECÍFICOS**

- Realizar un estudio analítico del material biocompuesto con matriz epoxi, y la fibra de yute como refuerzo, utilizados en la carrocería.
- Elaborar la metodología para el desarrollo del biocompuesto con el fin de determinar el ángulo de la fibra, las propiedades mecánicas y el comportamiento del material.

- Proponer el proceso tecnológico para construir la carrocería, en base a un proceso de moldes para reducir el peso sin perder la resistencia a la tracción y buena aerodinámica.

## **1.6 Campo**

Tecnología de fabricación de carrocería de vehículo Go-kart con un material de biocompuesto de resina epoxi con fibra de yute.

## **1.7 HIPÓTESIS**

La obtención de biocompuestos de matriz epoxi reforzado con fibra de yute mejorará la combinación de propiedades mecánicas de las carrocerías de un vehículo tipo Go-Kart.

## **1.8 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

### **1.8.1 Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras vegetales**

#### **1.8.1.1 Desarrollo Industrial con la utilización de fibras vegetales**

Como es bien conocido, la industria de los materiales aporta en gran medida a la vida cotidiana, tal es el caso de los plásticos, que gracias a su versatilidad son empleados en múltiples aplicaciones. Sin embargo, al ser derivados del petróleo representan un porcentaje de contaminación considerable para el ecosistema. Por ello, se ha creado la necesidad de minimizar su uso y combinar dichos polímeros con refuerzos naturales, cuya principal ventaja radica en su biodegradabilidad y su capacidad de renovación. Estas características contribuyen al manejo responsable de los recursos naturales y permiten una producción sustentable y sostenible en el tiempo. Se puede tomar como ejemplo a la industria aeronáutica, en la cual existe cada vez mayor preocupación por la retirada de los aviones después de que éstos cumplieron su vida útil, pues se estima que entre los años 2004 y 2023 se eliminarán 4000 unidades [21].

Esta es la razón por la cual actualmente los fabricantes de aviones están reduciendo el uso de materiales medioambientalmente agresivos tales como los cromatos, el cadmio, el acero y el aluminio, los cuales han sido sustituidos por una amplia gama de materiales compuestos. El empleo de estos materiales en la industria aeronáutica ha ido en aumento desde los años 70, cuando se los comenzó a utilizar como sustitutos de los metales, obteniendo como ventaja la reducción de su peso estructural y el número de partes necesarias para el ensamblaje. Además, es importante considerar que los materiales compuestos no pueden ser reciclados. Sin embargo, pueden ser reutilizados de diversas formas, por ejemplo, se han desarrollado estudios para probarlos en pistas de despegue después de ser triturados, así se busca mejorar su durabilidad [21].

El cambio climático mundial ha producido una aceleración en la transición hacia una economía sostenible y más inocua para el medio ambiente [22].

Dentro de esta transición, las fibras lino-celulósicas derivadas de los tejidos estructurales de las plantas ya se encuentran desempeñando un papel muy importante. Sin embargo, es oportuno mencionar que los mercados de los cultivos de fibras, como por ejemplo el abacá, el bonote, el yute y el sisal sufrieron un debilitamiento considerable desde la introducción de las fibras sintéticas [23].

Pese a esto, los mercados especializados han logrado mantenerse y se prevé que surjan una serie de nuevos mercados, entre los cuales está la elaboración de compuestos de fibra reforzados en la industria del automóvil, materiales de construcción y geotextiles biodegradables. De esta forma se busca la aceptación de estos nuevos productos por parte de los consumidores, considerando la imagen “ecológica” que es el valor agregado alcanzado [23].

En el Ecuador el desarrollo de materiales compuestos se encuentra en sus etapas iniciales, por ende, el uso de fibras naturales todavía es limitado. En general, la extracción de fibras vegetales ha tenido un desarrollo incipiente en el país, lo que puede cambiar tomando en cuenta el gran potencial que el Ecuador ofrece para la producción de fibras naturales y la necesidad de desarrollar aplicaciones de mayor valor agregado para las mismas [23].

Si bien en algunos casos esta extracción se ha industrializado, las fibras obtenidas han sido empleadas en productos de escaso valor agregado (como en el caso de las fibras de abacá y cabuya), mientras que en otros, se ha aprovechado tan sólo el recurso alimenticio de las plantas sin considerar siquiera la posible utilización de la parte fibrosa de las mismas, como sucede con el coco, cuya cáscara (que corresponde al 80% del fruto y donde se encuentra la fibra) es considerada un desecho sólido [23].

### **1.8.2 Materiales compuestos**

Se define como material compuesto a todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insolubles entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades características específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las anteriores. Los compuestos combinan las mejores propiedades de entre las diferentes clases de materiales que forman el material compuesto evitando con ello algunas de sus desventajas, si se los hiciera de manera individual [23].

#### **1.8.2.1 Tendencias actuales en el desarrollo de nuevos materiales**

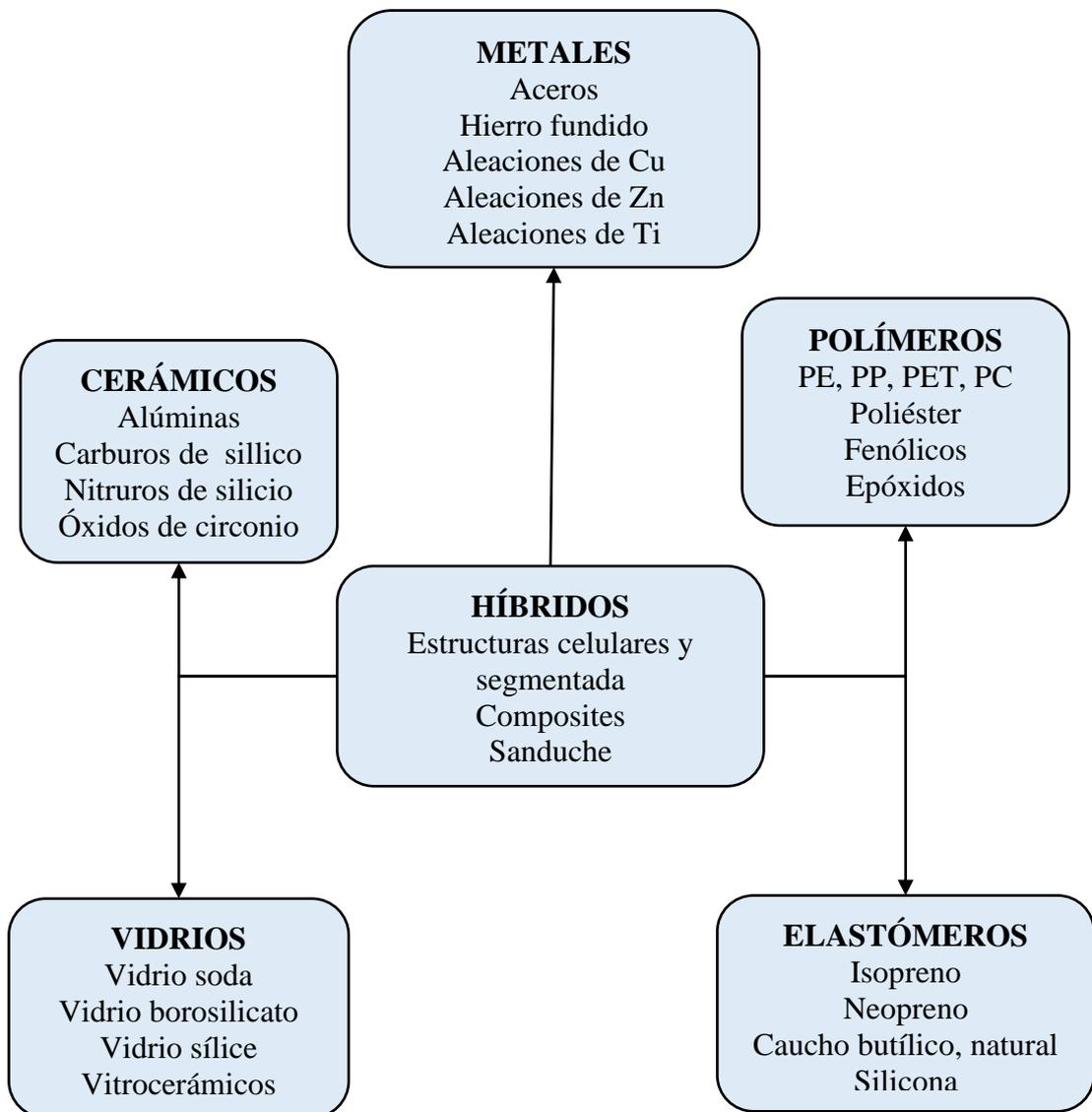
Las tecnologías modernas de producción industrial están directamente asociadas al desarrollo de productos. Asimismo, la selección de procedimientos de manufactura debe estar correctamente adaptada al aspecto económico, es decir, se busca crear productos innovadores con costos razonables [23].

Hoy en día, el énfasis está en la obtención de nuevos materiales y la utilización de nuevas tecnologías y procesos de fabricación. En el campo de los metales se está trabajando principalmente en la obtención de superaleaciones para aplicaciones en condiciones extremas de funcionamiento [23].

Las superaleaciones, cerámicas técnicas o avanzadas, polímeros especiales, materiales compuestos, materiales biodegradables, biomateriales y los nanomateriales constituyen el grupo de materiales que hoy se conocen como “nuevos materiales”.

Estos resultan de un estricto control de su microestructura o de la combinación de diversos materiales. Además, exigen un acelerado perfeccionamiento de los métodos de análisis tanto macroscópicos como microscópicos de las propiedades mecánicas, físicas, químicas y tecnológicas; así como de los procedimientos para alterar o modificar esas propiedades [23].

Por otra parte, las industrias de polímeros y materiales compuestos crecen rápidamente, al igual que las proyecciones de crecimiento de las nuevas cerámicas en la figura 1 se presenta la clasificación de los compuestos [23].



**Figura 1:** Clasificación de materiales [23]

### 1.8.3 Materia prima de origen vegetal

#### 1.8.4 Fibras vegetales

Las fibras vegetales son filamentos lignocelulósicos compuestos de células largas y delgadas de esclerénquima, que se encuentran formando parte de las plantas y que cumplen funciones específicas dentro de ellas, como las de dar soporte, dureza y rigidez a los tejidos vegetales [23].

Según la parte de la planta en la que se localizan, las fibras poseen distintas características y propiedades, lo cual las clasifica básicamente en tres grupos: las fibras blandas, duras y de superficie [2]. Las fibras blandas provienen del líber de los tallos de las plantas dicotiledóneas. Estas se ubican en la parte liberiana del tallo y actúan como un esqueleto, brindándole resistencia estructural y rigidez. Se denominan blandas por su textura suave al tacto, su flexibilidad, elasticidad y su finura. Ejemplos de ellas son el lino, el ramio, el yute y el cáñamo [20]. Estas fibras forman una red ubicada en una parte del floema, tal como se ilustra en la figura 2.

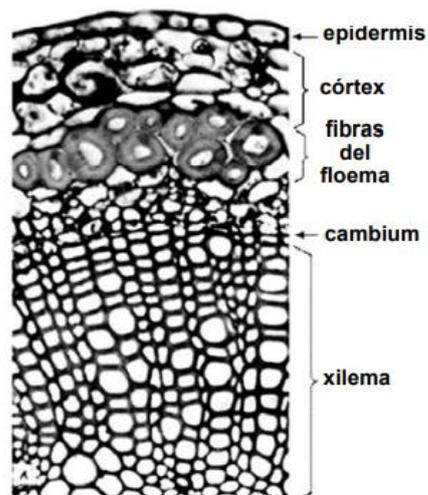


Figura 2: Fibras floemáticas en corte transversal del tallo del lino [23]

Las fibras blandas generalmente son extraídas mediante un proceso de enriado, que consiste en colocar los tallos en remojo en el curso del agua de ríos con poca corriente con el objeto de que su corteza se descomponga por efecto de la degradación

microbiana, dejando libres a los filamentos de fibra [3]. Las fibras duras constituyen las hojas de ciertas plantas entre las que se encuentran la cabuya, el abacá, el plátano y el formio [3].

Estas fibras son por lo general de mayor grosor, aspereza y rigidez, pues poseen un alto contenido de lignina. Estas son obtenidas a partir de un proceso de descortezado, que consiste en separar mecánicamente la corteza del tallo mediante el uso de maquinaria industrial. Por otra parte, las fibras de superficie corresponden a los pelos de la epidermis de las semillas, como, por ejemplo, el algodón [14]. En la tabla 1, se muestra una lista de las fibras que se producen comercialmente, además se indica su ubicación dentro de la planta.

**Tabla 1:** Tipos de fibras naturales y su ubicación dentro de la planta [23]

<b>Tipo</b>	<b>F. Blandas</b>	<b>F. Duras</b>	<b>F. superficie</b>	<b>Otras</b>	
Ubicación	Tallo	Hojas	Semillas	Fruto	Caña
Fibras Naturales	Cáñamo	Abacá	Algodón	Palma aceitera	Esparto
	Ramio	Sisal	Kapok	coco	Bejuco
	Lino	Cuaruá	Algodoncillo		Bambú
	Kenaf				Bagazo
	Yute				

En general, la longitud de estos haces fibrosos puede variar, llegando a ser incluso mayor a 100 cm, con grosores de aproximadamente 1 mm o menos. Las unidades constituyentes de dichos haces son fibras elementales que pueden ser sumamente largas, manteniendo una relación de 1000 entre la longitud y el ancho. Tal es el caso del lino, ramio, cáñamo, kenaf y yute. Por otro lado, las fibras naturales, pueden ser clasificadas según su uso comercial. Según [15], las aplicaciones de las fibras se agrupan como se cita a continuación:

- Cestería, es la confección de productos tejidos con fibras vegetales, por ejemplo, canastas, esteras y sombreros.

- Cordelería, consiste en el trenzado de las fibras para elaborar cuerdas, sogas y otros materiales para ataduras y amarres.
- Techado de casas.
- Fabricación de escobas.
- Material para el relleno de colchones, almohadas y utensilios para montar caballerías.
- Textil, tal como la confección de productos tejidos, por ejemplo, para elaborar telas, ropa, calzado o alfombras.
- Construcción de embarcaciones.

#### **1.8.4.1 Composición química de las fibras vegetales**

Las fibras vegetales están constituidas fundamentalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, por esta razón son llamadas fibras lignocelulósicas [23]. Además, su estructura se encuentra formada por algunos elementos minoritarios como proteínas, ceras, resinas y algunos productos inorgánicos. La composición química de las fibras varía según las diferentes especies, la edad de la planta y las condiciones climáticas, pero de manera general se ha encontrado que la relación entre la celulosa, hemicelulosas y lignina es aproximadamente de 4:3:3. En la Tabla 2 se exhibe el contenido de los principales componentes de algunas fibras vegetales.

**Tabla 2:** Composición química en porcentaje de algunas fibras vegetales [23]

<b>Fibra</b>	<b>Celulosa (% peso)</b>	<b>Hemicelulosa (% peso)</b>	<b>Lignina (% peso)</b>
Lino	71,2	18 – 20	2,2
Cáñamo	70 - 75	17 – 22	3,7 – 5,7
Yute	61 -71	13 – 20	8,1 – 13
Kenaf	45 -57	21	8 – 13
Ramio	68 – 76	13 – 16	0,6 – 0,7
abacá	63 – 70	20 – 21	5 – 6
Sisal	67 – 78	10- 14	8 – 14
Algodón	82 – 93	3 – 6	---
bambú	35 – 61	15	27 – 32
Coco	32 – 43	0,15 – 0,25	4 – 5
Banana	63 - 64	10	5
Formio	71,3	---	---

#### 1.8.4.2 Resina epoxi

La resina epoxi es muy versátil, tiene un gran rango de propiedades. Su gran adherencia 13,8 MPa en comparación con la resina poliéster 0,7 Mpa. Estas resinas tienen una buena resistencia al impacto, tenacidad, buena transferencia de la carga cuando son reforzadas por fibras, resistencia térmica elevada, la vida útil de la resina es de un mínimo de 2 años, son curadas en autoclave para conseguir mejorar las propiedades mecánicas. Este material es apropiado para trabajar con fibra de vidrio, carbono y aramida, es una resina cara, pero tiene una excelente resistencia, al tener buena resistencia a la intemperie, poca absorción de la humedad y una amplia adhesión a una gran variedad de superficies, es utilizada para aplicaciones estructurales en aeronaves y aviones militares en la tabla 3 se presenta las propiedades de la resina [24] [25].

**Tabla 3:** Propiedades de la resina epóxi [25]

Propiedades de la resina epóxi	
Esfuerzo de tensión (MPa)	55 - 130
Esfuerzo de fluencia (MPa)	125

Módulo de elasticidad a tensión (GPa)	2,8 - 4,2
Resistencia al impacto (J/m)	5,3 - 53
Coefficiente de Poisson	0,2 - 0,33
Máxima temperatura que resiste (°C)	150
Contracción de curado (%)	1 - 5
Densidad (Kg/ <sup>m</sup> ³)	1200 - 1300

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1 MATERIALES

En este capítulo se cita los materiales que se emplean en la fabricación de las probetas del material biocompuesto de resina epoxi con fibras naturales de yute a continuación en la tabla 4 se indican los implementos utilizados para el estudio.

**Tabla 4:** Materiales y equipos

<b>MATERIAL</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Resina Epóxi	
Fibra de yute	
Bomba de vacío	
Moldes	

Tijeras de fibra	
Cabina de pintura	
Máquina de ensayos de tracción	
Aislantes protectores	
Brochas	

### 2.1.1 Fibra de yute

En la figura 3 se presenta el yute en su estado natural siendo un producto agrícola de gran importancia y es una de las fibras naturales más comunes en los países del tercer mundo, etc.

Tiene diversas aplicaciones en materiales decorativos y de mobiliario, como pantallas de lámparas, cubiertas de pared, cortinas, tapicerías, etc. Hoy en día, el yute está entre las fibras menos costosas del mercado, ya que su precio es muy inferior al de otras fibras, como la de vidrio; y es por esto que en términos de volumen, es ahora la segunda fibra más importante en el mundo, después del algodón. En la actualidad, una de las aplicaciones que se le ha venido dando es como refuerzo en materiales compuestos.



**Figura 3:** Fibra de yute en su estado natural [26]

El interés por las fibras vegetales viene por varias ventajas que poseen entre las más comunes está reducir el peso y costo del material a continuación en la siguiente tabla 5 se presenta una comparación de las propiedades mecánicas de algunas fibras en comparación con la fibra de yute.

**Tabla 5:** Propiedades mecánicas de la fibra vegetal de yute. [27]

Densidad	1.3 (g/cm <sup>3</sup> )
Resistencia a la tensión	393, 773 (Mpa)
Módulo elasticidad	26.7 (Mpa)
Elongación a la fractura	1,5 - 1,8 (%)
Absorción de humedad	12 (%)

En nuestro país existe diferentes tipos de fibras y tejidos elaborados de forma artesanal, así como costales de yute que podrían usarse en la elaboración de materiales compuestos existen varios tipos de hilos de la fibra para el estudio utilizaremos un hilo fino que facilita el procesamiento del material dentro del molde, además los tejidos más conocidos y utilizados son:

- Plano
- Sarga
- Satín
- Leno

### 2.1.2 Telas de yute

En la actualidad son diversas las aplicaciones que se le da a la fibra de yute, por ejemplo, en cuanto a telas se refiere, tiene una costura muy común, similar a la de una tela común y corriente, se destaca por que existen personas que aun la tejen manualmente, los tipos de tejidos de la fibra dependen mucho de su tipo de uso, por ejemplo para la implementación de las estructuras sólidas en el Go-Kart se utilizó únicamente como se indica en la figura 4.



**Figura 4:** Tela en Fibra de Yute [28]

Los tejidos que se aplican con la utilización de la fibra son diversos, como ya se ha hablado ya, dependen mucho de la función que vayan a cumplir, brindando algunos una mayor resistencia que otros, considerando únicamente que el tejido la tela es mucho más resistente que el tejido de una manualidad por ejemplo una cartera [28].

### 2.1.3 Volumen total del material compuesto

Según la norma “Método de prueba estándar para Propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica” ASTM D3039/D3039M-00 indica el número mínimo de probetas de cada caso a ensayar y las dimensiones que especifica es de 250x25x e (mm) para facilitar la construcción de las probetas se dispone que las

fibras tenga diferente orientación y se aplican 4 capas de resina obteniendo el espesor de 3 a 4 mm por cada probeta para el análisis de tracción de esta manera se obtiene el volumen requerido.

$$V_{\text{requerido}} = l * a * e \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

$V_{\text{requerido}}$  = Volumen total

l= largo del área de trabajo

a=ancho del área de trabajo

e= espesor de las probetas

$$V_{\text{requerido}} = l * a * e$$

$$V_{\text{requerido}} = 250\text{mm} * 25\text{mm} * 2 \text{ mm}$$

$$V_{\text{requerido}} = 12500 \text{ mm}^3$$

$$V_{\text{requerido}} == \mathbf{12,5\text{cm}^3}$$

### 2.1.3.1 Fracción volumétrica

El volumen total requerido de la probeta es 12,5 cm<sup>3</sup> del cual se calcula el 70% de matriz y el 30 % de refuerzo.

$$12,5 \text{ cm}^3 \quad 100\%$$

$$\text{Volumen de resina epoxi} \quad 70\%$$

$$\text{Volumen de resina epoxi} = \frac{12,5 \text{ cm}^3 * 70\%}{100\%}$$

$$\text{volumen resina epóxi} = 8,75\text{cm}^3$$

#### Fibra de yute

$$8,75 \text{ cm}^3 \quad 70\%$$

$$\text{Volumen de fibra de yute} \quad 30\%$$

$$\text{Volumen de fibra de yute} = \frac{8,75 \text{ cm}^3 * 30\%}{70\%}$$

$$\text{Volumen de fibra de yute} = 3,75 \text{ cm}^3$$

Con los datos conocidos se calcula la masa de la fibra de yute la densidad de la fibra se toma de la tabla 5.

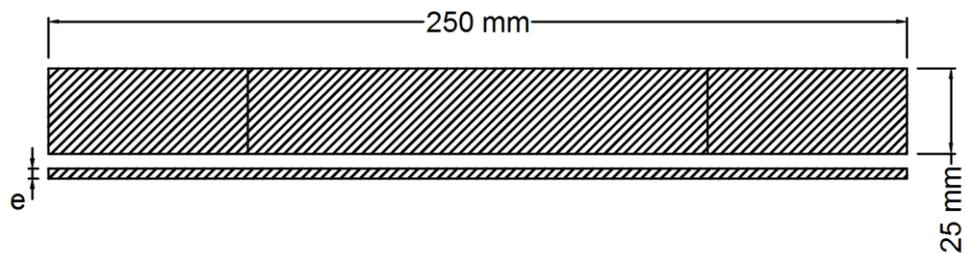
$$m = 1,3 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 3,75\text{cm}^3$$

$$m = 4,875 \text{ g/2}$$

$$m = 2,4375 \text{ g}$$

### 2.1.3.2 Dimensiones de las probetas a ensayar

Las dimensiones para el ensayo de tracción son de 250\*25\*e (mm).



**Figura 5:** Dimensiones probeta de ensayo tracción

Con estos datos se realiza las probetas con los cortes del yute en el tejido tipo Sarga y en diferentes ángulos como se indica a continuación. Se corta la fibra de yute con un ángulo de 45° y se extraen 5 probetas para el análisis de tracción del material compuesto como se indica en la figura 6.



**Figura 6:** Corte de la fibra de yute a 45° de inclinación

A continuación, se corta la fibra de yute a  $60^\circ$  de inclinación como se muestra en la figura 7, también se extraen 5 probetas que posteriormente se evalúan mediante ensayos de tracción del material compuesto.



**Figura 7:** Corte de fibra de yute a  $60^\circ$  de inclinación

Finalmente se realiza el corte de la fibra de yute a  $90^\circ$  tomando 5 probetas para el análisis de tracción del material compuesto como se muestra en la figura 8.



**Figura 8:** Corte de fibra de yute a  $90^\circ$

Después se procede a pasar la primera capa de resina epoxi con una brocha una vez terminado la primera capa se aplica en total cuatro capas y se deja curar un tiempo de 24 horas a temperatura ambiente en la siguiente figura 9 se presenta el proceso de fibrado del material compuesto obteniendo un espesor de 3 a 4 mm en cada probeta.



**Figura 9:** Proceso obtención de probeta de resina epoxi con la fibra del yute

En la tabla 6 se presentan los resultados de las probetas obtenidas para los ensayos de tracción de cada configuración obtenida en la construcción del material.

**Tabla 6:** Configuración del material biocompuesto

<b>Probetas para ensayo de tracción</b>			
<b>Angulo</b>	<b>Matriz</b>	<b>Refuerzo</b>	<b>Número probetas</b>
	<b>Resina (%)</b>	<b>Fibra Yute (%)</b>	
30°	70	30%	5
45°	70%	30%	5
90°	70%	30%	5
<b>Total probetas</b>			<b>15</b>

Las probetas fueron diseñadas bajo la norma “Método de prueba estándar para Propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica” ASTM D3039/D3039M-00 con las medidas que indican en la norma en la figura 10 se muestra la probeta de resina epóxi con fibra de yute.



**Figura 10:** Probetas para ensayo de tracción del biocompuesto

#### **2.1.4 Ensayo de tracción**

El ensayo de tracción es el más común que se realiza para obtener propiedades mecánicas de los materiales. El material es sometido a fuerzas uniaxiales que lo deforma hasta llegar al punto de fractura o rotura de la probeta.

En los materiales biocompuestos reforzados con yute el ensayo se realiza mediante la norma ASTM D3039/D3039M-00 utilizando la máquina universal de ensayos para este tipo de materiales como se indica en la figura 11.



**Figura 11:** Máquina de ensayos de tracción universal Metrotest 50KN

## **2.2 METODOLOGÍA**

Esta investigación tiene carácter cualitativo, cuantitativo y experimental, debido a que se analizará el material biocompuesto de los ensayos de tracción realizados bajo norma

y que presenta las mejores cualidades de comportamiento mecánico que servirá para el diseño tecnológico en la manufactura de carrocerías de vehículos tipo Go- Kart.

## **2.2.1 Modalidad de Investigación**

### **2.2.1.1 Investigación Bibliográfica**

Este tipo de investigación ayudará a recolectar toda la información de los estudios realizados dentro de los últimos 5 años que hayan aportado al desarrollo de los materiales biocompuestos para carrocerías de vehículos de competencia Go Kart. Además se investiga en libros que contengan información relevante sobre materiales compuestos y su aplicación en componentes de carrocerías para Go-kart, finalmente se investigara en tesis y normativas de algunos países en los que se realicen estas competencias, siempre y cuando estas normativas están bajo licencia CIK- FIA.

### **2.2.1.2 Investigación de Laboratorio**

La investigación del laboratorio es importante y punto clave para determinar las propiedades del material biocompuesto y mediante la comprobación del mejor comportamiento se procederá con el diseño de la carrocería del vehículo del Go-kart.

### **2.2.1.3 Investigación Experimental**

Es importante esta investigación pues se manipularon variables en el software de diseño y simulación para obtener un mejor diseño que tenga un adecuado comportamiento ante los esfuerzos a los que se va a someter a la carrocería del material biocompuesto obtenido de la resina epoxi con la fibra de yute.

## **2.3 Población**

Para la población de esta investigación se evalúa los ángulos de ubicación de la fibra natural de yute reforzada con resina epoxi posteriormente se determina la mejor resistencia y propiedades mecánicas del biocompuesto.

### 2.3.1 Muestra

Para el presente estudio se realiza probetas de las configuraciones volumétricas de 30% 70%, del material biocompuesto siendo distribuidas para cada ensayo 5 probetas para el ensayo de tracción bajo la norma específica para este estudio.

En la tabla 7 se presentan los parámetros a evaluar para la investigación.

**Tabla 7:** Muestras de probetas para ensayos

<b>Probetas para ensayo de tracción según norma ASTM D3039/D3039M-00</b>			
<b>Angulo</b>	<b>Fracción volumétrica</b>	<b>Tracción</b>	<b>Espesor ( mm)</b>
30°	70% resina	5	3 – 4
	30% fibra		
45°	70% resina	5	3 – 4
	30% fibra		
90°	70% resina	5	3 – 4
	30% fibra		
Número de probetas		15	

## 2.2 Operacionalización de Variables

### Variable independiente

Obtención de biocompuestos de matriz epoxi reforzado con fibra de yute.

**Tabla 8:** Variable Independiente

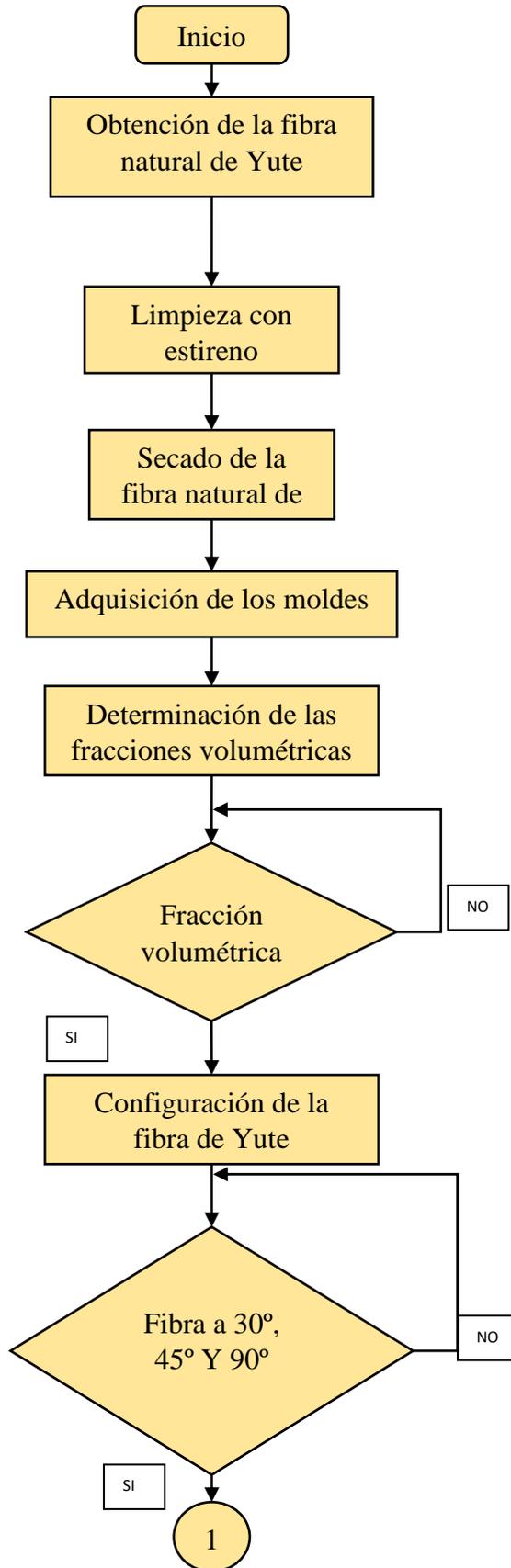
Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentos
Un material compuesto reforzado con biofibras relativamente nuevo es el denominado biocompuesto, que se obtiene utilizando dos o más clases diferentes de fibras	Material de refuerzo	Orientación fibra yute	Posición de fibra 30° 45° 90°	Experimentación Tejido sarga Graduador flexómetro
	Material compuesto	Fracción Volumétrica	30% fibra 70% resina	Experimentación Instrumentos de medida Balanza

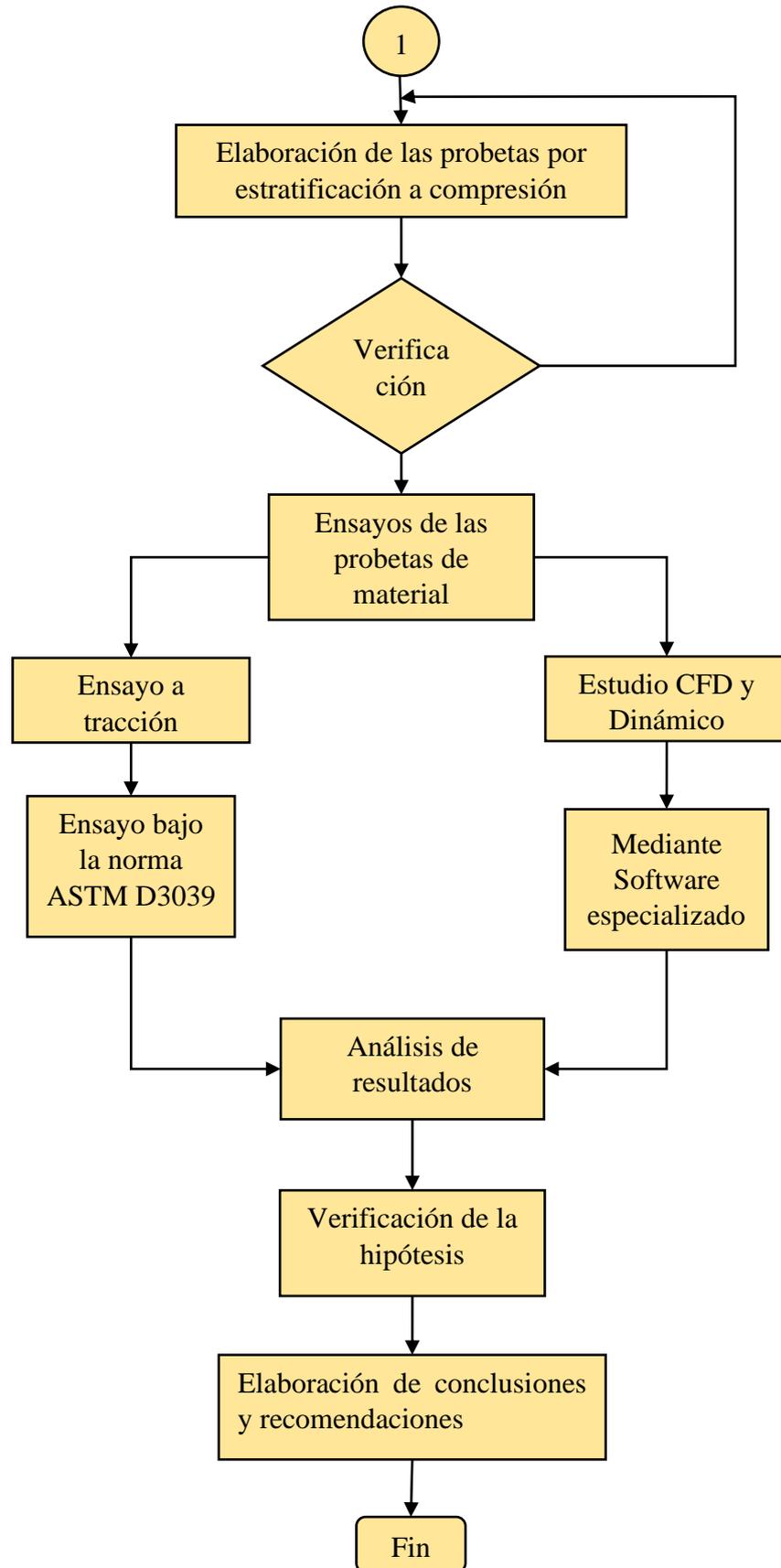
**Variable Dependiente:** propiedades mecánicas del biocompuesto

**Tabla 9:** Variable Dependiente

Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentos
Comportamiento mecánico de un material frente a la aplicación de fuerzas o cargas, que son evaluadas mediante ensayos específicos bajo normas y especificaciones técnicas de los equipos.	Tracción	Módulo de Elasticidad	1483Mpa	Observación Registro Máquina de ensayo de tracción universal Metrotest 50 KN
		Esfuerzo máximo de tracción	45,7 Mpa	
	Impacto frontal	Velocidad del objeto	10 m/s	
		Peso del objeto	2 Kg	
	Impacto lateral	Velocidad	5 m/s	Simulación Software MEF y CFD Ansys LS-Dyna CFD
		Angulo	7, 4°	
	Impacto posterior	Radio de giro	20,45 m	
		Velocidad del vehículo	5 m/s	
Resistencia aerodinámica	Velocidad del aire	12,07 m/s		
	Presión			

### 2.3.2 Diagrama Metodológico





**Figura 12:** Flujograma general para el diseño

### 2.3.3 Carrocería del vehículo Go-Karts

La carrocería del Go-kart consta de 5 piezas conocidas como frontal, dos cubiertas laterales y el respaldo ver figura 13, además tiene una cubierta de la dirección estos elementos tienen funciones importantes: reducir la carga aerodinámicas, contiene varios elementos eléctricos y de alguna manera protege al piloto.



**Figura 13:** Modelos de carrocería go- Kart

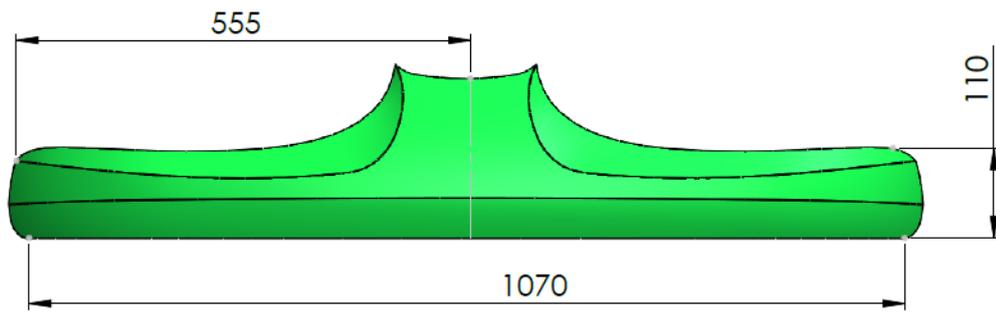
#### 2.3.3.1 Diseño del frontal del Go-Kart

El diseño del frontal del Go kart marca el inicio del proceso de manufactura mediante el uso de sistemas CAD-CAE mediante estos programas se reduce el tiempo y gastos en los materiales que intervienen pues se obtiene la cantidad exacta dando valores muy cercanos a la realidad garantizando el comportamiento mecánico del material con el que se va realizar el diseño del frontal del vehículo go-kart.

Para el diseño del frontal del go-kart se toma como referencia los modelos ya establecidos en la norma de construcción de RFEDA (Reglamento Técnico Nacional Aplicable a todos los Campeonatos Copas, Trofeos y Challenges de España de Karting019), donde el bastidor cumple con las medidas establecidas donde será montada la carrocería frontal del vehículo.

#### 2.3.3.2 Modelado carenado frontal

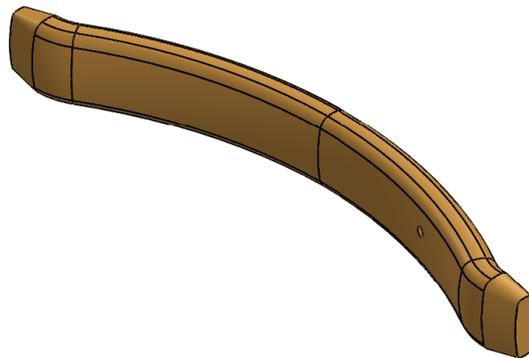
Por facilidad de trabajo y manejo de programa se realiza en el modelo CAD aplicando técnicas de dibujo y con las medidas establecidas en la norma se establece el siguiente modelo mostrado en la figura 14.



**Figura 14:** Modelo frontal del vehículo

### 2.3.3.3 Modelado carenado posterior

El posterior o parte trasera del vehículo también se realiza el Cad como se muestra en la figura 15, y se diseña el modelo en tipo superficie esto por facilidad en el análisis de simulación de la resistencia del material biocompuesto.



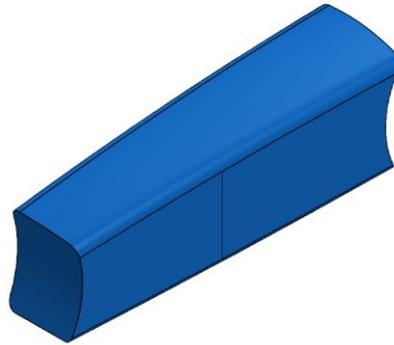
**Figura 15:** Modelo 3D carenado posterior del vehículo

### 2.3.3.4 Modelado carenado lateral

También se ha diseñado para este vehículo los laterales que principalmente protegen al conductor del vehículo en caso de un impacto lateral pero además de garantizar esta seguridad, con este sistema se consigue transmitir los choques al chasis sin importar la dirección en la que se produzcan.

Además, se consigue proteger las ruedas para evitar que el Go- kart se levante del suelo y se ha enfocado el diseño en un modelo llamativo para uso y disfrute en un ámbito recreativo y no solo de competición, como se indica en la figura 16, el modelo obtenido mediante el programa CAD en base a estructuras existentes en el mercado pues con el

nuevo material obtendremos propiedades mecánicas que garanticen que el material resiste a los impactos producidos durante el funcionamiento del vehículo.



**Figura 16:** Modelo 3D carenado Lateral del vehículo

### **2.3.3.5 Modelado cubierto de la dirección**

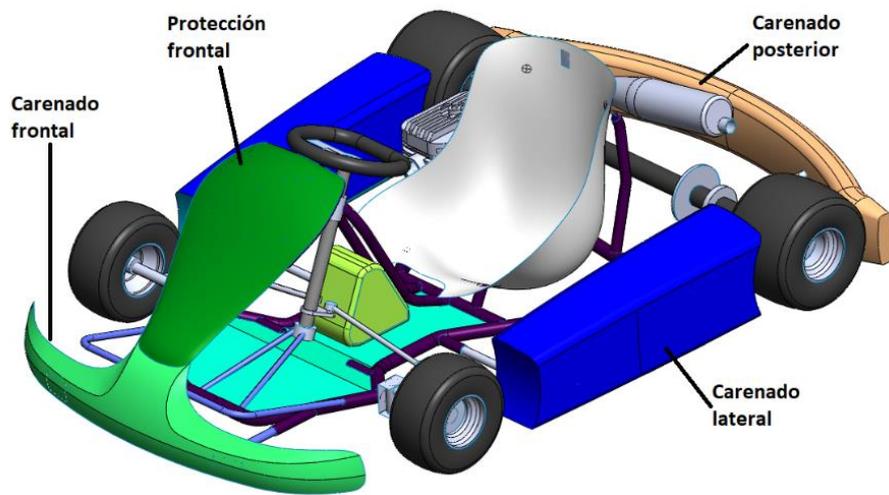
Finalmente, el último modelo de la carrocería es la cubierta de la dirección que también cumple la función de proteger los elementos que conforma la dirección y además proteger al conductor de producirse un impacto lateral, el objetivo de toda la carrocería es brindar seguridad al conductor en la siguiente figura 17 se presenta el diseño final obtenido el programa Cad.



**Figura 17:** Modelo 3D cubierta de la dirección del vehículo

### **2.3.3.6 Ensamble de la carrocería en el bastidor del vehículo**

Con los elementos que conforman la carrocería se procede a ensamblar en el bastidor del vehículo para proceder con la simulación de resistencia del material biocompuesto obtenido de resina epoxi con fibra de yute en la figura 18 se presenta el vehículo completo.



**Figura 18:** Ensamble del bastidor con la carrocería

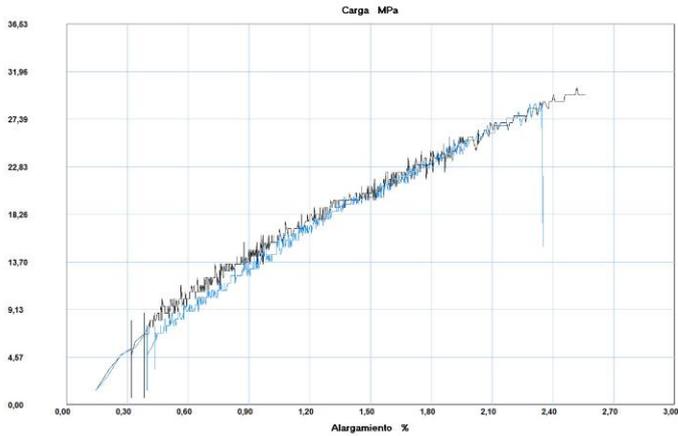
## **CAPÍTULO III**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

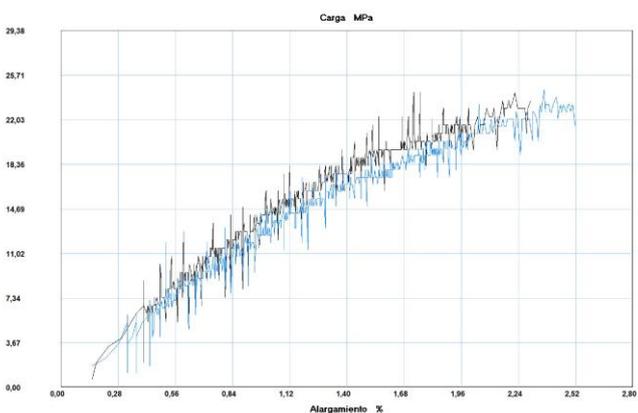
#### **3.1 Análisis de los ensayos de tracción del material biocompuesto**

En este capítulo se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en el centro de fomento metalmecánico carroceros de la provincia de Tungurahua de las probetas obtenidas de resina epoxi con fibras de yute utilizando la máquina universal de ensayos MTE-50 y aplicando la norma ASTM-D3039 las dimensiones de las probetas fueron 250x25x e mm elaborados utilizando fracciones volumétricas de 70% matriz y 30% Refuerzo como se indica en el anexo 1.

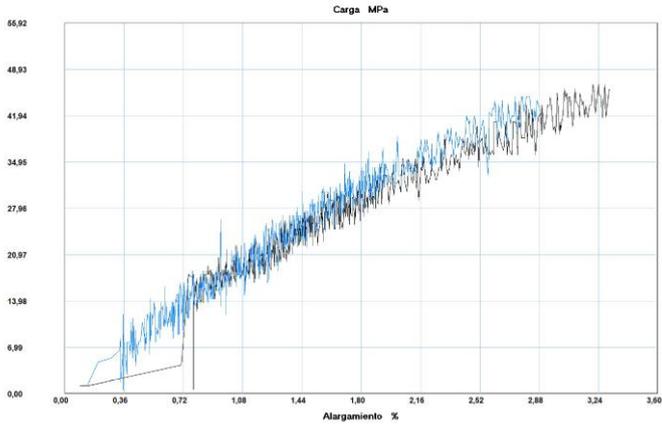
**Tabla 10:** Análisis probetas a 30°

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
	<b>Maestría:</b> Mecánica <b>Mención:</b> Manufactura					
	<b>Tipo de estudio:</b>	Probeta compuesta				
	<b>Tipo de prueba:</b>	Ensayo de tracción de materiales				
<b>Información del ensayo</b>						
Fecha:	14/12/2020	Revisión: 01	Pág. 1 de 3			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Norma:	ASTM D3039/D3039M-17 Prueba estándar ensayos de tracción					
Dimensiones:	Según norma especificada					
Equipo:	Máquina Universal ensayos de tracción					
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>						
Probetas	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación
1	21,06	3,51	30,44	1188,60	3,073	2,561
2	21,04	3,46	28,85	1230,58	2,813	2,344
3	21,1	3,5	29,6	1209,6	2,9	2,5
4	21,0	3,5	29,6	1209,6	2,9	2,5
5	21,0	3,5	29,4	1216,6	2,9	2,4
<b>Promedio</b>	21,06	3,51	29,642	1209,589	2,943	2,453
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>						
						
<b>OBSERVACIONES:</b>						
Realizado bajo la ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.						
	<b>Registrado por:</b>	<b>Realizado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>			
<b>Nombre</b>	Ing. Jairo Naranjo	Ing. Fernando Tiban	Ing. Mario Lara			
<b>Cargo</b>	Investigador	Centro fomento carrocero	Director tesis			
<b>Fecha:</b>	08/12/2020	14/12/2020	15/04/2021			

**Tabla 11:** Análisis de probetas a 45°

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
	<b>Maestría : Mecánica Mención: Manufactura</b>					
	<b>Tipo de estudio:</b>	Probeta compuesto				
	<b>Tipo de prueba:</b>	Ensayo de tracción de materiales				
<b>Información del ensayo</b>						
Fecha:	14/12/2020	Revisión: 01	Pág. 2 de 3			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Norma:	ASTM D3039/D3039M-17 Prueba estándar ensayos de tracción					
Dimensiones:	Según norma especificada					
Equipo:	Máquina Universal ensayos de tracción					
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>						
Probetas	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación
6	21,09	3,51	24,32	1057,21	2,760	2,300
7	21,36	3,92	24,48	975,42	3,012	2,510
8	21,225	3,715	24,399	1016,31	2,886	2,405
9	21,29	3,817	24,44	995,869	2,949	2,45
10	21,25	3,766	24,420	1006,09	2,9175	2,431
<b>Promedio</b>	<b>21,09</b>	<b>3,51</b>	<b>24,412</b>	<b>1010,182</b>	<b>2,905</b>	<b>2,421</b>
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>						
						
<b>OBSERVACIONES:</b>						
Todas las probetas se realizaron según la norma ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.						
	<b>Registrado por:</b>	<b>Realizado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>			
<b>Nombre</b>	Ing. Jairo Naranjo	Ing. Fernando Tiban	Ing. Mario Lara			
<b>Cargo</b>	Investigador	Centro fomento carrocero	Director tesis			
<b>Fecha:</b>	08/12/2020	14/12/2020	15/04/2021			

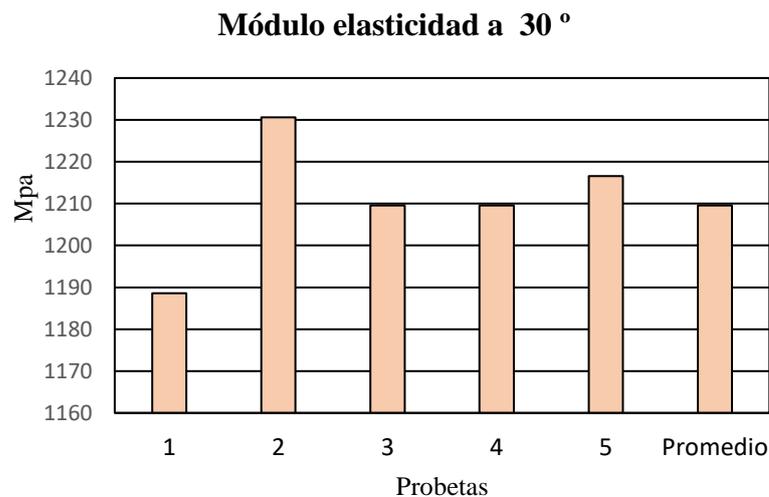
**Tabla 12:** Análisis de probetas a 90°

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
	<b>Maestría:</b> Mecánica <b>Mención:</b> Manufactura					
	<b>Tipo de estudio:</b>	Probeta compuesta				
	<b>Tipo de prueba:</b>	Ensayo de tracción de materiales				
<b>Información del ensayo</b>						
Fecha:	14/12/2020	Revisión: 01	Pág. 3 de 3			
Laboratorio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
Norma:	ASTM D3039/D3039M-17 Prueba estándar ensayos de tracción					
Dimensiones:	Según norma especificada					
Equipo:	Máquina Universal ensayos de tracción					
<b>RESULTADO DEL ENSAYO</b>						
Probetas	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Esfuerzo máximo (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Desplazamiento (mm)	% Elongación
11	20,58	3,91	46,60	1415,77	3,950	3,292
12	21,06	3,97	44,85	1550,19	3,47	2,893
13	20,82	3,94	45,727	1482,97	3,71	3,0925
14	20,94	3,955	45,289	1516,58	3,59	2,967
15	20,88	3,9475	45,508	1499,78	3,65	3,043
<b>Promedio</b>	20,58	3,91	45,596	1493,060	3,675	3,063
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>						
						
<b>OBSERVACIONES:</b>						
Realizado bajo la norma ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.						
	<b>Registrado por:</b>	<b>Realizado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>			
<b>Nombre</b>	Ing. Jairo Naranjo	Ing. Fernando Tiban	Ing. Mario Lara			
<b>Cargo</b>	Investigador	Centro fomento carrocero	Director tesis			
<b>Fecha:</b>	08/12/2020	14/12/2020	15/04/2021			

### 3.1.1.1 Análisis de los resultados del ensayo a tracción

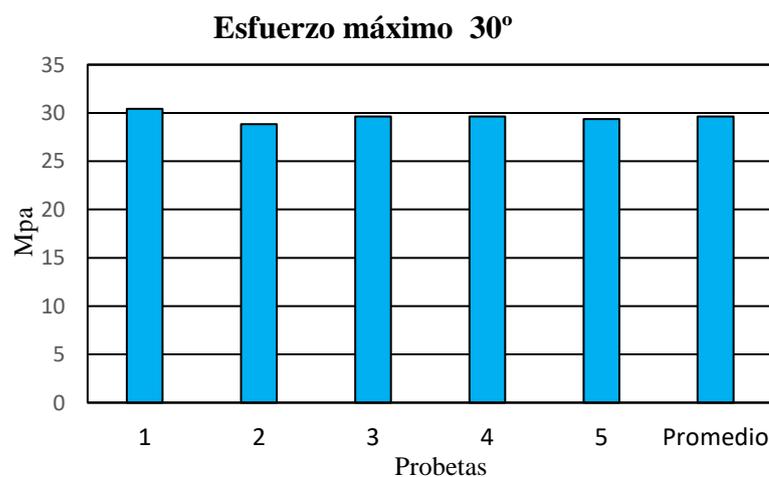
- Ensayo de tracción a 30° de fibra de yute

El módulo de elasticidad promedio en el ensayo de tracción a 30° de inclinación de la fibra de yute es de 1210 Mpa, los valores de cada probeta son mostrados en la siguiente figura 19.



**Figura 19:** Módulo elasticidad a 30°

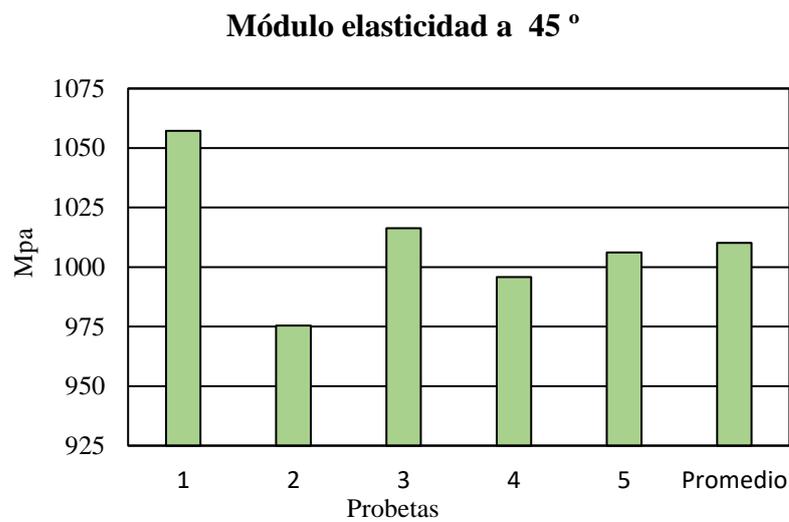
En la figura 20 se muestra los esfuerzos máximos producidos en las probetas con inclinación de la fibra de yute a 30° obteniéndose un promedio 29,65 Mpa.



**Figura 20:** Esfuerzo de tracción a 30°

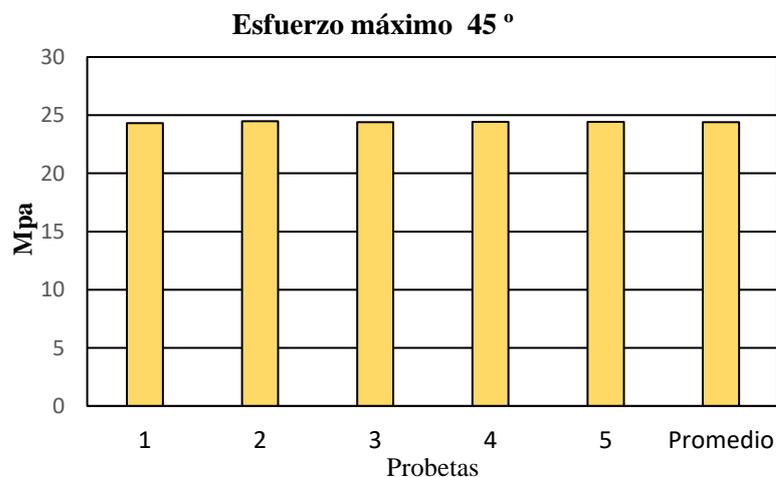
- Ensayo de tracción a 45° de fibra de yute

Así mismo se obtiene los valores de esfuerzo máximos y el módulo de elasticidad del material que es necesario para poder ingresar las propiedades del biocompuesto para las simulaciones de resistencia en la figura 21 se presenta el módulo de elasticidad promedio con un valor de 1090 MPa.



**Figura 21:** Módulo de elasticidad a 45°

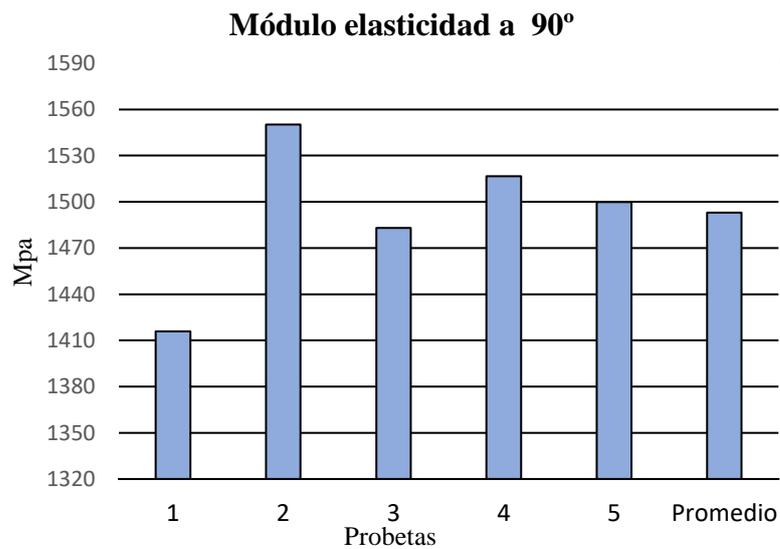
El esfuerzo generado en el ensayo de tracción de las 5 probetas se muestra en la figura 22 obteniendo un promedio de 24,61 MPa estos valores son similares en este análisis



**Figura 22:** Esfuerzo de tracción a 45°

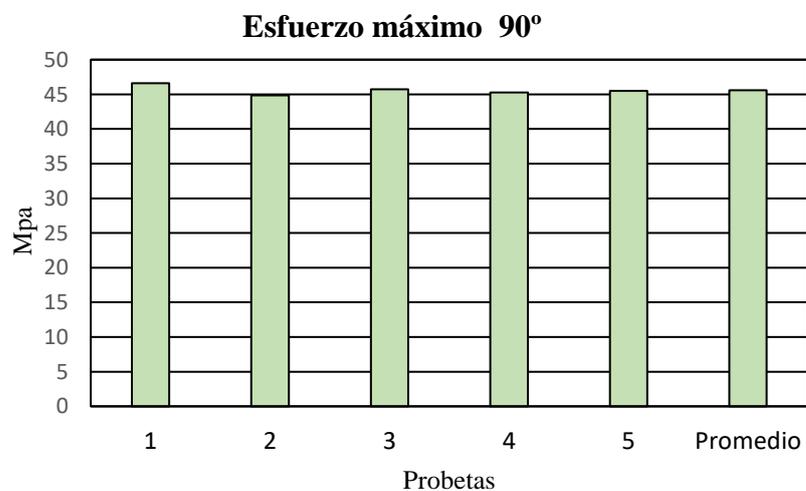
- Ensayo de tracción a 90° de ubicación de fibra de yute

Finalmente se realiza el ensayo de tracción con la posición de la fibra de yute a 90° se analiza los parámetros del módulo de elasticidad y el esfuerzo máximo que resiste la probeta durante la aplicación de la carga en la figura 23 se presenta el módulo de elasticidad promedio de 1493 MPa.



**Figura 23:** Módulo de elasticidad a 90°

El esfuerzo máximo obtenido en las probetas con el ángulo a 90° es de 45,96 Mpa, para este ensayo tanto el esfuerzo como el módulo de elasticidad presentan el mejor comportamiento y mejores propiedades mecánicas en el ensayo.

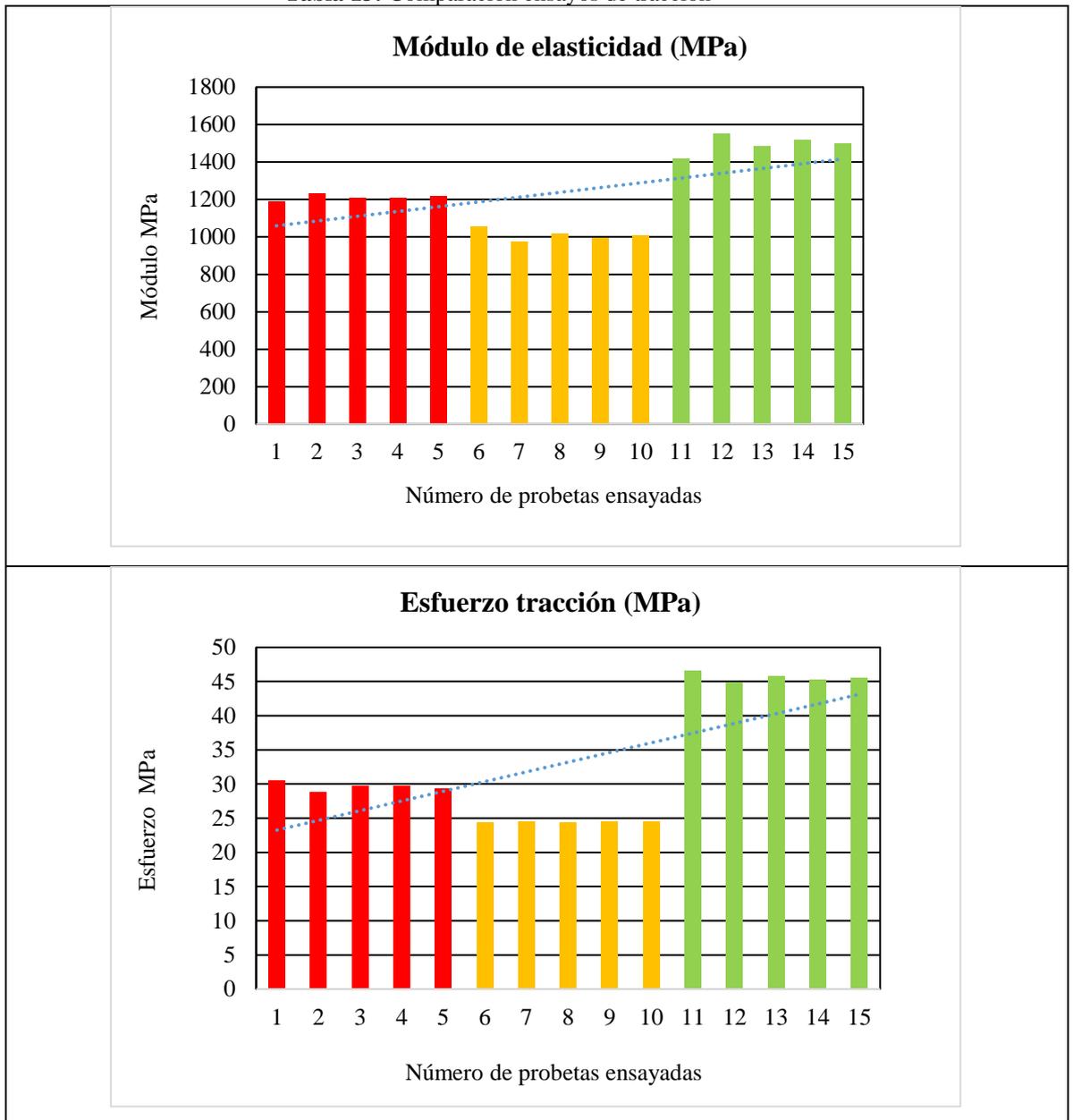


**Figura 24:** Esfuerzo tracción a 90°

### 3.1.1.2 Comprobación de la mejor configuración según ensayos de tracción

En la tabla 13 se presenta el resumen de todos los ensayos realizados a diferentes configuraciones donde se obtienen las mejores propiedades mecánicas.

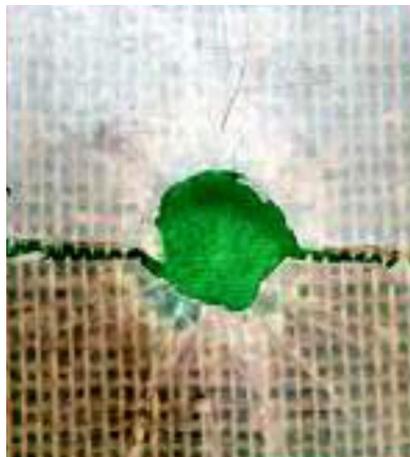
**Tabla 13:** Comparación ensayos de tracción



Las gráficas de barras de las propiedades del ensayo a tracción muestran los valores verifican que los mejores datos se presentan los ensayos de tracción en probetas a 90° de fibra de yute con resina epoxi con la configuración volumétrica 30% fibra de yute y 70% resina epoxi siendo los valores máximos de 45,73 MPa para el esfuerzo a tracción y el Módulo de elasticidad es de 1550,19 MPa.

### 3.1.2 Prueba de Impacto

También es necesario evaluar la resistencia de impacto de la fibra de yute con la resina epoxi por lo que se toma como referencia bibliográfica el estudio realizado Revista de Operaciones Tecnológicas en el mes de junio 2018 [29]. La norma utilizada es la siguiente “Método de prueba estándar para medir la resistencia al daño de un compuesto de matriz de polímero reforzado con fibra a un evento de impacto de caída de dardo ver figura 25 [30]



**Figura 25:** Probeta luego del ensayo de impacto

En la tabla 14, se presenta los valores de la fibra de yute con resina epoxi de acuerdo a las capas aplicas para las diferentes configuraciones [30].

**Tabla 14:** Análisis de impacto probetas de yute [30]

Probetas	Altura / Energía				
	100 cm	80 cm	60 cm	40 cm	20cm
13	9,81 J	7,48 J	5,86 J	3,92 J	1,96l J
9					

Estos valores sirven para el análisis en el programa Ansys/Ls Dyna research y se verifica la resistencia a impacto de la carrocería del Go-kart.

### 3.1.3 Propiedades del material compuesto para la simulación

Después de obtener las propiedades del material servirá para la simulación pues es un material Isotrópico debido a que toda unión de fibras y resina epoxi se consideran

materiales con una configuración molecularmente uniformes, según estudios realizado en el laboratorio de materiales compuestos de la Universidad de Stuttgart Alemania publicado en Introduction to Process and Mechanical Modelling of Engineering Composites.

Por esta razón se utilizará un modelamiento matemático de material por partes de tipo lineal y plástico a la vez para representar la deformación unitaria máxima y esfuerzo último a la tracción del material utilizando un método explícito de elementos finitos la tabla 15 muestra las propiedades de materiales necesarios para realizar la simulación.

**Tabla 15:** Principales propiedades para simulación de resistencia

Propiedades mecánicas del material compuesto para simulación		
Característica	Valor	Observación
Densidad	2600 kg/m <sup>3</sup>	
Módulo de elasticidad	1483 MPa	Informe de ensayo
Radio de Poisson	0.25	
Deformación unitaria	0.03	% alargamiento
Esfuerzo a la tracción	45.96 MPa	

### 3.1.3.1 Propiedades del Acero estructural ASTM A 500 grado A

Este material se aplica principalmente en tubería estructural redonda del vehículo en este caso en la estructura del bastidor al igual que el material anterior se utiliza para realizar la simulación de resistencia de la carrocería del vehículo. En la tabla 16 se presenta las principales propiedades mecánicas del material [31]

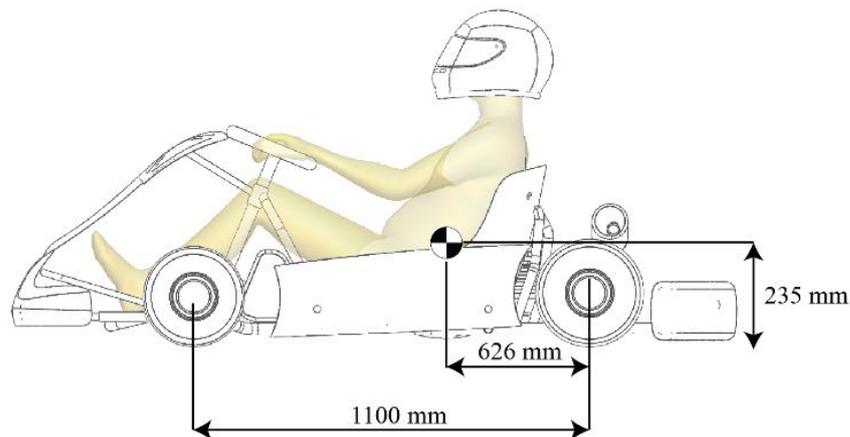
**Tabla 16:** Principales propiedades ASTM A-500 [31]

<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Densidad	7800 kg/m <sup>3</sup>
Módulo de elasticidad	200 GPa
Radio de Poisson	0.3
Deformación unitaria	0.25
Esfuerzo máximo a la tracción	310 MPa

### 3.1.4 Cálculo del centro de gravedad del go kart

El centro de gravedad (CG) de un vehículo se determina por el sitio exacto en donde se encuentra la totalidad del peso del vehículo, a través de este punto específico el vehículo es atraído hacia el centro de la tierra por lo que es importante determinar donde está ubicado el centro de gravedad del vehículo pues influye directamente en el comportamiento dinámico del vehículo que debe ser tomado en cuenta al momento de diseñar el Go-kart [32]

Es ideal que el centro de gravedad se encuentre lo más cercano al punto medio de la distancia entre los ejes para determinar estos parámetros de nuestro modelo de Go kart se realizó con el programa de diseño CAD que nos muestra el centro de gravedad y se indica en la figura 26.

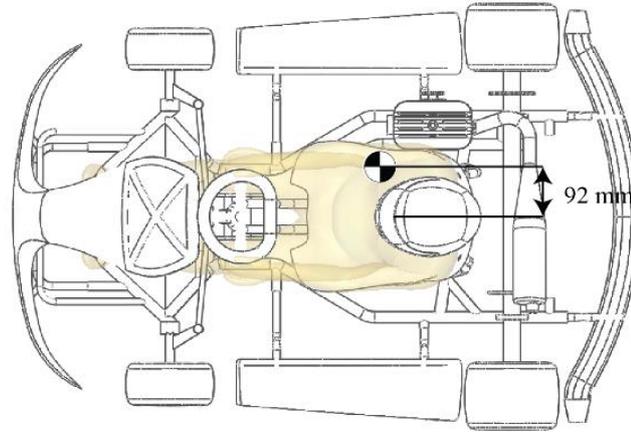


**Figura 26:** Ubicación del CG vista lateral del vehículo

En el diseño de la carrocería del vehículo Go-kart se agrega los neumáticos, el bastidor, tanque de combustible, asiento y el conductor del vehículo en la norma técnica 1323 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES CARROCERÍAS DE BUSES Y REQUISITOS 2015”. Se establecen los parámetros de diseño y fabricación de autobuses el peso del conductor es de 70 a 75 kilogramos, mientras que el peso total del vehículo es de 154 Kg que está dentro del peso permitido por la norma internacional de fabricación de kart CIK/FIA.

En la siguiente figura 27, se muestra el (CG) del Go-kart desde la vista superior del vehículo y del conductor que debe ir asociada directamente con parámetros de

ergonomía y que contribuya a un óptimo funcionamiento en condiciones aerodinámicas.



**Figura 27:** Ubicación del CG vista superior del vehículo

### **3.1.5 Análisis de la resistencia de la carrocería mediante el método de elementos finitos**

El método de elementos finitos permite determinar la resistencia de la estructura de cada elemento que conforma el Go-kart en diferentes condiciones de velocidad, fuerza o impacto que presenta el vehículo durante su funcionamiento, esto permite diseñar y optimizar la estructura de la carrocería con el material biocompuesto de fibra de yute y resina epóxi.

Para realizar el análisis de resistencia de la carrocería del vehículo con el chasis y demás elementos del vehículo se utilizó el software Ansys/Ls Dyna reseach, definiendo variables en el preprocesamiento como geometría, discretización modelada y en el post procesamiento evaluar los esfuerzos deformaciones enfocados en el material.

### **3.1.6 Condiciones de simulación**

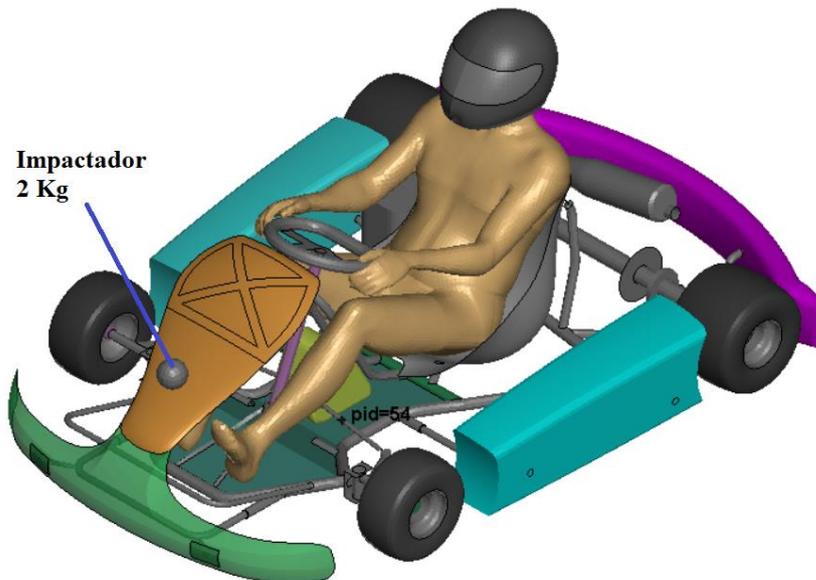
#### **3.1.6.1 Simulación de impacto de una esfera con el frontal de la carrocería**

Para el ensayo de impacto se propone 4 simulaciones como se indica en la tabla 17, y se impacta con un objeto esférico en la parte frontal, inferior, lateral y central.

**Tabla 17:** Condiciones del impactador tipo esfera

<b>Condiciones de simulación</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Velocidad del objeto	10 m/s
Radio de objeto	40 mm
Peso del objeto	2 kg
Altura desde el suelo primera simulación	381 mm
Altura desde el suelo segunda simulación	128 mm
Altura desde el suelo tercera simulación	81 mm

En la siguiente figura 28, se presenta la esfera en la posición superior que es donde va impactar frontalmente el vehículo permanecerá estático mientras la esfera se moverá a 10m/s con un peso de 2 kg con una altura medida desde el piso de 381 mm.



**Figura 28:** Impactador 2 kg para simulación

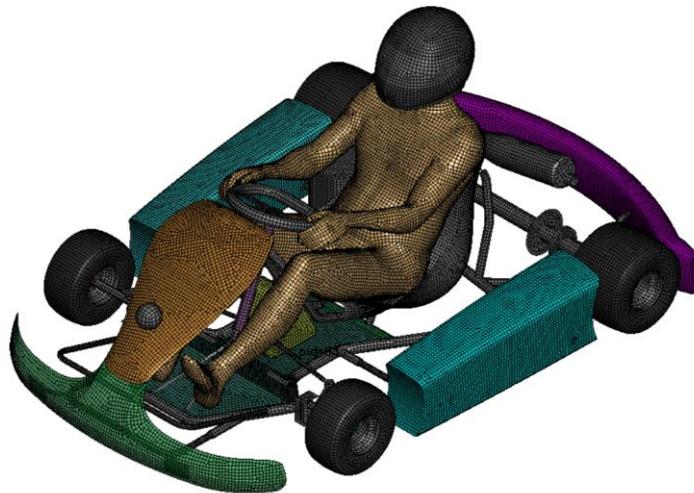
Además, se utiliza el conductor como un dummy( maniquí humano para simulación) sentado que ayudará a obtener valores más cercanos a la realidad mediante la simulación de impacto en la figura 29 se presente el piloto con dimensiones generales y un percentil de 95 y peso de 70 kg según la norma NTE RTE 1323 “VEHÍCULOS AUTOMOTORES. CARROCERÍAS DE BUSES Y REQUISITOS”.



**Figura 29:** Piloto con peso de 70 Kg para simulación

### **3.1.6.2 Mallado de componentes del vehículo**

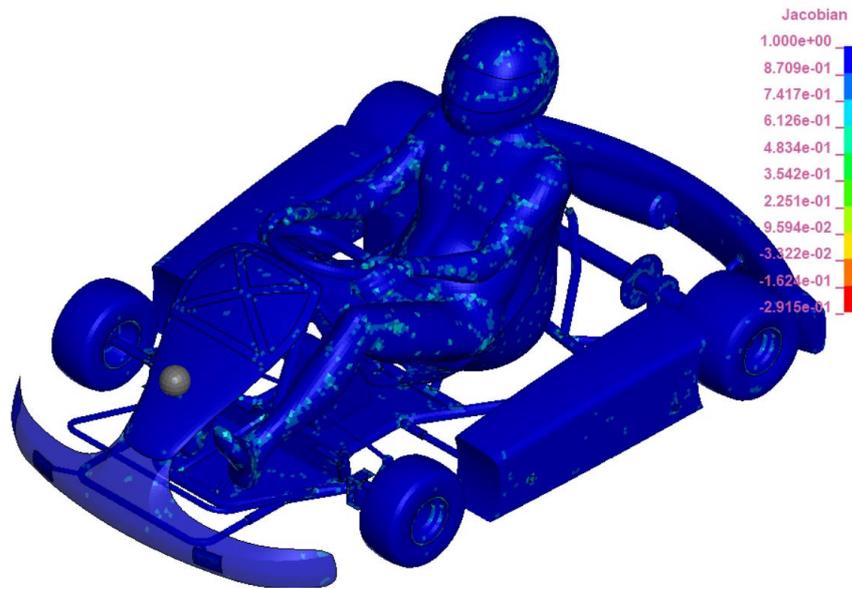
Para continuar con la simulación es importante definir el tamaño del elemento a mallar pues de estas condiciones dependerá los resultados de resistencia que se obtenga del material en la figura 30, se presenta el tamaño de malla de 10mm con el tipo de elemento shell 2D.



**Figura 30:** Mallado del modelo a simular

### **3.1.6.3 Verificación de calidad de malla**

Todo el modelo fue mallado con elementos cuadriláteros tipo shell la malla está compuesta por 96882 elementos y 94747 nodos, la calidad de malla se evaluó bajo la relación de aspecto y el jacobiano que es el más recomendado para este tipo de análisis en la figura 31 se presenta los valores obtenidos en el mallado del vehículo.

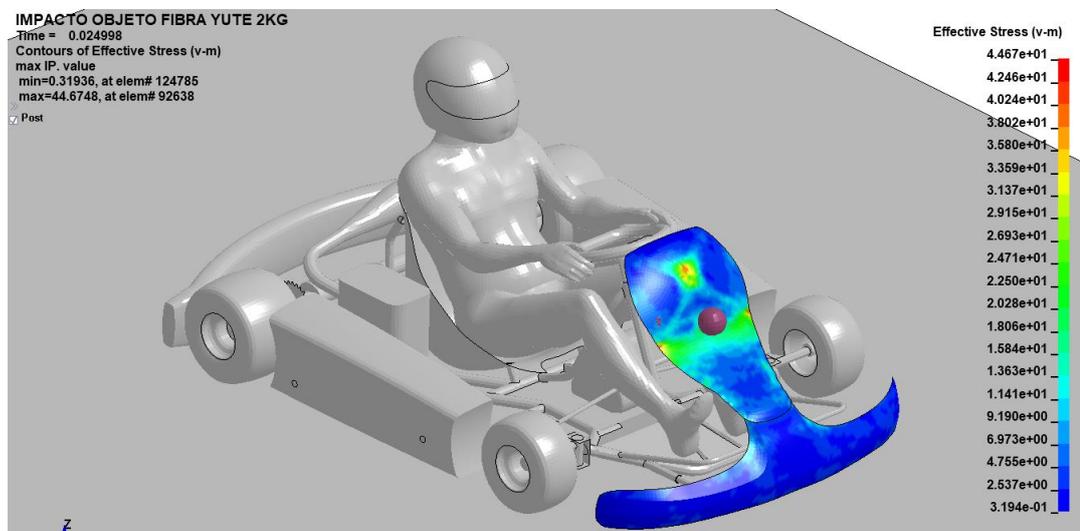


**Figura 31:** Jacobiano y calidad de malla

Como se observa en la figura 31 la mayor parte de los elementos es de color azul que demuestran que se tiene una buena calidad de malla que garantice los resultados obtenidos durante el tiempo de simulación del impacto.

### 3.1.7 Análisis de resultados de la simulación

Para la simulación del impacto frontal se realiza con una esfera de 2 kg la cual impacta en el carenado frontal obteniendo el esfuerzo de 44,67 Mpa como se muestra en la figura 32, este esfuerzo no supera el esfuerzo de los ensayos que es de 45,73 Mpa.



**Figura 32:** Esfuerzo en el carenado frontal posición 1

Ahora se realiza la simulación con la esfera en la posición 2 a una altura de 128 mm medido desde el piso la figura 33, muestra los esfuerzos producidos durante el impacto de la esfera de 2 kg de peso, y se obtiene un esfuerzo máximo de 35,86 Mpa que es inferior a los resultados obtenidos en los ensayos de tracción en probetas a 90°.

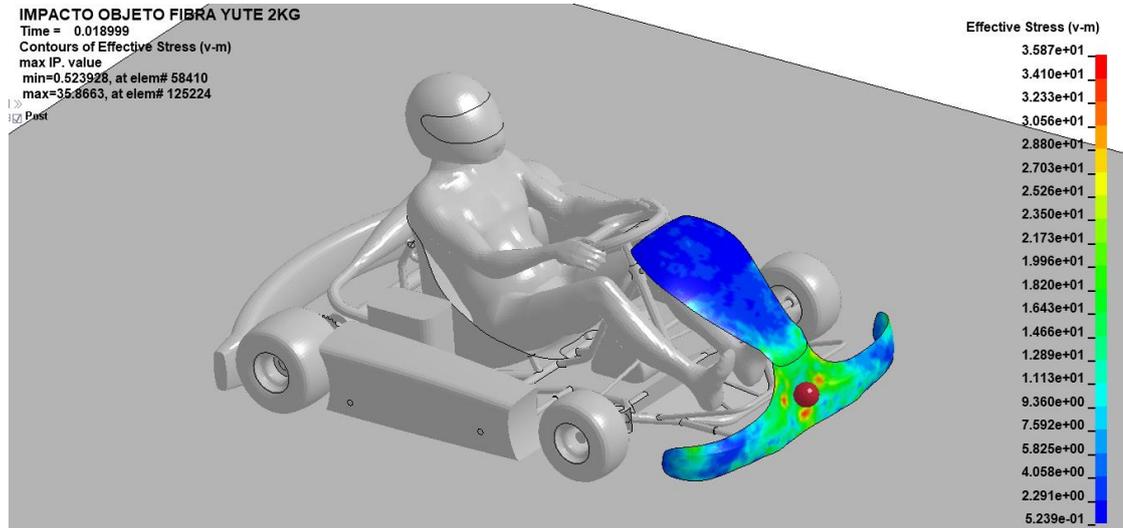


Figura 33: Esfuerzos en el carenado frontal posición 2

Finalmente se realiza la simulación con el impactador en la parte lateral izquierda como se presenta en la figura 34, donde el esfuerzo máximo es de 35,51 Mpa y el valor máximo del desplazamiento es de 72 mm no se presenta rotura ni fallas del material compuesto cabe indicar que los espesores de los carenados son de 2 mm.

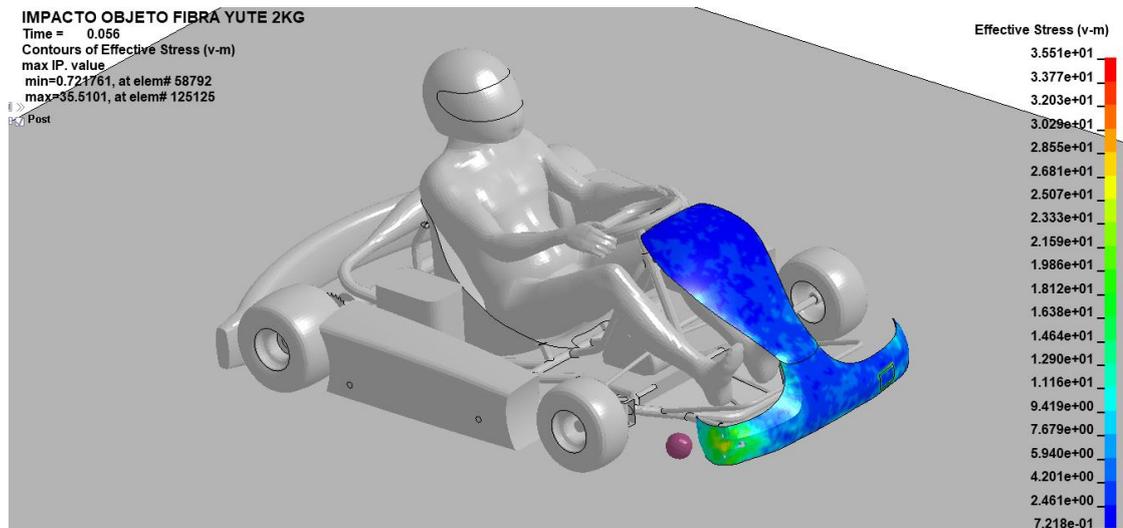


Figura 34: Esfuerzos en el carenado frontal lateral izquierdo

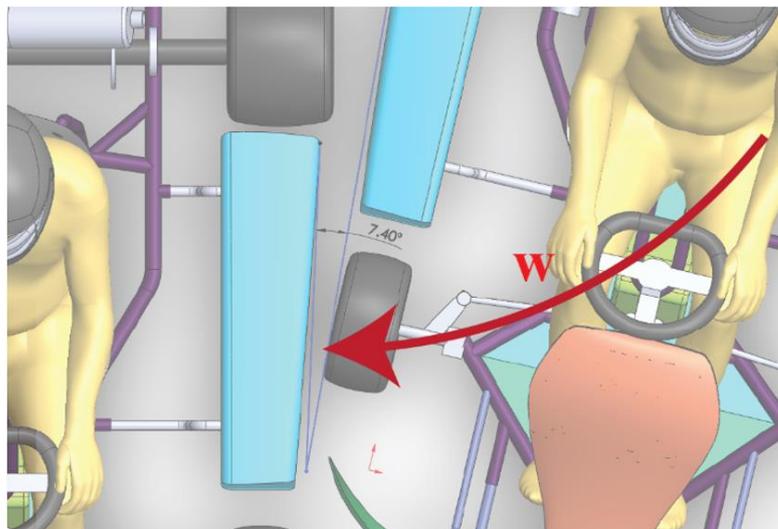
### 3.1.8 Simulación del impacto lateral entre dos Go-kart

Se propone simular la resistencia de los carenados laterales fabricados con el material biocompuesto para ello se duplica el vehículo para que el segundo vehículo impacte lateralmente con una velocidad de 5 m/s al primer vehículo en la tabla 18, se presenta las condiciones para la simulación lateral.

**Tabla 18:** Condiciones para simular el impacto lateral

<b>Condiciones de simulación</b>	
<b>Característica</b>	<b>Valor</b>
Velocidad lineal del vehículo	5 m/s
Radio de giro del vehículo	20.45 m
Ángulo de impacto	7.4°
Velocidad angular	0.24 rad/s

Se determina el radio de giro en función de la velocidad por el radio de la curva esto va depender mientras más cerrada la curva menor radio y mayor rapidez con que circule a través de la misma por lo tanto tendrá una mayor aceleración para la simulación se determina el radio de giro de 20,45 m y el ángulo de impacto de 7, 4° en la figura 35 se presenta el esquema del vehículo.



**Figura 35:** Radio de giro y ángulo de impacto del vehículo

La calidad de malla y el tamaño del elemento es el mismo pues las condiciones de borden son similares ya que se impacta el vehículo para determinar la resistencia del carenado lateral.

La figura 36, presenta la ubicación de los vehículos para la simulación el vehículo a, permanece estático sin movimiento y el vehículo b, se desplaza impactando con el carenado lateral del vehículo a.

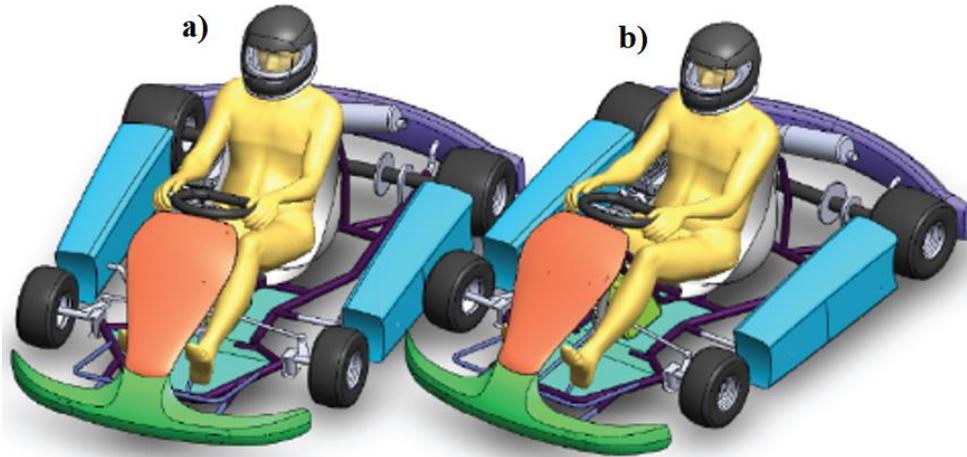


Figura 36: Vehículos para impacto lateral

### 3.1.8.1 Análisis de resultado del impacto lateral

El esfuerzo máximo producido durante el impacto lateral se presenta en la figura 37 donde el valor del esfuerzo es de 38,76 Mpa y mientras el vehículo sigue avanzando llega a fallar el material biocompuesto durante el tiempo que dura el análisis de la simulación.

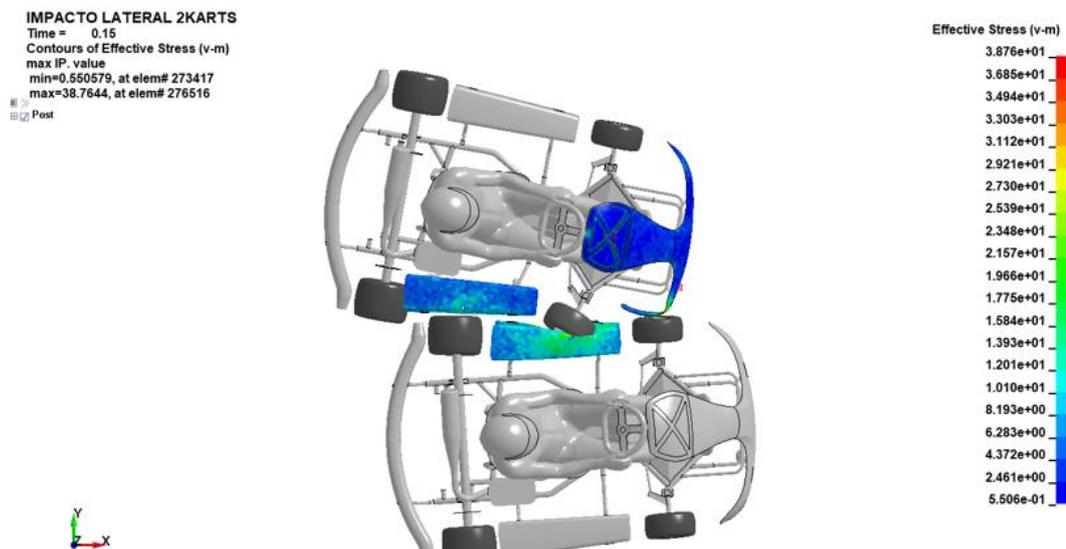


Figura 37: Simulación impacto lateral

En la Figura 38 se observa el impacto lateral entre los dos vehículos donde se comprueba que el esfuerzo máximo es de 39,15 Mpa.

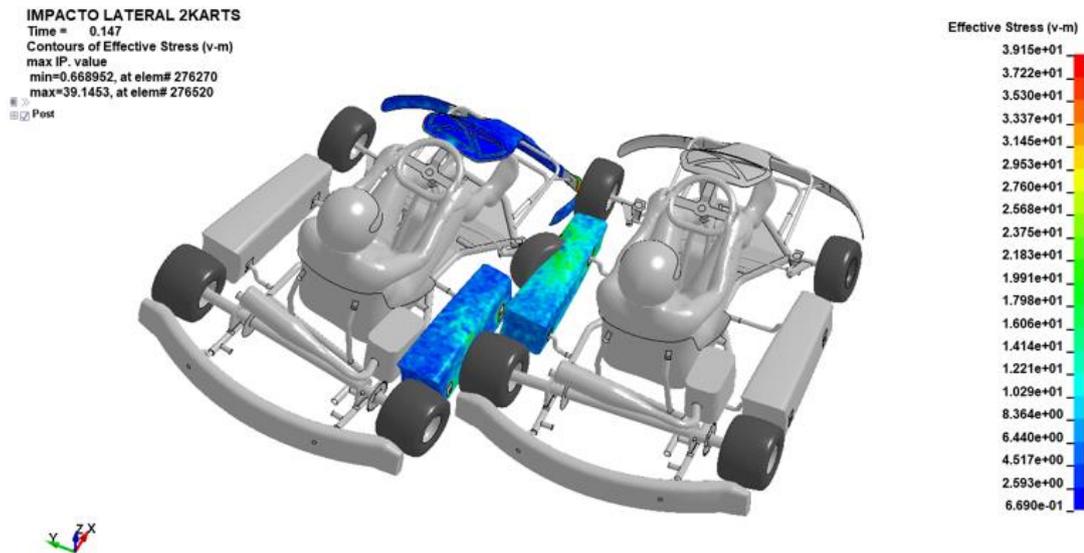


Figura 38: Impacto lateral vista 3D

### 3.1.8.2 Impacto posterior entre dos karts

Se procede con la simulación de impacto de los dos Go- kart colocando el vehículo en la parte posterior para que se impacte con el vehículo que está en reposo y se mantiene las condiciones para la simulación con la velocidad de 5 m/s. En la figura 39 está presente el esquema para la simulación de impacto posterior y de esta forma comprobamos la resistencia de los carenados frontal y posterior durante el tiempo de análisis que es de 0,15s.

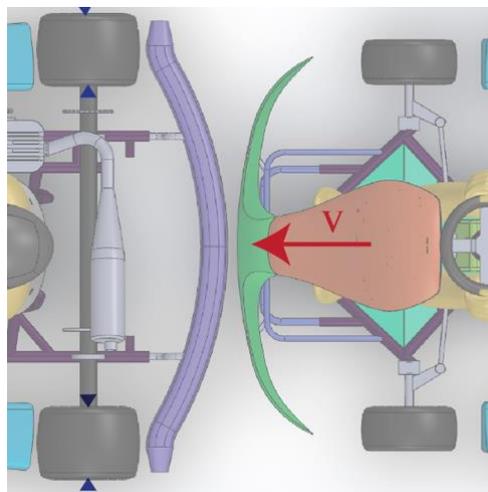
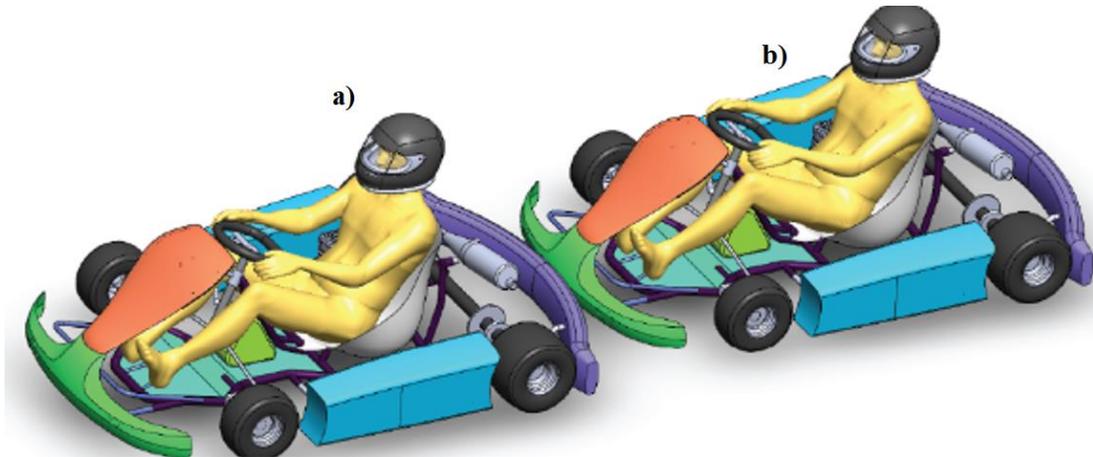


Figura 39: Esquema de simulación posterior

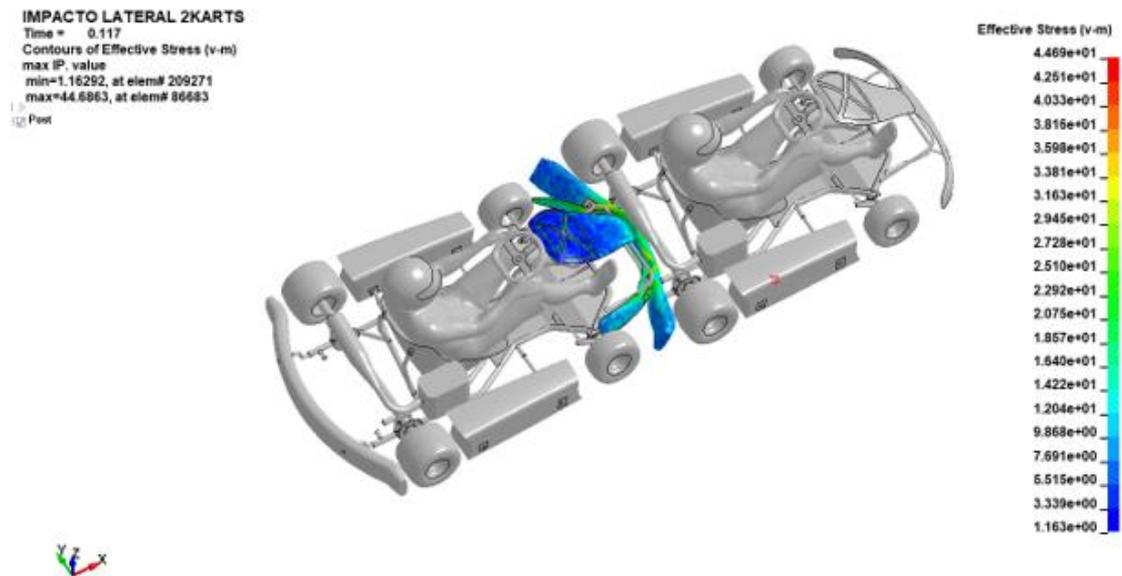
En la figura 40 se muestra la ubicación 3D de los dos vehículos que se impactan esto ayuda a determinar qué zona es crítica al momento del impacto, la carrocería debe resistir a cargas estáticas y dinámicas con la finalidad de no sufrir deformaciones exageradas que pongan en peligro la seguridad del piloto.



**Figura 40:** Ubicación 3D de los vehículos para impactar

### 3.1.9 Análisis de resultados impacto posterior

De acuerdo a los valores arrojados en la simulación de impacto posterior el esfuerzo máximo experimenta un valor de 44,89 MPa después de impactar se deforma considerablemente el carenado posterior, en la figura 41 se observa el comportamiento de los carenados.



**Figura 41:** Esfuerzos impacto posterior

En la figura 42 se presenta la vista superior y se observa el comportamiento de los carenados durante el impacto y se evaluó el comportamiento de los carenados frontal y posterior donde el esfuerzo máximo obtenido en los elementos de análisis no sobrepasa el esfuerzo de 45,76 Mpa obtenido en los ensayos de tracción a 90° de ubicación de la fibra de yute.

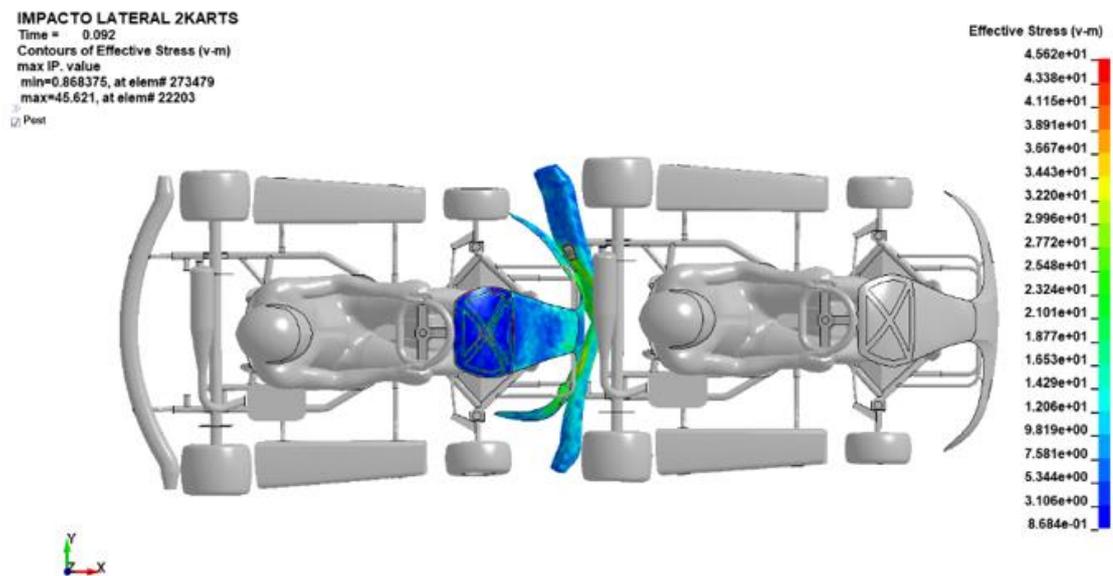
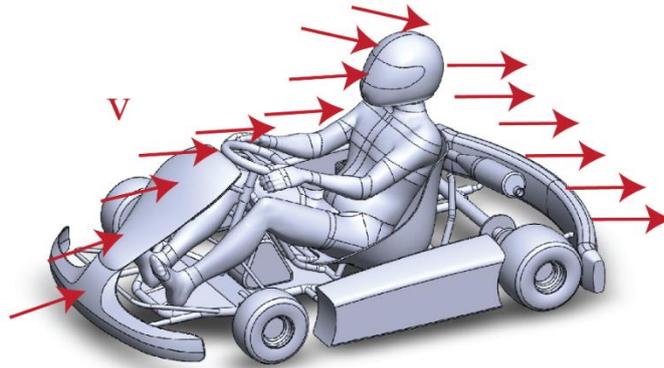


Figura 42: Vista superior del análisis del impacto posterior

### 3.1.9.1 Ensayo aerodinámico

Las fuerzas que generan la resistencia al viento durante el desplazamiento del vehículo Go- kart entre los factores que afectan son las siguientes densidades del aire, velocidad del vehículo y el coeficiente aerodinámico de la superficie frontal del vehículo para ello se realizó un análisis aerodinámico aplicando una velocidad de 10 m/s que es la velocidad promedio que tienen este tipo de vehículos en la figura 43 se presenta como actúa el viento durante el movimiento del vehículo Go- kart.



**Figura 43:** Comportamiento del flujo del aire en el kart

### 3.1.9.2 Cálculo de coeficiente $C_x$ aerodinámico del modelo de Kart

Para calcular el coeficiente aerodinámico del vehículo se utiliza la siguiente información:

Datos:

$$F_a = 38.35 \text{ N}$$

$$A = 0.6673 \text{ m}^2$$

$$\rho = 1.225 \text{ Kg/m}^3$$

$$v = 10 \text{ m/s}$$

Donde  $F_a$  es la fuerza aerodinámica,  $A$  es el área frontal del vehículo,  $\rho$  densidad del aire a temperatura ambiente y  $v$  velocidad del fluido.

$$C_x = \frac{2 \times F_a}{A \times \rho \times v^2} \quad \text{Ec. 2}$$

$$C_x = 0.93$$

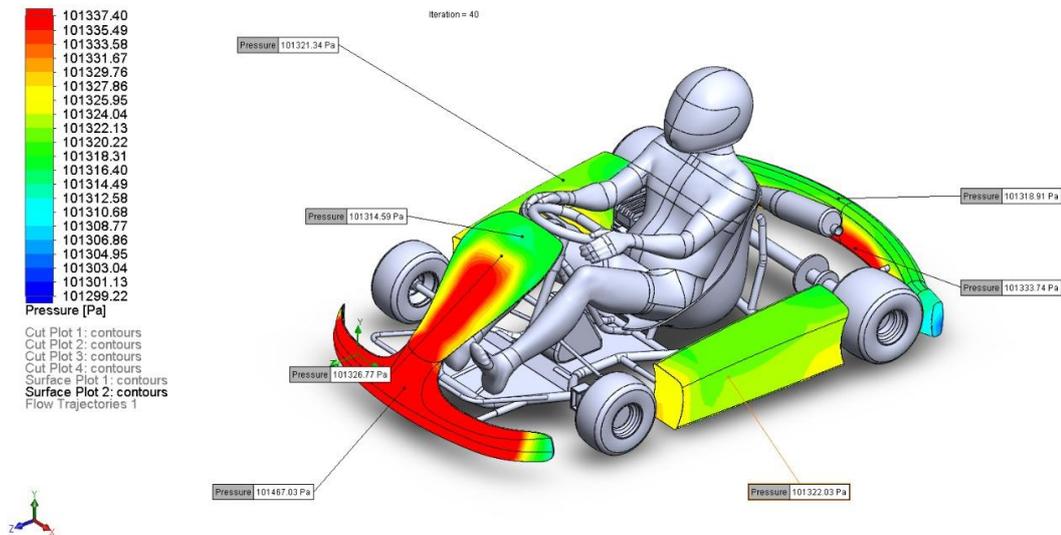
### 3.1.9.3 Análisis de la simulación aerodinámica

Para el presente proyecto se utilizó los programas, Ansys/ Ls-Dyna para el análisis de impacto y se realizó un análisis aerodinámico CFD. El perfil del aire que fluye a través de la superficie de la carrocería y el piloto donde se observa el comportamiento de la velocidad por medio de la corriente del flujo del aire en todo el contorno de la carrocería se muestra en la figura 44.



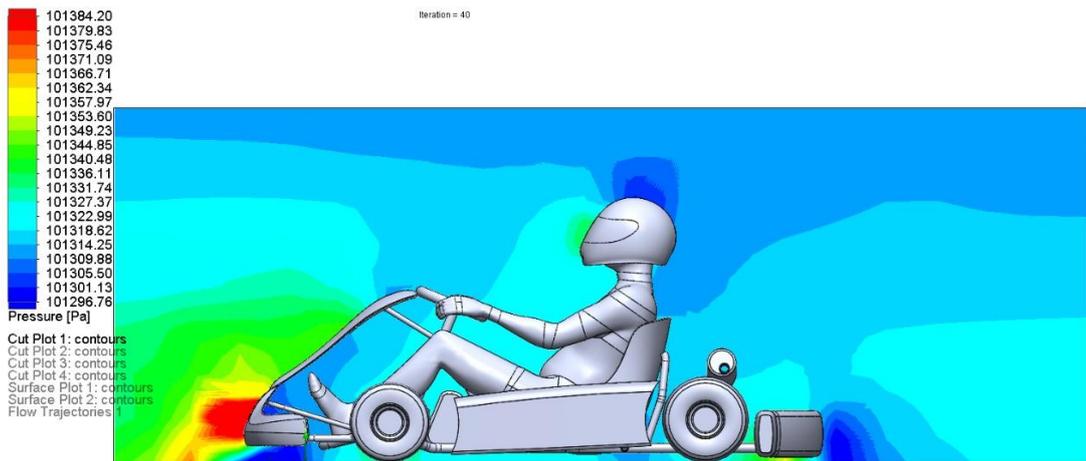
**Figura 44:** velocidad del fluido lateral máxima 12,07 m/s

En el área donde se encuentran los puntos de estancamiento y la presión no se mantiene alta favoreciendo el aumento de las cargas aerodinámicas con estos datos es recomendable disminuir estos puntos de estancamiento con el fin de reducir las fuerzas aerodinámicas en la figura 45, se observa el comportamiento aerodinámico en el carenado frontal y la cubierta de la dirección.



**Figura 45:** Resistencia frontal aerodinámica

La principal consideración que se evalúa en este tipo de análisis es la presión que ejerce el aire en el vehículo Go-kart y se comprueba que los valores sean coherentes y no afecten al rendimiento del vehículo la presión máxima es de 1013,84 Pa como se muestra en la figura 46.



**Figura 46:** Presión máxima aerodinámica

Con estos datos se verifica que el material biocompuesto de resina epoxi y yute tiene buenas características para fabricar los carenados que conforman la carrocería del vehículo Go-kart.

### 3.2 Verificación de hipótesis

Para verificar la hipótesis planteada en la investigación se realizó en base a los resultados generados en la tecnología de manufactura de carrocerías de vehículos tipo Go-kart con el uso de material compuesto de matriz epoxi con fibra biodegradable de yute mediante los ensayos de tracción se comparan los resultados obtenidos en la tesis [30], donde realiza un estudio de un material compuesto de matriz poliéster con fibra de yute. En la tabla 19 se detalla todos los ensayos de tracción y propiedades de los materiales.

**Tabla 19:** Verificación de la hipótesis

<b>COMPARACIÓN DE ESTUDIOS CON FIBRAS DE YUTE</b>		
Propiedades	Resina epoxi con fibra de yute	Resina poliéster con fibra de yute
Módulo de elasticidad (Mpa)	1496,06	985,45
Radio de poisson	0,25	0,23
Esfuerzo máximo a tracción (Mpa)	45,59	43,2
Deformación a la rotura	3,06	2,896
Desplazamiento	3,675	2,78

Después del análisis entre los dos materiales compuestos el material propuesto en esta investigación tiene mejores propiedades comparadas con la combinación de resina poliéster con fibra de yute comprobando la hipótesis planteada en el estudio de investigación.

El material biocompuesto de resina epoxi con fibra natural de yute con un ángulo a 90° presentan buenas propiedades mecánicas y resiste a los impactos al que fue sometido mediante el método de elementos finitos.

Además, se podría realizar más estudios de material compuestos con fibras naturales de abacá y con resina epoxi para comprobar las propiedades mecánicas de esa combinación con diferentes fracciones volumétricas.

**Ho (Hipótesis Nula)** La obtención de biocompuestos de matriz epoxi reforzado con fibra de yute no mejorará la combinación de propiedades mecánicas de las carrocerías de un vehículo tipo Go-Kart.

**Ha (Hipótesis Alternativa)**

La obtención de biocompuestos de matriz epoxi reforzado con fibra de yute si mejorará la combinación de propiedades mecánicas de las carrocerías de un vehículo tipo Go-Kart.

Se comprueba la hipótesis utilizando una prueba bilateral es decir de dos colas, con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significancia del 5%.

$$H_0 = u_1 = u_2 \quad \text{Ec. 3}$$

$$H_1 = u_1 \neq u_2$$

Cálculo de la probabilidad, utilizando la ecuación.

$$P = \frac{\alpha}{100} \quad \text{Ec. 4}$$

Siendo:

P = probabilidad

$\alpha$  = nivel de significancia

$$P = \frac{5}{100}$$

$$P = 0,05$$

Como se va realizar la prueba bilateral se divide para dos por lo tanto es:

$$P = 0,025$$

Cálculo de grados de libertad es igual al tamaño de la muestra (número de observaciones independientes) menos 1.

$$gl = (n - 1) \quad \text{Ec. 5}$$

gl = grado de libertad

n = número de muestras

$$g_l = (n_1 + n_2) - 2$$

$$g_l = (5 + 5) - 2$$

$$g_l = 8$$

Con los datos calculados de Prueba y Grados de libertad, 0,025 y 8 respectivamente, encontramos el valor de t tabulado (*t<sub>tabla</sub>*), utilizando la tabla de distribución T-Student, que se muestra en el Anexo 5, Tabla de grados de libertad.

$$t_{\text{tabla}} = 2,3060$$

### 3.2.1 Decisión y conclusión de la hipótesis planteada

La hipótesis nula corresponde si la obtención de biocompuestos de matriz epoxi reforzado con fibra de yute no mejorará la combinación de propiedades mecánicas de las carrocerías de un vehículo tipo Go-Kart, se acepta si el  $T_{\text{calculado}}$  esta dentro del rango  $\pm 2,3060$  correspondiente al  $T_{\text{tabla}}$  caso contrario se acepta la hipótesis alternativa si la obtención de biocompuestos de matriz epoxi reforzado con fibra de

yute si mejorará la combinación de propiedades mecánicas de las carrocerías de un vehículo tipo Go-Kart.

Verificación de la hipótesis para ensayo Esfuerzo máximo a tracción (Mpa), con respecto a la Resina epoxi con fibra de yute Resina poliéster con fibra de yute

Se indica los datos de las propiedades en la siguiente tabla 32 de propiedades:

**Tabla 20:** Comparación esfuerzo de tracción

Esfuerzo máximo a tracción (Mpa)		
N.º Probeta	Resina epoxi con fibra de yute	Resina poliéster con fibra de yute
1	45,59	43,2
2	43,68	41,15
3	45,78	43,63
4	44,88	41,25
5	46,08	44,07
Promedio	45,202	42,66
Desviación estándar	0,95860315	1,3682836

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1-1)s_1^2 + (n_2-1)s_2^2}{Gl}} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

$S_p$  = varianza

Gl = grados de libertad

$s_{1,2}$  = desviacion estandar

$n_{1,2}$  = grupo de muestras

$$S_p = \sqrt{\frac{(5-1)(0,9586)^2 + (5-1)(1,3682)^2}{8}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{3,6756 + 0,6724}{4}}$$

$$S_p = 1,181$$

Cálculo de la t calculada de la siguiente ecuación

$$t_{\text{cal}} = \frac{H}{sp \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$t_{\text{cal}}$  = t calculada

H= diferencia de promedios

$$t_{\text{cal}} = \frac{2,542}{1,181 \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}$$

$$t_{\text{cal}} = 3,403$$

$$t_{\text{cal}} = 3,403 > t_{\text{tabla}} = 2,3060$$

Después de análisis se verifica que el te calculado es mayor que el t de tabla y se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que manifiesta la obtención de biocompuestos de matriz epoxi reforzado con fibra de yute si mejorará la combinación de propiedades mecánicas de las carrocerías de un vehículo tipo Go-Kart.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES**

- Se realizó la investigación bibliográfica para la implementación y fabricación de los componentes carenados de la carrocería del vehículo go kart del material biocompuesto de fibra de yute natural con matriz de resina epoxi obteniendo buenas propiedades mecánicas con la aplicación de la norma para polímeros ASTM D3039-00 para ensayos a tracción no se consideró el espesor pues fue un parámetro establecido de 2 mm para el análisis.
- La fracción volumétrica del material biocompuesto actual es de 70% de matriz y 30% de refuerzo con tejido tipo sarga del material compuesto dando buenos resultados durante los ensayos de tracción al que fue sometido las probetas del material biocompuesto obteniendo un esfuerzo máximo de 45,72 Mpa
- Se diseñó el carenado frontal, posterior lateral y cubre dirección de la carrocería del go kart y se ensambló en el bastidor del vehículo para posteriormente simular mediante el método de elementos finitos en condiciones de impacto obteniendo buena resistencia de las propiedades mecánicas del material compuesto durante el tiempo 0,15 segundos que duró el ensayo.
- Mediante la tecnología y diseño de manufactura se establecieron los parámetros necesarios para el diseño de los moldes de los carenados que fueron realizados aplicando la técnica de moldeo al vacío en los moldes durante el tiempo de curado que fue de 24 horas esto ayudó a obtener mejores acabados y resistencia en los moldes.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Realizar más ensayos en las probetas variando los espesores y de acuerdo a la normativa para ensayos a compresión e impacto esto ayudará a determinar otras propiedades y obtener más propiedades mecánicas del material biocompuesto propuesto.
- Cuando se coloca la fibra en el molde evitar que se arrugue con la ayuda de un rodillo o una brocha pasar de forma uniforme la capa de resina para obtener un espesor homogéneo en todo el carenado de la carrocería.
- Realizar más estudios para la factibilidad e implementación de laboratorios para estudio de los materiales biocompuestos basados en el beneficio de minimizar costos y tiempos de fabricación optimizando el peso y propiedades mecánicas del material biocompuesto con fibra de yute natural.

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

#### **5.1 DESCRIPCIÓN**

**TEMA:** DESARROLLO DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO GO KART CON MATERIAL BIOCMPUESTO DE RESINA EPOXI CON FIBRA NATURAL DE YUTE

Finalizado el estudio de un nuevo material al combinar resina epoxi con fibra natural de yute en un ángulo de 90° y con la mezcla de 30% de fibra y 70% de resina epoxi el biocompuesto es mucho más resistente y tenaz.

Además, se debe tomar en cuenta que el nuevo material es más liviano lo que reduce los problemas presentes en el vehículo Go-kart,

#### **5.2 Antecedentes de la propuesta**

En el país existen varios estudios en el campo de materiales compuestos con fibras naturales como cabuya, cascarilla de arroz, yute y abacá enfocados a carrocerías de buses u otro tipo de aplicación sin embargo no se ha realizado proyectos de investigación de material compuestos para carrocería de vehículos Go- kart.

Es así que en la escuela politécnica nacional se desarrolló una investigación bajo el tema " Caracterización de un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de yute precargada mediante moldeo por compresión la cual fue ejecutada por el sr Edwin Cunalata el cual propone obtener el material compuesto de resina poliéster con fibra de yute.

Además, existen estudios donde analizan las propiedades mecánicas de estratificación de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya en guardachoque posterior de carrocerías de bus para servicio urbano.

### **5.3 JUSTIFICACIÓN**

En el país se ha desarrollado varios tipos de material compuestos por lo que es indispensable la incorporación de fibras naturales con el fin de reemplazar la fibra de vidrio o mezclar la fibra de vidrio y fibras naturales de esta forma se trata de dar un valor agregado y aprovechar los recursos naturales y no limitarse a exportación de fibras, también se pretende generar nuevas alternativas de materiales compuestos con mejores características sin embargo los estudios e investigaciones son limitados y no están alineados a la producción en la industria de las carrocerías del país donde intervienen gran cantidad de materiales compuestos por lo general utilizan fibra de vidrio con resina poliéster.

Por lo tanto la propuesta de esta investigación se ha direccionada hacia la industria carrocera del país con el fin de determinar si la aplicación del material biocompuesto de ( resina epoxi con fibra natural de yute es una alternativa para la fabricación de los componentes de la carrocería de vehículo Go kart por las características mecánicas que presenta frente a los materiales compuestos utilizados regularmente en la fabricación de los componentes de esta manera se realiza un procedimiento que sirva de guía para obtener un producto con estándares de calidad, resistencia, tenacidad y seguridad del vehículo.

### **5.4 OBJETIVOS**

#### **5.4.1 Objetivo general**

Elaborar el proceso tecnológico para la fabricación de los carenados que conforman la carrocería del vehículo Go Kart utilizando el material biocompuesto de resina epoxi con fibra natural de yute como material alternativo a fin de mejorar las propiedades mecánicas de cada elemento.

#### **5.4.2 Objetivos específicos**

- Definir los pasos para la preparación de la fibra de yute a 90° con un tejido tipo sarga y resina epoxi de fácil manipulación y aplicación
- Elaborar los elementos de la carrocería del go kart con el material alternativo propuesto en esta investigación
- Analizar y evaluar los costos de elaborar los elementos de la carrocería del Go- kart con el material biocompuesto de fibra de yute y resina epoxi como material alternativo.

#### **5.5 Análisis de factibilidad**

Es factible la elaboración de la propuesta a realizarse pues se cuenta con toda la información necesaria como son las normas técnicas ASTM D3039-00 ASTM D5628-10, también se tiene el aporte del recurso humano, así como materiales e instrumentos que facilitan el desarrollo del proyecto sumado a esto se debe tomar en cuenta los costos de los materiales son moderados y se encuentra en el mercado nacional siendo fáciles de adquirir haciendo que el proyecto investigativo sea factible.

#### **5.6 Fundamentación**

La propuesta se fundamenta en la bibliografía y en los estudios tratados en el capítulo I además en el capítulo II se determina los resultados de los análisis realizados mediante ensayos y simulación que inciden en la obtención de un nuevo material biocompuesto para carrocerías en vehículos Go-kart como material alternativo presenta buenas propiedades mecánicas.

#### **5.7 Metodología**

En el desarrollo de la propuesta se utiliza el siguiente flujograma donde se va elaborar el procedimiento y actividades para la fabricación de los moldes de la carrocería con el material alternativo de resina epoxi con fibra natural de yute el diagrama de flujo mostrado en la tabla presenta los pasos para obtener la carrocería en fibra de yute.

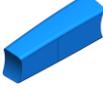
**Tabla 21:** Diagrama analítico carenado frontal

		CURSOGRAMA ANALÍTICO						
		PRODUCCIÓN: Carrocería go kart						
PROCESO: Fibrado carenado frontal		ACTIVIDAD		Proceso actual				
		Operación	○	10				
Operador:	Luis Tipan	Transporte	⇒	1				
Tipo:		Inspección	□	1				
Anotación:		Almacén	▽	1				
Elaborado:	Ing. Jairo Naranjo	Demora	D	2				
Revisado:		Tiempo total		15				
Descripción de Actividades	SÍMBOLOS					Tiempo (min)	Distancia (m)	Recomendación
	○	⇒	□	▽	D			
Recepción del material	●					30	-	Poner en un área seca
Preparación de la fibra de yute	●					15	-	Cortar a medida
Preparación de la resina epoxi	●					10	-	Medir cantidades
Transporte área de fibrado		●				5	6	Llevar con cuidado
Limpieza del molde carenado frontal	●					10	-	Eliminar toda impureza
Aplicación de cera desmoldante	●					20	-	Hacerlo de forma homogénea
Dejar en reposo					●	10	-	
Colocar la fibra de yute en el molde	●					10	-	Hacerlo en forma homogénea
Aplicar 4 capas de resina epoxi	●					22	-	Con una brocha o rodillo
Colocar el plástico de vacío	●					8	-	Hacerlo sin romper ni dañar
Dejar secar el material fibrado					●	24 h	-	A temperatura ambiente
Retirar el plástico de vacío	●					5	-	Con cuidado de dañar el molde
Desmolde del carenado frontal	●					15	-	Retirar el carenado sin dañar
Inspección del modelo terminado			●			5	-	Verificar irregularidades
Transporte almacenado				●		5	7	Guardar en bodega

**Tabla 22:** Diagrama analítico carenado posterior

		CURSOGRAMA ANALÍTICO						
		PRODUCCIÓN: Carrocería go kart						
PROCESO: Fibrado carenado posterior		ACTIVIDAD		Proceso actual				
		Operación	○	10				
Operador:	Luis Tipan	Transporte	⇒	1				
Tipo:		Inspección	□	1				
Anotación:		Almacén	▽	1				
Elaborado:	Ing. Jairo Naranjo	Demora	D	2				
Revisado:		Tiempo total		15				
Descripción de Actividades	SÍMBOLOS					Tiempo (min)	Distancia (m)	Recomendación
	○	⇒	□	▽	D			
Recepción del material	●					25	-	Poner en un área seca
Preparación de la fibra de yute	●					10	-	Cortar a medida
Preparación de la resina epoxi	●					10	-	Medir cantidades
Transporte área de fibrado		●				5	6	Llevar con cuidado
Limpieza del molde carenado frontal	●					8	-	Eliminar toda impureza
Aplicación de cera desmoldante	●					12	-	Hacerlo de forma homogénea
Dejar en reposo					●	10	-	
Colocar la fibra de yute en el molde	●					8	-	Hacerlo en forma homogénea
Aplicar 4 capas de resina epoxi	●					15	-	Con una brocha o rodillo
Colocar el plástico de vacío	●					5	-	Hacerlo sin romper ni dañar
Dejar secar el material fibrado					●	24 h	-	A temperatura ambiente
Retirar el plástico de vacío	●					5	-	Con cuidado de dañar el molde
Desmolde del carenado posterior	●					15	-	Retirar el carenado sin dañar
Inspección del modelo terminado			●			5	-	Verificar irregularidades
Transporte almacenado				●		5	7	Guardar en bodega

**Tabla 23:** Diagrama analítico carenado lateral

		CURSOGRAMA ANALÍTICO						
		PRODUCCIÓN: Carrocería go kart						
PROCESO: Fibrado carenado lateral		ACTIVIDAD		Proceso actual				
		Operación	○	10				
Operador:	Luis Tipan	Transporte	⇒	1				
Tipo:		Inspección	□	1				
Anotación:		Almacén	▽	1				
Elaborado:	Ing. Jairo Naranjo	Demora	D	2				
Revisado:		Tiempo total		15				
Descripción de Actividades	SÍMBOLOS					Tiempo (min)	Distancia (m)	Recomendación
	○	⇒	□	▽	D			
Recepción del material	●					20	-	Poner en un área seca
Preparación de la fibra de yute	●					12	-	Cortar a medida
Preparación de la resina epoxi	●					15	-	Medir cantidades
Transporte área de fibrado		●				8	6	Llevar con cuidado
Limpieza del molde carenado frontal	●					10	-	Eliminar toda impureza
Aplicación de cera desmoldante	●					10	-	Hacerlo de forma homogénea
Dejar en reposo					●	10	-	
Colocar la fibra de yute en el molde	●					8,5	-	Hacerlo en forma homogénea
Aplicar 4 capas de resina epoxi	●					14	-	Con una brocha o rodillo
Colocar el plástico de vacío	●					6	-	Hacerlo sin romper ni dañar
Dejar secar el material fibrado					●	24 h	-	A temperatura ambiente
Retirar el plástico de vacío	●					5	-	Con cuidado de dañar el molde
Desmolde del carenado lateral	●					13	-	Retirar el carenado sin dañar
Inspección del modelo terminado			●			5	-	Verificar irregularidades
Transporte almacenado				●		5	7	Guardar en bodega

**Tabla 24:** Diagrama analítico carenado protector

		CURSOGRAMA ANALÍTICO						
		PRODUCCIÓN: Carrocería go kart						
PROCESO: Fibrado carenado lateral		ACTIVIDAD		Proceso actual				
		Operación	○	10				
Operador:	Luis Tipan	Transporte	⇒	1				
Tipo:		Inspección	□	1				
Anotación:		Almacén	▽	1				
Elaborado:	Ing. Jairo Naranjo	Demora	D	2				
Revisado:		Tiempo total		15				
Descripción de Actividades	SÍMBOLOS					Tiempo (min)	Distancia (m)	Recomendación
	○	⇒	□	▽	D			
Recepción del material	●					10	-	Poner en un área seca
Preparación de la fibra de yute	●					5	-	Cortar a medida
Preparación de la resina epoxi	●					8	-	Medir cantidades
Transporte área de fibrado		●				5	6	Llevar con cuidado
Limpieza del molde carenado frontal	●					5	-	Eliminar toda impureza
Aplicación de cera desmoldante	●					3	-	Hacerlo de forma homogénea
Dejar en reposo					●	5	-	
Colocar la fibra de yute en el molde	●					5	-	Hacerlo en forma homogénea
Aplicar 4 capas de resina epoxi	●					5	-	Con una brocha o rodillo
Colocar el plástico de vacío	●					3	-	Hacerlo sin romper ni dañar
Dejar secar el material fibrado					●	24 h	-	A temperatura ambiente
Retirar el plástico de vacío	●					5	-	Con cuidado de dañar el molde
Desmolde del carenado lateral	●					4	-	Retirar el carenado sin dañar
Inspección del modelo terminado			●			3	-	Verificar irregularidades
Transporte almacenado				●		5	7	Guardar en bodega

Con este flujograma se determina los pasos necesarios para obtener los componentes que conforman la carrocería del vehículo Go-kart teniendo como promedio el tiempo de fabricación de los moldes de 27 horas esto por el tiempo que se debe dejar secar el molde y la distancia de recorrido en promedio es de 13 metros.

## 5.8 DESARROLLO

### 5.8.1.1 Moldes para el carenado posterior del go kart

Los moldes se elaboraron previamente según las especificaciones de diseño, tamaño y forma realizados mediante el programa de diseño CAD este es el paso inicial para obtener las diferentes piezas, los moldes se elaboran en fibra de vidrio.

Para empezar, se realiza los moldes se realiza mediante el modelo con bolsa al vacío las ventajas con este proceso son la flexibilidad y la eliminación de burbujas en la figura 47 se muestra el proceso de moldeo de bolsa al vacío que se utiliza en el carenado posterior del vehículo.



**Figura 47:** Molde del carenado posterior

Cuando se realiza el molde se verifica si existen imperfecciones o superficies con rugosidades que deben ser eliminadas dando un acabado a la superficie lo más lisa posible en el molde.

### 5.8.1.2 Molde para el carenado lateral del go kart

El modelo del carenado lateral se propuso en el capítulo anterior y se realiza el molde con el mismo material que se elaboró el carenado posterior en la figura 48 se presenta el proceso de lijado del molde después de aplicar la masilla.



**Figura 48:** Proceso del moldeo del carenado lateral

El proceso es el mismo para los moldes frontal y el molde que sirve para cubrir la dirección del vehículo kart. Se continua con el proceso de masillado y lijado para eliminar fallas también es importante reducir los tiempos de secado en la figura 49 se presenta los moldes terminados.



**Figura 49:** Molde de la carrocería del go kart

## **5.8.2 Procedimiento para la obtención de los carenados con fibra de yute y resina epóxi**

Finalmente se establecen las distintas acciones a seguir para la obtención de los carenados con el uso del material compuesto de resina epoxi y fibra de yute como material alternativo.

El proceso para la fabricación de la carrocería será desarrollado por el técnico del proceso en fibra de vidrio el mismo que construyó los moldes que serán utilizados para la fabricación de la carrocería del go kart.

### **5.8.2.1 Preparación de las fibras de yute**

Luego de adquirir la fibra de yute es necesario prepararla para que tenga una distribución uniforme y se escoge la fibra de yute con un tejido sarga con distancia de 0,4 cm esto nos beneficia pues se adquiere la fibra tejida de forma horizontal de no ser así se debería enviar a un telar para que realice el tejido de la fibra de yute la fracción volumétrica en este estudio fue de 70% matriz y 30% Refuerzo en la figura 50 se muestra la tela para fabricar el molde.



**Figura 50:** Tejido de la fibra de yute

Con el tejido de la fibra de yute se procede a cortar la cantidad de tejido necesario de acuerdo al modelo de la pieza a fabricar como se indica en la figura 51.



**Figura 51:** Corte de fibra de yute

### 5.8.2.2 Preparación del molde y contramolde

Es importante limpiar las rebabas de los moldes con la espátula y se debe pasar cera desmoldante con un paño o waípe además se aplicó la resina canalizadora en los moldes como se muestra en la figura 52 para después colocar la fibra de yute.



**Figura 52:** Aplicación de cera desmoldante

Una vez que está aplicado la cera desmoldante se procede a colocar la fibra de yute asegurándose que se cubra toda la superficie de forma uniforme y se distribuye la resina epoxi por todo el molde con la ayuda de una brocha o rodillo.



**Figura 53:** Aplicación de la fibra de yute y resina

Luego de terminar de aplicar la fibra de yute se procede a cubrir con papel desmoldante la parte superior de la fibra de yute esto ayuda a obtener un mejor acabado en los distintos componentes de la carrocería del Go-kart en la figura 54 se presenta la aplicación del papel desmoldante.



**Figura 54:** Aplicación papel desmoldante

### **5.8.3 Técnica de molde al vacío**

El proceso de moldeo por vacío consiste en crear presión sobre una lámina durante el proceso de o ciclo de curado. Con este método se remueve el aire atrapado entre capas ayudando a compactar las capas y proporcionando laminados más uniformes como se indica la aplicación de esta técnica en la figura 55.



**Figura 55:** Técnica de moldeo al vacío

También evita que la orientación cambie o se modifiquen durante el tiempo de curado y por último reduce la humedad y finalmente optimiza la relación refuerzo matriz en las piezas del material compuesto. El molde se deja por 24 horas en el vacío para el secado y mejor acabado se procede a retirar el plástico de vacío ver figura 56.



**Figura 56:** Retiro del plástico de vacío

Además, se retira el papel desmoldante de la pieza se realiza de forma adecuada para evitar rayar o dañar la pieza que se ha moldeado como se indica en la figura 57.



**Figura 57:** Retiro del papel desmoldante

Para terminar, se procede a retirar la estructura del molde para ello se debe evitar dañar la pieza y se retira con la ayuda de una pequeña tabla o pinza para ir separando el molde como se indica en la figura 58.



**Figura 58:** Desmolde del carenado del vehículo

Ya con la pieza retirada del molde se obtiene el modelo final del carenado listo para ensamblarlo en el Go-kart en la figura 59 se presenta la estructura terminada de carenado con el material biocompuesto de fibra de yute y resina epóxi.



**Figura 59:** Estructura carenado terminado

#### **5.8.4 Proceso de ensamble de la carrocería**

La carrocería que se va montar en el vehículo se muestra en la figura 60 donde se observa que está formado por un chasis o bastidor cuatro neumáticos de competición no alineados, carenado y motor, el asiento es ergonómico y debe estar en la posición de conducción reclinado

- Constituye la estructura principal del vehículo
- Proporciona sujeción a todos los elementos que conforman el vehículo
- El vehículo tiene suficiente rigidez para soportar las cargas generadas durante su funcionamiento
- Es construido de tubo redondo o perfiles especiales que garanticen la seguridad del piloto.



**Figura 60:** Go kart para colocar la carrocería

A continuación, en la tabla 25 se presenta el flujograma de ensamble del vehículo go Kart

**Tabla 25:** Diagrama de ensamble de la carrocería

		CURSOGRAMA ANALÍTICO						
		PRODUCCIÓN: Ensamble de Carrocería go kart						
PROCESO: Terminados de carrocerías		ACTIVIDAD		Proceso actual				
		Operación	○	10				
Sección	Terminados	Transporte	⇒	1				
Operarios	2	Inspección	□	1				
Área	Estructuras	Almacén	▽	1				
Elaborado:		Demora	D	2				
Revisado:		Tiempo total		15				
Descripción de Actividades	SÍMBOLOS					Tiempo (min)	Distancia (m)	Recomendación
	○	⇒	□	▽	D			
Traslado de los componentes de la carrocería	●					10	-	Poner en un área seca
Verificar que los componentes estén en buen estado	●					5	-	Cortar a medida
Instalar el frontal en el bastidor	●					8	-	Medir cantidades
Instalar los laterales en el bastidor		●				5	6	Llevar con cuidado
Instalar el posterior en el bastidor	●					5	-	Eliminar toda impureza
Instalar el protector en el vehículo	●					3	-	Hacerlo de forma homogénea
Inspeccionar todos los componentes instalados					●	5	-	
Mover el vehículo a la siguiente estación	●					5	-	Hacerlo en forma homogénea

### 5.8.5 Análisis económico

El análisis económico para esta investigación para el desarrollo de la tecnología de la fabricación de probetas, moldes, carrocerías se consideran los costos que implica la

construcción de los prototipos una gran ventaja es la utilización de los programas de diseño y simulación lo que reduce los costos significativamente.

### 5.8.5.1 Costos de diseño de los moldes

Los rubros para el diseño fabricación y manufactura de la carrocería del vehículo se considera para el análisis los materiales como fibra de yute, resina epóxi, ensayos de tracción, fabricación de los moldes, mano de obra y demás equipos e implementos que aportaron en el avance y culminación de esta investigación en la tabla 26 se presenta los costos mencionados.

Tabla 26: Costos de producción de carenados de vehículo

CONCEPTO	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Fibra de yute	15 m	6,00	90,00
Resina epóxi	2 gl	15,00	30,00
Probetas	6	16,50	99,00
Ensayo de tracción	6	20,85	125,10
Moldes	5	25,50	127,50
Mano de obra	2	125,00	250
Brochas	2	2,50	5,00
Aislante protector	4	50,00	200,00
Cámara de pintura	1 hora	50,00	50,00
Tijera de fibra	2	15,00	30,00
Papel desmoldante	15 m	1,85	27,75
Informe y material	1	25,00	25,00
Simulación Ansys Ls-Dyna research	1	500,00	500,00
<b>Subtotal</b>			1559,35
<b>Imprevistos (10%)</b>			155,935
<b>Total</b>			<b>1715,285</b>

El costo total de fabricación de los carenados para carrocería de vehículos Go-kart se estima en 1715,285 dólares americanos por los prototipos considerando la utilización fibras de material natural como en este proyecto se estudió las fibras de yute con resina epoxi con la ayuda de tecnologías y equipos disponibles a nivel nacional ayudan en el ahorro de costos y en tiempos de producción.

En este proyecto de investigación se analizó todos los costos de diseño y simulación a través de software de simulación aplicando como material alternativo el

biocompuesto en la optimización de costos en la fabricación de prototipos de la carrocería del vehículo Go-kart.

Además los costos de diseño y simulación mediante Ansys/Ls dyna research aportan en la tecnología de fabricación de los moldes pues el programa simula la resistencia mecánica con las propiedades obtenidas en los ensayos de tracción realizados en el centro de fomento carrocerero con estos parámetros se obtiene el comportamiento real del material compuesto sometido a impacto lateral, frontal y posterior de esta manera se garantiza que el material compuesto resiste al estar sometido a este tipo de cargas de diseño.

### **5.8.6 Conclusiones de la propuesta**

- Se estableció un flujograma detallando los procesos y recorridos necesarios para el proceso de fabricación de la carrocería del Go-kart donde se explica paso a paso cada operación, transporte, demora, inspección y almacenamiento del producto terminado de esta manera los obreros podrán realizar las actividades sin problemas optimizando los tiempos de producción
- Se elaboró cada componente de la carrocería del vehículo con el material compuesto con fibra de yute a 90° pues se obtuvieron los mejores resultados en los ensayos y con una fracción volumétrica de 30% yute y 70% resina epóxi.
- Mediante un análisis de costos se comprobó la viabilidad del producto y del proyecto de investigación por lo que se implementa el proceso pues generara ahorros significativos con mejores resultados como la resistencia del material y calidad del producto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. F. Ashby, *Materials and the Environment*, Oxford: Elsevier, 2012.
- [2] C. Alayon, «Conceptual sustainable production principles in practice: do they reflect what,» *Journal of Cleaner Production*, pp. 693-701, 2016.
- [3] S. S. Harald Gmelin, «Determinants of a sustainable new product development,» *Journal of Cleaner Production*, pp. 1-9, 2014.
- [4] M. A. H. Salazar, «The effect of interfacial adhesion on the creep behaviour,» *Composites Part B: Engineering*, pp. 345-351, 2013.
- [5] M. A. Hidalgo-Salazar, «Influence of Incorporation of Natural Fibers on the Physical, Mechanical, and Thermal Properties of Composites LDPE-Al Reinforced with Fique Fibers,» *International Journal of Polymer Science*, pp. 1-8, 2015.
- [6] M. F. Muñoz-Velez, «fibras de fique una alternativa para el reforzamiento de plásticos. influencia de la modificación superficial,» *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, pp. 60-70, 2014.
- [7] H. Takagi, «Heat transfer analyses of natural fibre composites,» *High Performance and Optimum Design of Structures and Materials*, pp. 237-243, 2014.
- [8] C. Xia, «Property enhancement of kenaf,» *Holzforschung*, pp. 307-312, 2015.
- [9] C. Scarponi, «Hemp fiber composites for the design of a Naca cowling,» *Composites Part B: Engineering*, pp. 53-63, 2015.
- [10] M. RAVANDI, «Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Natural Fiber Stitched Flax/Epoxy Composite Laminates – Experimental and Numerical Analysis,» *Proceedings of the American Society for Composites*, p. Conference, 2016.
- [11] P. Tripathi, «Development and characterization of low cost jute, bagasse and glass fiber reinforced advanced hybrid epoxy composites,» *AIMS Materials Science*, pp. 320-337, 2018.

- [12] J. Korol, «Expansion of environmental impact assessment for eco-efficiency evaluation of biocomposites for industrial application,» *Journal of Cleaner Production*, pp. 144-152, 2016.
- [13] M. J. Reinders, «Can bio-based attributes upgrade a brand? How partial and full use of bio-based materials affects the purchase intention of brands,» *Journal of Cleaner Production*, p. 1169–1179, 2017.
- [14] T. Väisänen, «A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites,» *Journal of Cleaner Production*, pp. 582-596, 2017.
- [15] O. Akampumuza, «Review of the Applications of Biocomposites in the Automotive Industry,» *POLYMER COMPOSITES*, pp. 2553-2569, 2016.
- [16] D. Ochoa-Gregorio, *Diseño y análisis de un vehículo tipo kart*, Zaragoza: Universidad Zaragoza, 2014.
- [17] Á. Balladares, *Aplicabilidad de un material compuesto con matriz polimérica reforzado con fibras de planta de mora (rubus glaucus) en partes interiores de carrocerías de la industria carrocera de Tungurahua.*, ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [18] F. D. Oviedo-Pozo, *diseño de un plan de negocios para la creación de una microempresa dedicada a la producción y comercialización de vehículos de entretenimiento “go-kart” en el distrito metropolitano de Quito.*: Escuela Politécnica Nacional, 2014.
- [19] V. F. Caiza, *Diseño, simulación, optimización y construcción de una carrocería de un vehículo tipo formula sae*, Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, 2015.
- [20] R. A. L. Chávez, *fabricación de un retrovisor para el vehículo suzuki forsa con material compuesto de matriz polimérica de poliéster y refuerzo natural de cabuya*, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017.
- [21] J. H. KOO, *Polymer Nanocomposites Processing, Characterization, and Applications*, Nueva York: McGraw-Hill, 2019.
- [22] Z. M. Aravind Dasari, *Polymer Nanocomposites*, Nueva York: CRC Press, 2016.
- [23] V. H. Guerrero, *Nuevo Materiales*, Quito: 2011.

- [24] D. Elizondo, Aspectos físicos y factores que determinan la calidad superficial en el maquinado de compósitos de matriz polimérica reforzados con fibras, San Nicolás de los Garza, Nuevo León: Universidad Autonoma, Nuevo León, 2014.
- [25] m. niu, composite airframe structures, hong kong: conmlit press ltd , 1992.
- [26] ONU para alimentación y agricultura, «Fibras del futuro,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute/es/>. [Último acceso: 06 Abril 2021].
- [27] M. Armar, de Natural Fibers biopolymers and biocompites, Francis group, 2005, p. 37.
- [28] Geotextil, «SoloStocks,» 23 Mayo 2018. [En línea]. Available: <https://www.solostocks.com/venta-productos/sistemas-trabajo-suelo/geotextiles/geotextil-de-fibra-de-yute-de-732-gr-m2-122-cm-31268246>. [Último acceso: 14 Junio 2019].
- [29] FIA, «COMMISSION INTERNATIONALE DE KARTING- FIA,» 1 Febreo 2018. [En línea]. Available: <http://www.cikfia.com/inside-cikfia/history/our-history/browse/20.html>.
- [30] J. Duque, «GUÍA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN PEQUEÑO VEHÍCULO RECREATIVO,» 1997.
- [31] M. Evangelos, A. Cerullo y R. Luigi, «Design of a tuned sandwich chassis for,» International Journal Vehicle Desing, 2007.
- [32] A. Padhi y A. Joshi, «Increase Factor of Safety of Go-Kart Chassis during Front Impact Analysis,» 2012.
- [33] T. Shiiba, R. Koike y C. Siyu, «Evaluations of Racing Kart Behavior with Flexible Multibody Dynamics,» The Japan Society of Mechanical Engineers, 2013.
- [34] C. Anjul, N. Lalit y C. Sparsh, «DESIGN AND ANALYSIS OF A GO-KART,» International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering, 2016.
- [35] A. Chauhan, «DESIGN AND ANALYSIS OF A GO-KART,» International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering, 2016.

- [36] R. Carro, Diseño y Selección de Procesos, Río de la Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2015.
- [37] MIPRO, «Ministerio de producción, comercio exterior, inversiones y pesca,» 2019. [En línea]. Available: <http://www.produccion.gob.ec/>.
- [38] W. Contreras, P. Quezada y O. Lizzete, «Propuesta Metodológica para el Diseño del Chasis de un Kart tipo KF4,» La Ingeniería Automotriz, p. 183, 2018.
- [39] G. Mirone, «MULTI-BODY ELASTIC SIMULATION OF A GO-KART: CORRELATION,» International Journal of Automotive Technology, p. 469, 2010.
- [40] RFEdA, Reglamento Técnico Nacional Aplicable a todos los Campeonatos Copas, Trofeos y Challenges de España de Karting 2019., Madrid., 2019.
- [41] Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo Deportivo, Reglamento General Deportivo de Karting, Quito: FEDAK, 2019.
- [42] B. d. a. d. a. 4130, «Linkun,» 2020 01 17. [En línea]. Available: <http://es.lksteelpipe.com/4130-alloy-steel-bar>. [Último acceso: 17 07 2020].
- [43] sumiteccr, «AE02,» 01 01 2020. [En línea]. Available: <http://www.sumiteccr.com/acero/estructural/AE02.pdf>. [Último acceso: 18 07 2020].
- [44] W. P. Almeida, «Análisis de soldabilidad del Acero HSLA ASTM A1011 GR 50 Y SI INCIDENCIA EN LA FABRICACIÓN DE CARROCERÍAS METÁLICAS PARA BUSES,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2019.
- [45] Blogspot, Identificación Genral de Sistemas y Técnicas de Fabricación., Morelia: Blogspot, 2013.
- [46] D. Aguado, Diseño y Análisis de un Chasis de Kart de Competición, Madrid: Universidad Carlos III de Madrid, 2014.
- [47] O. Anadón y M. Pabón, Diseño de un Kart de Pista, Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2012.
- [48] P. Quezada, Diseño y Fabricación del Chasis para un Kart KF4 Según la Normativa CIK/ FIA, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2018.

- [49] DMKrcing, «DMKrcing,» DMKrcing, 20 Abril 2015. [En línea]. Available: <https://dmkracing.com/noticias/consejo-montar-asiento-kart/>. [Último acceso: 1 Octubre 2020].
- [50] J. Montiel, «Motor en marcha,» 29 Enero 2015. [En línea]. Available: <http://motorenmarcha.com/mecanica-automotriz-altura-del-centro-de-gravedad/>. [Último acceso: 18 Diciembre 2020].
- [51] T. C. O. Gabriel, «DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CORTE LÁSER POR CO2 EN EL ACERO ASTM A500 Y LA ALEACIÓN HSLA ASTM A1011 GRADO 50 Y SU INCIDENCIA EN LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL, DUREZA DEL MATERIAL Y EFECTO TÉRMICO PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, AMBATO, 2020.
- [52] Z. Drag, «Almohadilla de deslizamiento,» 6 Octubre 2016. [En línea]. Available: <http://zealdrag.com/event-details/skid-pad/>. [Último acceso: 18 Diciembre 2020].
- [53] O. E. Guerrero, Procesos de Manufactura en Ingeniería Industrial, UNAD, 2008.

# ANEXOS

## Anexo 1: Ensayo de tracción



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 050224304120201214-ETC	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Jairo Naranjo.	
<b>Dirección:</b> Latacunga.	
<b>Núm. de cédula/RUC:</b> 0502243041.	<b>Teléfono:</b>   593992570629.
<b>E-mail:</b> jairokey_orno@hotmail.com.	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.	
<b>Designación del material:</b> Material compuesto (biofibra): Resina epóxica con fibra de yute.	
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.	

### Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación de probetas	Matriz	Material de refuerzo	Orientación de la fibra	Probetas a Ensayar
1	050224304120201214-ETC 01	Resina Epóxica	Fibra de Yute	90°	2
2	050224304120201214-ETC 02	Resina Epóxica	Fibra de Yute	45°	2
3	050224304120201214-ETC 03	Resina Epóxica	Fibra de Yute	60°	2
<b>Total</b>					<b>6</b>

**Nota:** La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es declarada por el cliente.



ENSAYO SOLICITADO			
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	050224304120201214-ETC 01-1	Cumple criterios dimensionales	2020/12/14
2	050224304120201214-ETC 01-2	Cumple criterios dimensionales	2020/12/14
3	050224304120201214-ETC 02-1	Cumple criterios dimensionales	2020/12/14
4	050224304120201214-ETC 02-2	Cumple criterios dimensionales	2020/12/14
5	050224304120201214-ETC 03-1	Cumple criterios dimensionales	2020/12/14
6	050224304120201214-ETC 03-2	Cumple criterios dimensionales	2020/12/14

**NOTA:** LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 050224304120201214-ETC.**

**DATOS GENERALES**

**DATOS INFORMATIVOS:**

**N° de proforma:** RM\_2020\_026.

**Empresa/Cliente:** Jairo Naranjo.

**RUC/C.I.:** 0502243041.

**Dirección:** Latacunga.

**Correo:** jairokey\_orno@hotmail.com.

**DATOS DEL ENSAYO:**

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.

**Dirección:** Ambato/Catigлата, Toronto y Río de Janeiro.

**Método de ensayo:** ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

**Tipo de ensayo:** Cuantitativo. **Tipo de probeta:** Plana

**Equipo utilizado:** Máquina de ensayos universal Metrotest 1500KN

**Modelo:** STH-1500/CS. **Serie:** 8802M001

**Velocidad de ensayo:** 5 mm/min. **Precarga:** 0,01 N.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 2020/12/14. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2020/12/14.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *probetas de material compuesto (biofibra): Resina epóxica con fibra de yute*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas:**

N°	Identificación de probetas	Matriz	Material de refuerzo	Orientación de la fibra	Probetas a Ensayar
1	050224304120201214-ETC 01	Resina Epóxica	Fibra de Yute	90°	2
2	050224304120201214-ETC 02	Resina Epóxica	Fibra de Yute	45°	2
3	050224304120201214-ETC 03	Resina Epóxica	Fibra de Yute	60°	2
<b>Total</b>					<b>6</b>

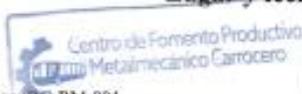
**Observaciones:** La fabricación de la probeta para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.

**Nota:** Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Jorge Rodas B. MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Lugar y fecha de emisión de informe:** Ambato, 18 de diciembre de 2020.

**N° de factura:**001-002-000010017.



## Anexo 2: Norma ASTM D 3039



Designation: D 3039/D 3039M – 00<sup>ε1</sup>

### Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

<sup>ε1</sup> Note—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

#### 1. Scope

1.1 This test method determines the in-plane tensile properties of polymer matrix composite materials reinforced by high-modulus fibers. The composite material forms are limited to continuous fiber or discontinuous fiber-reinforced composites in which the laminate is balanced and symmetric with respect to the test direction.

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. Within the text, the inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement<sup>2</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins<sup>3</sup>
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics<sup>3</sup>
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials<sup>4</sup>
- D 3878 Terminology for Composite Materials<sup>4</sup>
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials<sup>4</sup>

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>5</sup>
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>5</sup>
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>5</sup>
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>6</sup>
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>5</sup>
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>6</sup>
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics<sup>6</sup>
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading<sup>5</sup>
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

#### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

##### 3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Lamina and Laminate Test Methods.

Current edition approved April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

<sup>4</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

<sup>5</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

<sup>6</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

dimensions, shown within square brackets:  $[M]$  for mass,  $[L]$  for length,  $[T]$  for time,  $[\Theta]$  for thermodynamic temperature, and  $[nd]$  for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *nominal value,  $n$* —a value, existing in name only, assigned to a measurable property for the purpose of convenient designation. Tolerances may be applied to a nominal value to define an acceptable range for the property.

3.2.2 *transition region,  $n$* —a strain region of a stress-strain or strain-strain curve over which a significant change in the slope of the curve occurs within a small strain range.

3.2.3 *transition strain,  $\epsilon^{transition} [nd]$ ,  $n$* —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

3.2.3.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during loading, such as seen in plots of either longitudinal stress versus longitudinal strain or transverse strain versus long longitudinal strain. There are varying physical reasons for the existence of a transition region. Common examples include: matrix cracking under tensile loading and ply delamination.

3.3 *Symbols:*

3.3.1  $A$ —minimum cross-sectional area of a coupon.

3.3.2  $B_y$ —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about  $y$  axis of the specimen (about the narrow direction).

3.3.3  $B_z$ —percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about  $z$  axis of the specimen (about the wide direction).

3.3.4  $CV$ —coefficient of variation statistic of a sample population for a given property (in percent).

3.3.5  $E$ —modulus of elasticity in the test direction.

3.3.6  $F^{tu}$ —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7  $F^{su}$ —ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8  $h$ —coupon thickness.

3.3.9  $L_g$ —extensometer gage length.

3.3.10  $L_{min}$ —minimum required bonded tab length.

3.3.11  $n$ —number of coupons per sample population.

3.3.12  $P$ —load carried by test coupon.

3.3.13  $P^f$ —load carried by test coupon at failure.

3.3.14  $P^{max}$ —maximum load carried by test coupon before failure.

3.3.15  $s_{n-1}$ —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

3.3.16  $w$ —coupon width.

3.3.17  $x_i$ —test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18  $\bar{x}$ —mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19  $\delta$ —extensional displacement.

3.3.20  $\epsilon$ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21  $\epsilon$ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22  $\sigma$ —normal stress.

3.3.23  $\nu$ —Poisson's ratio.

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

#### 5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to produce tensile property data for material specifications, research and development, quality assurance, and structural design and analysis. Factors that influence the tensile response and should therefore be reported include the following: material, methods of material preparation and lay-up, specimen stacking sequence, specimen preparation, specimen conditioning, environment of testing, specimen alignment and gripping, speed of testing, time at temperature, void content, and volume percent reinforcement. Properties, in the test direction, which may be obtained from this test method include the following:

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

#### 6. Interferences

6.1 *Material and Specimen Preparation*—Poor material fabrication practices, lack of control of fiber alignment, and damage induced by improper coupon machining are known causes of high material data scatter in composites.

6.2 *Gripping*—A high percentage of grip-induced failures, especially when combined with high material data scatter, is an indicator of specimen gripping problems. Specimen gripping methods are discussed further in 7.2.4, 8.2, and 11.5.

6.3 *System Alignment*—Excessive bending will cause premature failure, as well as highly inaccurate modulus of elasticity determination. Every effort should be made to eliminate excess bending from the test system. Bending may occur as a result of misaligned grips or from specimens themselves if improperly installed in the grips or out-of-tolerance caused by poor specimen preparation. If there is any doubt as to the alignment inherent in a given test machine, then the alignment should be checked as discussed in 7.2.5.

6.4 *Edge Effects in Angle Ply Laminates*—Premature failure and lower stiffnesses are observed as a result of edge softening in laminates containing off-axis plies. Because of this, the strength and modulus for angle ply laminates can be drastically underestimated. For quasi-isotropic laminates containing significant  $0^\circ$  plies, the effect is not as significant.

#### 7. Apparatus

7.1 *Micrometers*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer with a flat anvil interface shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 2.5 \mu\text{m}$  [ $\pm 0.0001 \text{ in.}$ ] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 25 \mu\text{m}$  [ $\pm 0.001 \text{ in.}$ ] is adequate for width measurement.

**7.2 Testing Machine**—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 and shall satisfy the following requirements:

**7.2.1 Testing Machine Heads**—The testing machine shall have both an essentially stationary head and a movable head.

**7.2.2 Drive Mechanism**—The testing machine drive mechanism shall be capable of imparting to the movable head a controlled velocity with respect to the stationary head. The velocity of the movable head shall be capable of being regulated as specified in 11.3.

**7.2.3 Load Indicator**—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load being carried by the test specimen. This device shall be essentially free from inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy over the load range(s) of interest of within  $\pm 1\%$  of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

*Note 1*—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load are being determined, place extreme requirements on the load cell and its calibration. For some equipment, a special calibration may be required. For some combinations of material and load cell, simultaneous precision measurement of both elastic modulus and ultimate strength may not be possible and measurement of modulus and strength may have to be performed in separate tests using a different load cell range for each test.

**7.2.4 Grips**—Each head of the testing machine shall carry one grip for holding the test specimen so that the direction of load applied to the specimen is coincident with the longitudinal axis of the specimen. The grips shall apply sufficient lateral pressure to prevent slippage between the grip face and the coupon. If tabs are used the grips should be long enough that they overhang the beveled portion of the tab by approximately 10 to 15 mm [0.5 in.]. It is highly desirable to use grips that are rotationally self-aligning to minimize bending stresses in the coupon.

*Note 2*—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in untabbed coupons. Smooth gripping surfaces have been used successfully with either hydraulic grips or an emery cloth interface, or both.

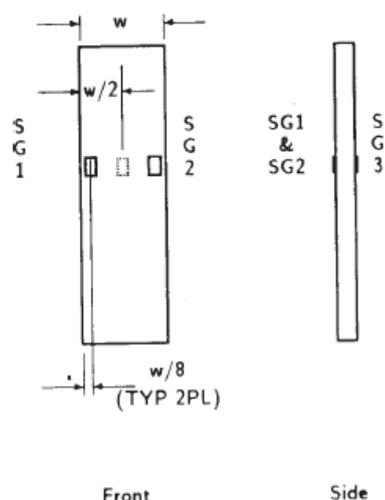
**7.2.5 System Alignment**—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

**7.2.5.1** A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane ( $B_1$ ) and width plane ( $B_2$ ) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

**7.2.5.2** When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

**7.2.5.3** The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon and the total percent bending,  $B_{\text{total}}$ . Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

**7.2.5.4** Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the



**FIG. 1** Gage Locations for System Alignment Check Coupon

maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels ( $>1000 \mu\epsilon$ ). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_3}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

where:

- $B_y$  = percent bending about system  $y$  axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;
- $B_z$  = percent bending about system  $z$  axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;
- $\epsilon_1, \epsilon_2, \text{ and } \epsilon_3$  = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1,  $\mu\epsilon$ ; and
- $\epsilon_{ave}$  =  $(|\epsilon_1 + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$ .

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

**7.3 Strain-Indicating Device**—Load-strain data, if required, shall be determined by means of either a strain transducer or an extensometer. Attachment of the strain-indicating device to the coupon shall not cause damage to the specimen surface. If Poisson's ratio is to be determined, the specimen shall be instrumented to measure strain in both longitudinal and lateral directions. If the modulus of elasticity is to be determined, the longitudinal strain should be simultaneously measured on opposite faces of the specimen to allow for a correction as a result of any bending of the specimen (see 11.6 for further guidance).

**7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection**—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].<sup>7</sup> Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.<sup>8</sup>

**7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites** in accordance with Practice E 1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process.

<sup>7</sup> A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- $\Omega$  resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

<sup>8</sup> Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54-65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.

The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

**7.3.1.2** Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350  $\Omega$  or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

**7.3.1.3** Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

**7.3.1.4** Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 11.

**7.3.2 Extensometers**—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

**NOTE 3**—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

**7.4 Conditioning Chamber**—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required relative vapor level to within  $\pm 3\%$ . Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

**7.5 Environmental Test Chamber**—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the gage section of the test specimen at the required test environment during the mechanical test.

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

Note 4—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

8.2 *Geometry*—Design of mechanical test coupons, especially those using end tabs, remains to a large extent an art rather than a science, with no industry consensus on how to approach the engineering of the gripping interface. Each major composite testing laboratory has developed gripping methods for the specific material systems and environments commonly encountered within that laboratory. Comparison of these methods shows them to differ widely, making it extremely difficult to recommend a universally useful approach or set of approaches. Because of this difficulty, definition of the geometry of the test coupon is broken down into the following three levels, which are discussed further in each appropriate section:

Purpose	Degree of Geometry Definition
8.2.1 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	Nonmandatory Typical Practices

8.2.1 *General Requirements:*

8.2.1.1 *Shape, Dimensions, and Tolerances*—The complete list of requirements for specimen shape, dimensions, and tolerances is shown in Table 1.

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of load into the specimen and the prevention of premature failure as a result of a significant discontinuity. Therefore, determine the need to use tabs, and specification of the major tab design parameters, by the end

result: acceptable failure mode and location. If acceptable failure modes occur with reasonable frequency, then there is no reason to change a given gripping method (see 11.10).

8.2.2 *Specific Recommendations:*

8.2.2.1 *Width, Thickness, and Length*—Select the specimen width and thickness to promote failure in the gage section and assure that the specimen contains a sufficient number of fibers in the cross section to be statistically representative of the bulk material. The specimen length should normally be substantially longer than the minimum requirement to minimize bending stresses caused by minor grip eccentricities. Keep the gage section as far from the grips as reasonably possible and provide a significant amount of material under stress and therefore produce a more statistically significant result. The minimum requirements for specimen design shown in Table 1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Therefore, recommendations on other important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These geometries have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system.

8.2.2.2 *Gripping/Use of Tabs*—There are many material configurations, such as multidirectional laminates, fabric-based materials, or randomly reinforced sheet-molding compounds, which can be successfully tested without tabs. However, tabs are strongly recommended when testing unidirectional materials (or strongly unidirectionally dominated laminates) to failure in the fiber direction. Tabs may also be required when testing unidirectional materials in the matrix direction to prevent gripping damage.

8.2.2.3 *Tab Geometry*—Recommendations on important dimensions are provided for typical material configurations in Table 2. These dimensions have been found by a number of testing laboratories to produce acceptable failure modes on a wide variety of material systems, but use of them does not guarantee success for every existing or future material system. The selection of a tab configuration that can successfully produce a gage section tensile failure is dependent upon the coupon material, coupon ply orientation, and the type of grips being used. When pressure-operated nonwedge grips are used with care, squared-off 90° tabs have been used successfully. Wedge-operated grips have been used most successfully with tabs having low bevel angles (7 to 10°) and a feathered smooth transition into the coupon. For alignment purposes, it is essential that the tabs be of matched thickness.

8.2.2.4 *Friction Tabs*—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the load into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

Parameter	Requirement
<b>Coupon Requirements:</b>	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length
specimen width	as needed <sup>A</sup>
specimen width tolerance	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±4 % of thickness
specimen flatness	flat with light finger pressure
<b>Tab Requirements (if used):</b>	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	±1 % tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

<sup>A</sup> See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

**TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations<sup>A</sup>**

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle,°
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [ 7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

<sup>A</sup> Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.<sup>9</sup>

**8.2.2.5 Tab Material**—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]<sub>n</sub>s laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

**8.2.2.6 Bonded Tab Length**—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{\text{tu}}h/2F^{\text{su}} \quad (4)$$

where:

- $L_{\min}$  = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- $F^{\text{tu}}$  = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- $h$  = coupon thickness, mm [in.]; and
- $F^{\text{su}}$  = ultimate shear strength of adhesive, coupon material, or tab material (whichever is lowest), MPa [psi].

**8.2.2.7 Bonded Tab Adhesive**—Any high-elongation (tough) adhesive system that meets the environmental requirements may be used when bonding tabs to the material under test. A uniform bondline of minimum thickness is desirable to reduce undesirable stresses in the assembly.

**8.2.3 Detailed Examples**—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and tolerated coupon drawing. Dimensionally tolerated specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in Fig. 2 (SI) and Fig. 3 (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of Table 1 for all of the recommended configurations of Table 2. For a specific configuration, the tolerances on Fig. 2 and Fig. 3 might be able to be relaxed.

### 8.3 Specimen Preparation:

**8.3.1 Panel Fabrication**—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured

properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

**8.3.2 Machining Methods**—Specimen preparation is extremely important for this specimen. Mold the specimens individually to avoid edge and cutting effects or cut from them plates. If they are cut from plates, take precautions to avoid notches, undercuts, rough or uneven surfaces, or delaminations caused by inappropriate machining methods. Obtain final dimensions by water-lubricated precision sawing, milling, or grinding. The use of diamond tooling has been found to be extremely effective for many material systems. Edges should be flat and parallel within the specified tolerances.

**8.3.3 Labeling**—Label the coupons so that they will be distinct from each other and traceable back to the raw material and in a manner that will both be unaffected by the test and not influence the test.

## 9. Calibration

9.1 The accuracy of all measuring equipment shall have certified calibrations that are current at the time of use of the equipment.

## 10. Conditioning

**10.1 Standard Conditioning Procedure**—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10 % relative humidity).

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

11.1.1 The tension specimen sampling method, coupon type and geometry, and conditioning travelers (if required).

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

**Note 5**—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

11.1.4 If performed, the sampling method, coupon geometry, and test parameters used to determine density and reinforcement volume.

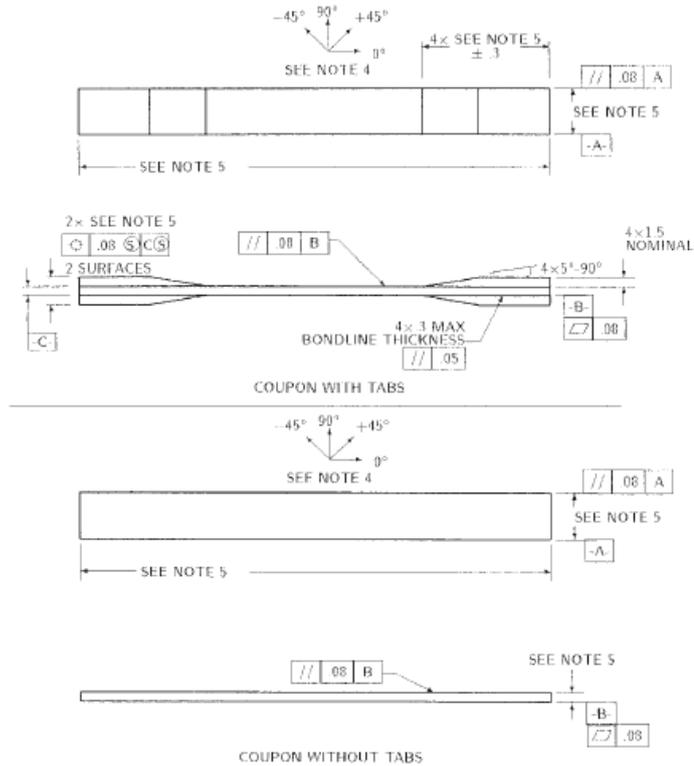
### 11.2 General Instructions:

11.2.1 Report any deviations from this test method, whether intentional or inadvertent.

<sup>9</sup> E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

**ASTM D 3039/D 3039M – 00e1**

- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
  2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  
 NO DECIMAL | X | XX  
 ± 3 | ± 1 | ± .3
  3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
  4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ± .5°.
  5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
  6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
  7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.



**FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)**

11.2.2 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as  $A = w \times h$ , at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of  $\text{mm}^2$  ( $\text{in.}^2$ ).

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of  $0.01 \text{ min}^{-1}$ .

11.3.2 *Constant Head-Speed Tests*—A standard head displacement rate of  $2 \text{ mm/min}$  [ $0.05 \text{ in./min}$ ].

NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as

- DRAWING NOTES:
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
  2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
  3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± 5°.
  4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ± 5°.
  5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64√ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
  5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
  6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

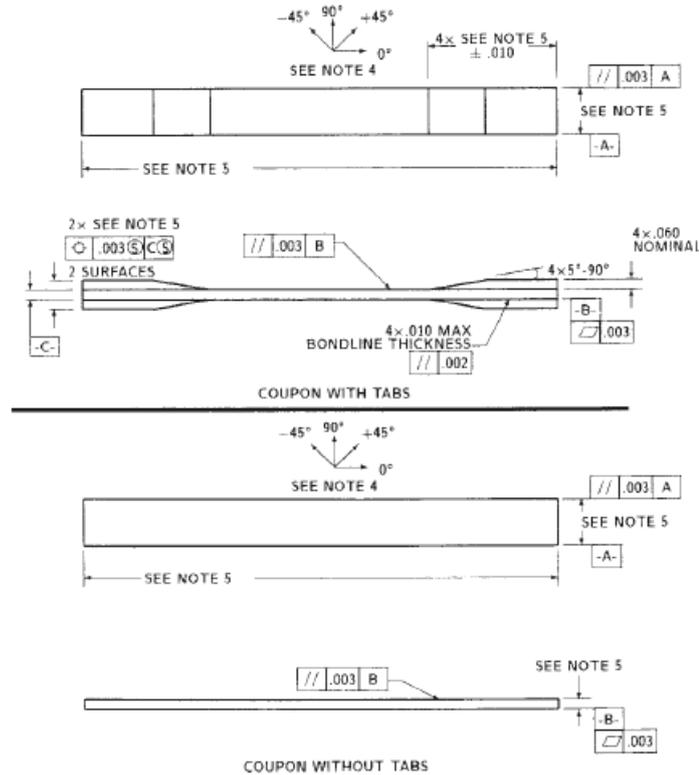


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded.

11.4.1 Store the specimen in the conditioned environment until test time, if the testing area environment is different than the conditioning environment.

11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

NOTE 7—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using

untabbed specimens, a folded strip of medium grade (80 to 150 grit) emery cloth between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

11.6 *Transducer Installation*—If strain response is to be determined attach the strain-indication transducer(s) to the specimen, symmetrically about the mid-span, mid-width location. Attach the strain-recording instrumentation to the transducers on the specimen.

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 5, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the

**TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges**

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 <sup>B</sup>	3000	2000

<sup>A</sup> 1000  $\mu\epsilon$  = 0.001 absolute strain.  
<sup>B</sup> This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000  $\mu\epsilon$ , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (5)$$

where:

- $\epsilon_f$  = indicated strain from front transducer,  $\mu\epsilon$ ;
- $\epsilon_b$  = indicated strain from back transducer,  $\mu\epsilon$ ; and
- $B_y$  = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load versus time data.

11.9 *Failure Mode*—Record the mode and location of failure of the specimen. Choose, if possible, a standard description using the three-part failure mode code that is shown in Fig. 4.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load introduction into the material if a significant fraction of failures in a sample population occur within one specimen width of the tab or grip. Factors considered should include the tab alignment, tab material, tab angle, tab adhesive, grip type, grip pressure, and grip alignment.

## 12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 7.

$$F^{tu} = P^{max}/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

- $F^{tu}$  = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- $P^{max}$  = maximum load before failure, N [lbf];
- $\sigma_i$  = tensile stress at  $i$ th data point, MPa [psi];
- $P_i$  = load at  $i$ th data point, N [lbf]; and
- $A$  = average cross-sectional area from 11.2.3, mm<sup>2</sup> [in.<sup>2</sup>].

12.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 8 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (8)$$

where:

- $\epsilon_i$  = tensile strain at  $i$ th data point,  $\mu\epsilon$ ;
- $\delta_i$  = extensometer displacement at  $i$ th data point, mm [in.]; and
- $L_g$  = extensometer gage length, mm [in.].

### 12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

12.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 9. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

12.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{chord} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (9)$$

where:

- $E^{chord}$  = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$  = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\epsilon$  = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used,

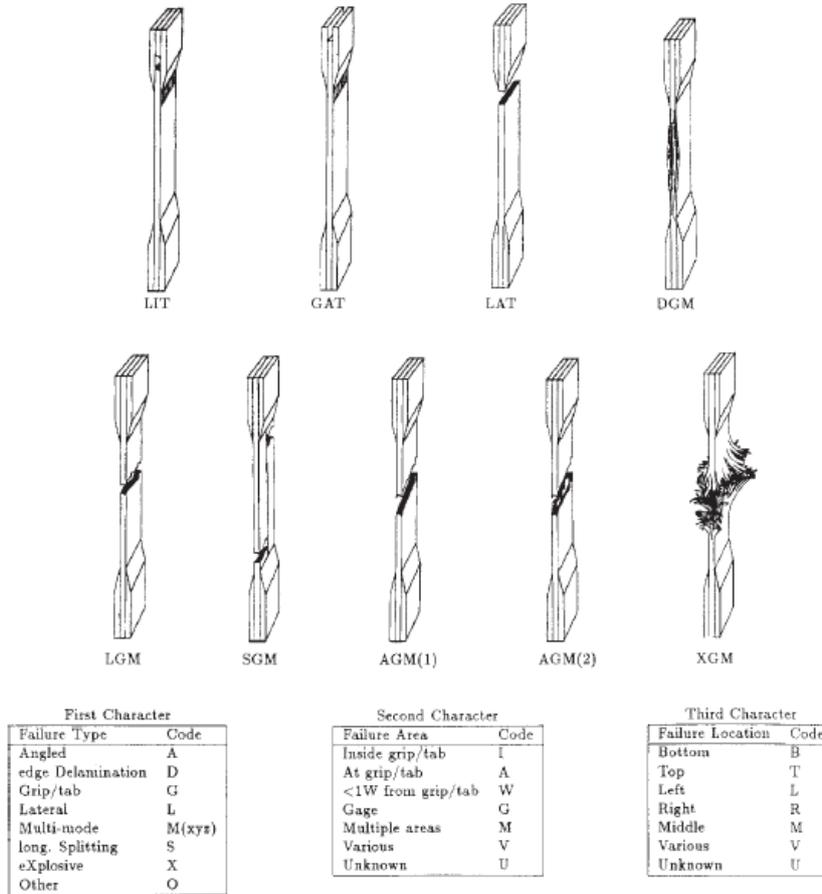


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load),  $\epsilon_t$ , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load),  $\epsilon_l$ , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

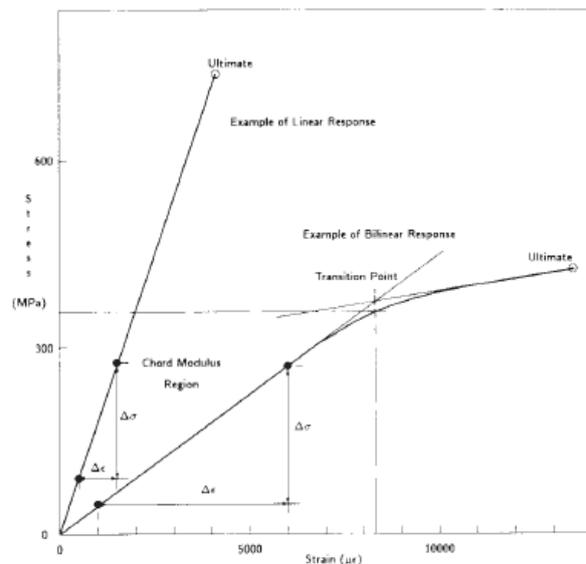


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

**Anexo 3: Norma NTE INEN 1323**



**INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN**

Quito - Ecuador

---

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 1323:2009**  
**Primera revisión**

---

---

**VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES.  
REQUISITOS.**

**Primera Edición**

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

First Edition

---

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos  
MC 01.01-401  
CDU: 629.11.011.6  
CIU: 3843  
ICS: 43.020.60

## 5. REQUISITOS

### 5.1 Estructura de las carrocerías de buses

5.1.1 *Cargas de Diseño.* Para el análisis cuasi estático de la estructura de la carrocería se aplicarán las cargas especificadas en el presente numeral.

5.1.1.1 *Cargas vivas.* Se determinarán de acuerdo con la tabla 1.

TABLA 1. Cargas vivas de diseño.

TIPO DE SERVICIO (ver nota 3)	MASA DE UN OCUPANTE (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE DE MANO POR PASAJERO (kg)	MASA MÍNIMA DE EQUIPAJE A TRANSPORTARSE EN BODEGAS PORTA EQUIPAJES (kg) (ver nota 4)	ESPACIO NECESARIO POR PASAJERO DE PIE (m <sup>2</sup> )
Urbano	70	-	-	0,16
Urbano (escolar e institucional)	70	-	-	Sin pasajeros de pie
Interurbano (Intraprovincial)	70	5	100 x Vol	0,16
Larga Distancia (Interprovincial y turismo)	70	5	100 x Vol	Sin pasajeros de pie

5.1.1.2 *Carga de Giro (G).* Debe calcularse en función de la fuerza centrífuga que se genera al ingresar el vehículo en una curva de determinado radio de giro y a cierta velocidad. Esta fuerza centrífuga deberá ser inferior a la fuerza de vuelco, calculada sobre la base del peso total del bus a plena carga y su centro de gravedad. La velocidad crítica deberá ser considerada de al menos 90 km/h y el radio de giro se establece en función de la tabla 2.

TABLA 2.- Velocidades, radios mínimos y peraltes en carretera. (Ver Nota 5)

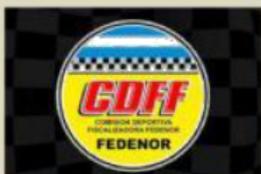
Velocidad (del vehículo) (km/h)	Radio de curvatura de la carretera (m)	Peralte (%)
80	250	8
85	300	
90	350	
95	400	
100	450	
105	500	
110	550	
115	600	
120	700	
125	800	
130	900	6,97
135	1050	6,25
140	1250	5,49
145	1475	4,84
150	1725	4,29

NOTA 3.- De acuerdo a la NTE INEN ISO 3833 vigente y al Reglamento de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre vigente.

NOTA 4.- Vol.- Volumen de las bodegas portaequipajes en m<sup>3</sup>

NOTA 5.- Tabla determinada al documento Norma 3.1-IC

(Continúa)



**COMISION DEPORTIVA FISCALIZADORA FEDERACION NORTE**

**KARTING FEDENOR**

**Reglamento Técnico Chasis Karting 2020**

El presente Reglamento tendrá vigencia a partir del 1º de Enero de 2020 hasta el 31 de Diciembre de 2020.

**CHASIS**

En cuanto a los chasis, se podrán sellar dos (2) por evento, (de fabricación Nacional).  
De bastidor o estructura auto-portante, con medidas que posibiliten la normal CONDUCCIÓN DEL VEHÍCULO.  
Debe estar completamente terminado y no tener elementos provisorios.  
En ningún caso podrán sobresalir elementos en la parte delantera o trasera del chasis.  
Prohibido cualquier tipo o sistema de suspensión.  
Deberá poseer eje rígido trasero.

**Dimensiones:**

Distancia entre ejes: mínimo 101cm. - máximo 127cm.  
Longitud exterior: 182 cm. Máximo  
Trocha: 140 cm. Máximo

**EJE RIGIDO TRASERO**

Eje rígido, macizo o hueco, máximo 30.00mm  $\pm$ 0.20mm de diámetro, deberá ser de material magnético.  
Se autoriza a utilizar eje de Aluminio, macizo únicamente, máximo 30mm  $\pm$  0.20mm de diámetro.  
Aplicable solo a las competencias sobre circuitos de tierra.

**ESCAPE**

No deberá exceder los límites naturales del vehículo, y su altura no podrá superar la del volante de conducción. Será de libre construcción, con amortiguador de ruidos. Prohibido la salida de gases del escape hacia el suelo.  
Deberá contar con silenciador o sordina.

**COMBUSTIBLE**

Se permite únicamente la utilización de naftas de uso comercial de surtidor (único agregado permitido "Aceite" en las categorías 2t). La misma podrá ser reemplazada por Karting FedeNor en cualquiera de las competencias del año. La nafta será controlada con los elementos que provee la categoría. El resultado de estos controles será inapelable.

### **Paragolpes Laterales (Nerf Bars)**

Se componen de una barra superior y de una barra más baja. Deben permitir la sujeción de la carrocería lateral obligatoria. Deben tener un diámetro de 20 (veinte) milímetros. Deberá sujetarse al chasis a través de dos puntos. Estas dos sujeciones deben ser paralelas al suelo y perpendicular al eje del chasis. Ellos deben permitir un montaje (el sistema de sujeción al chasis) de los paragolpes de un mínimo de 50 (cincuenta) milímetros y deben estar separados 500 milímetros (quinientos).

### **CARROCERIA**

Para Todas las categorías, está compuesta de 2 (dos) pontones laterales, un carenado delantero (trompa) y un panel frontal. Sera la homologada por CDA/ACA. Ningún elemento de la carrocería puede usarse como tanque de combustible o para fijar contrapesos o lastre. Una carrocería homologada puede ser usada libremente por cualquier piloto, en cualquier chasis.

El material de construcción de la carrocería no podrá ser metálico, ni de fibra de carbono, ni de kevlar. Debe usarse polietileno, poli estireno o material plástico flexible, no astillable

### **CARENADO FRONTAL (TROMPA)**

Bajo ninguna circunstancia puede situarse por encima del plano delimitado por la parte superior de las ruedas delanteras.

No debe tener ningún borde afilado. Su ancho mínimo es de 1.000 milímetros (mil) y su máximo es el de la trocha delantera.

Proyección delantera: máximo 650 mm.

El Carenado Frontal o Trompa, deberá estar montado sobre el paragolpes delantero cumpliendo las indicaciones fijadas en el dibujo No 5.

De uso OBLIGATORIO.

Deberán ser de plástico flexible o plástico inyectado.

Deberá tener hasta 2 (dos) broches o enganche (gancho) que sujetan la misma. (Ver anexo esquema N. 5)

Se permite la utilización del soporte de plástico que sujeta ambas partes del paragolpes delantero, estas siempre y cuando no sean alteradas originalmente (apertura en los extremos superior e inferior).

Se permite la utilización de un precinto plástico para fijar el broche o enganche de la trompa, con la finalidad de que este broche o enganche pueda ser desprendido.

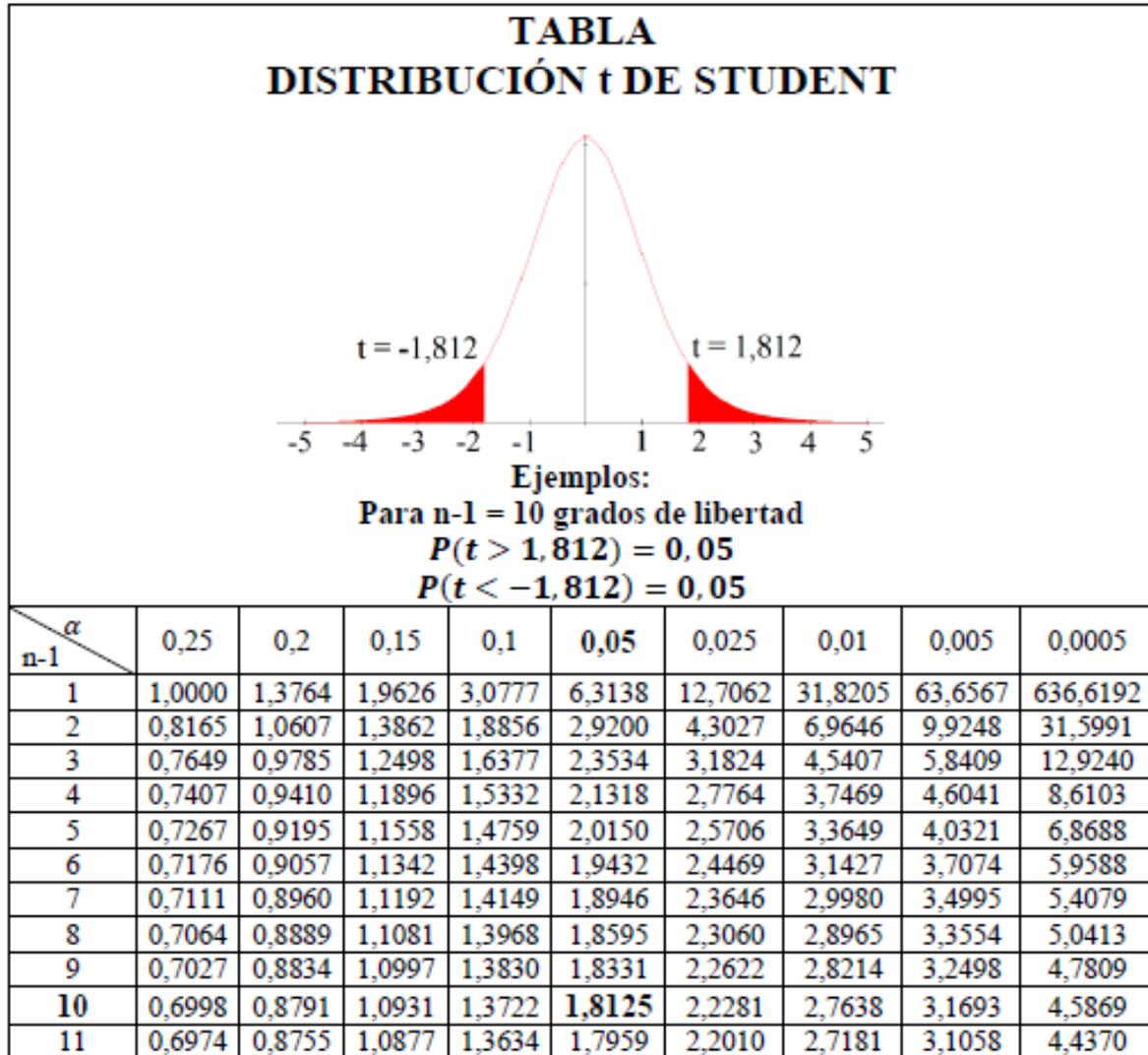
El precinto no deberá estar sujetando la traba de dicho broche o enganche, la cual deberá estar libre de fijaciones.

De detectarse el precinto mal colocado, será decisión del Comisario Deportivo, la aplicación de alguna sanción.

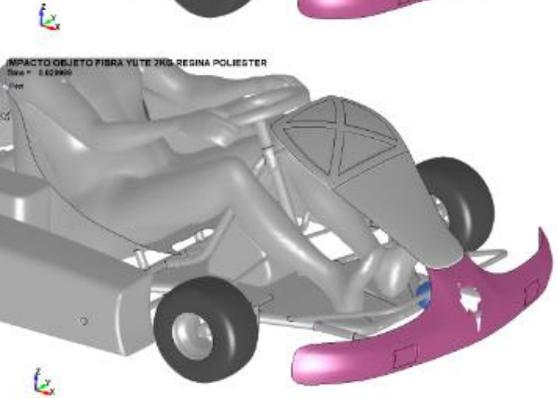
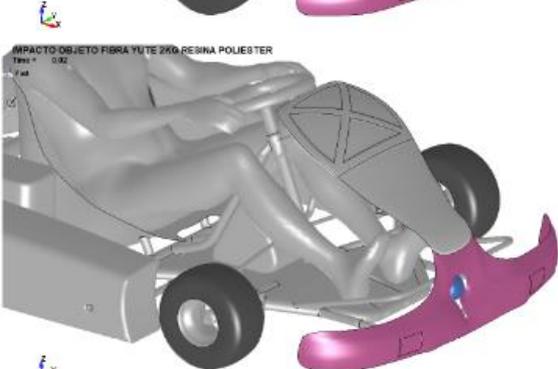
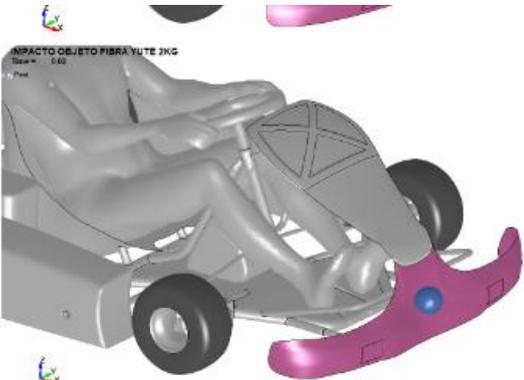
### **PANEL FRONTAL**

No deberá situarse por encima el plano horizontal delimitado por la parte superior del volante de conducción, debiendo dejar un espacio de por lo menos 50 milímetros (cincuenta), con el volante y no deberá extenderse más allá del paragolpes delantero. No debe impedir el normal funcionamiento de los pedales, ni debe cubrir cualquier parte de los pies del piloto, estando este en la posición normal de conducción. Su ancho mínimo es de 250 milímetros (doscientos cincuenta) y máximo 300 milímetros (trescientos).

Anexo 5: Tabla T-student



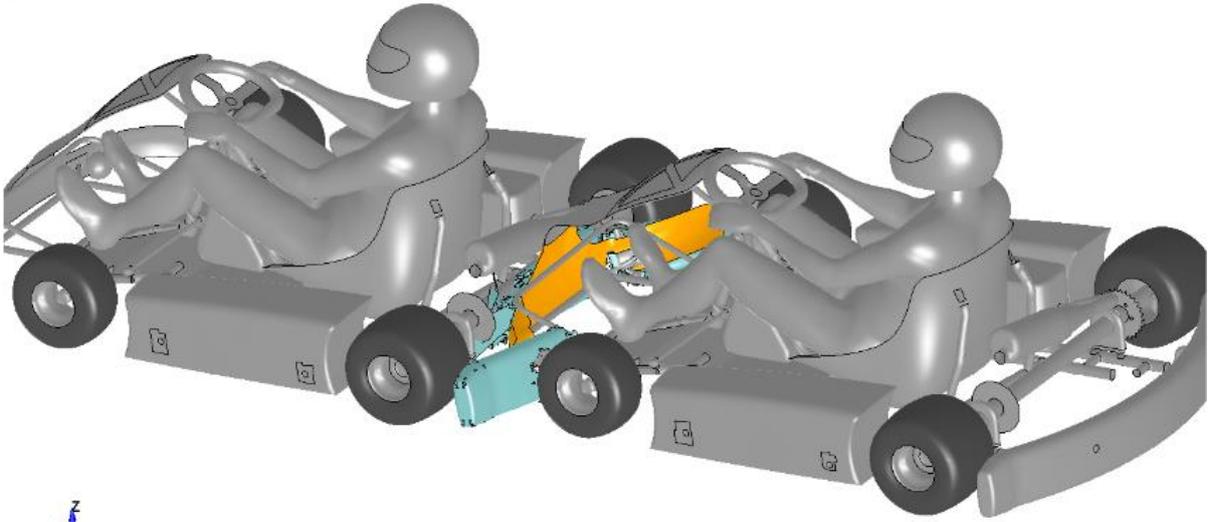
Anexo 6: Comparación mediante Ansys/Ls-Dyna/reseach



**IMPACTO LATERAL 2KARTS**

Time = 0.108

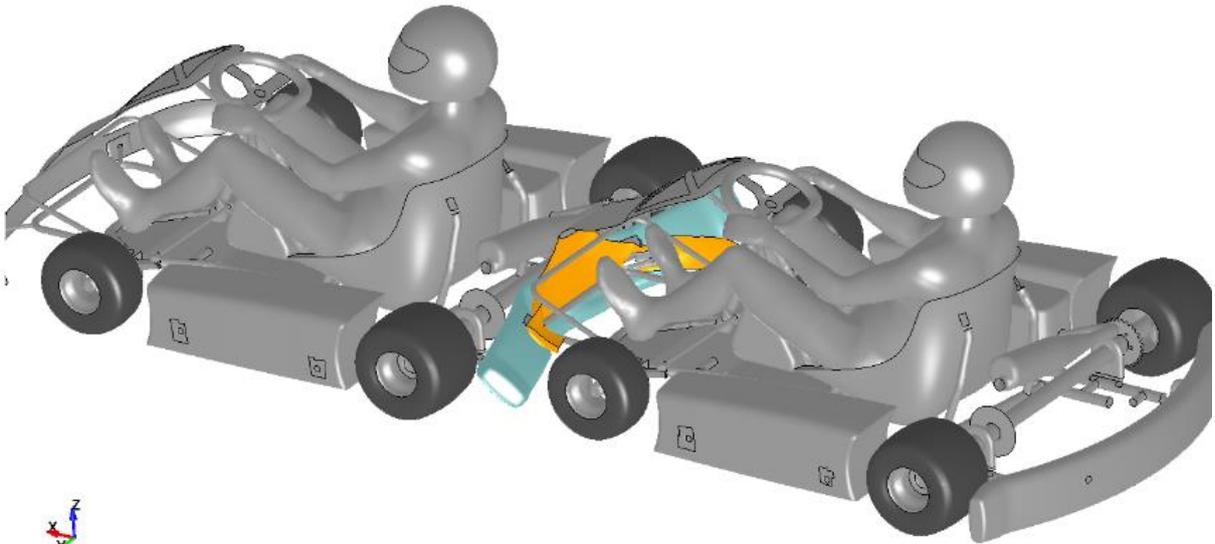
Post



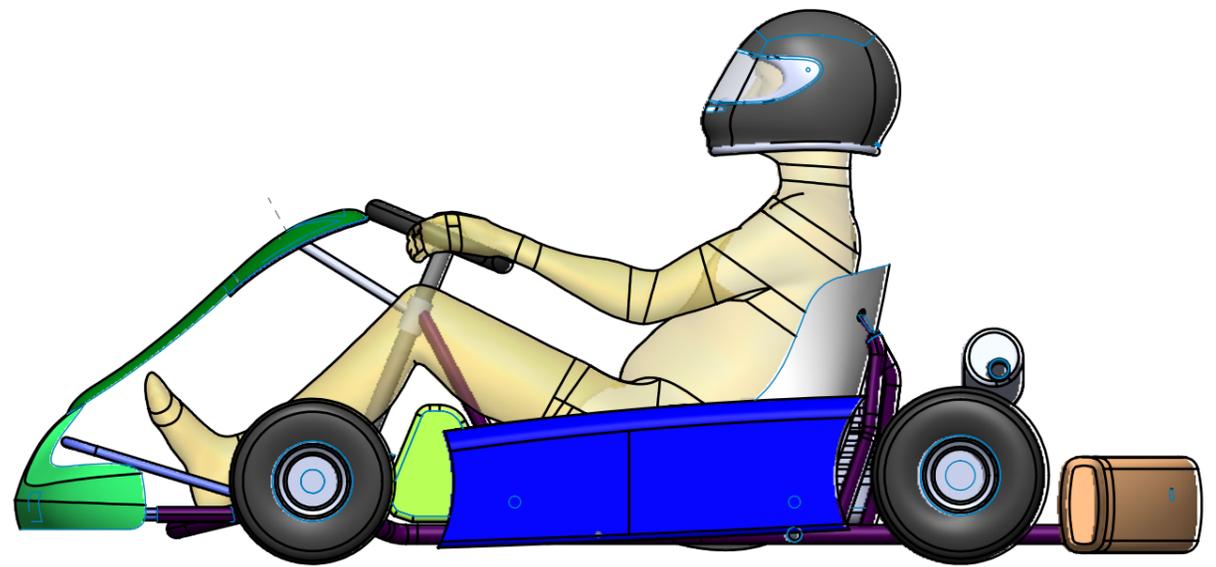
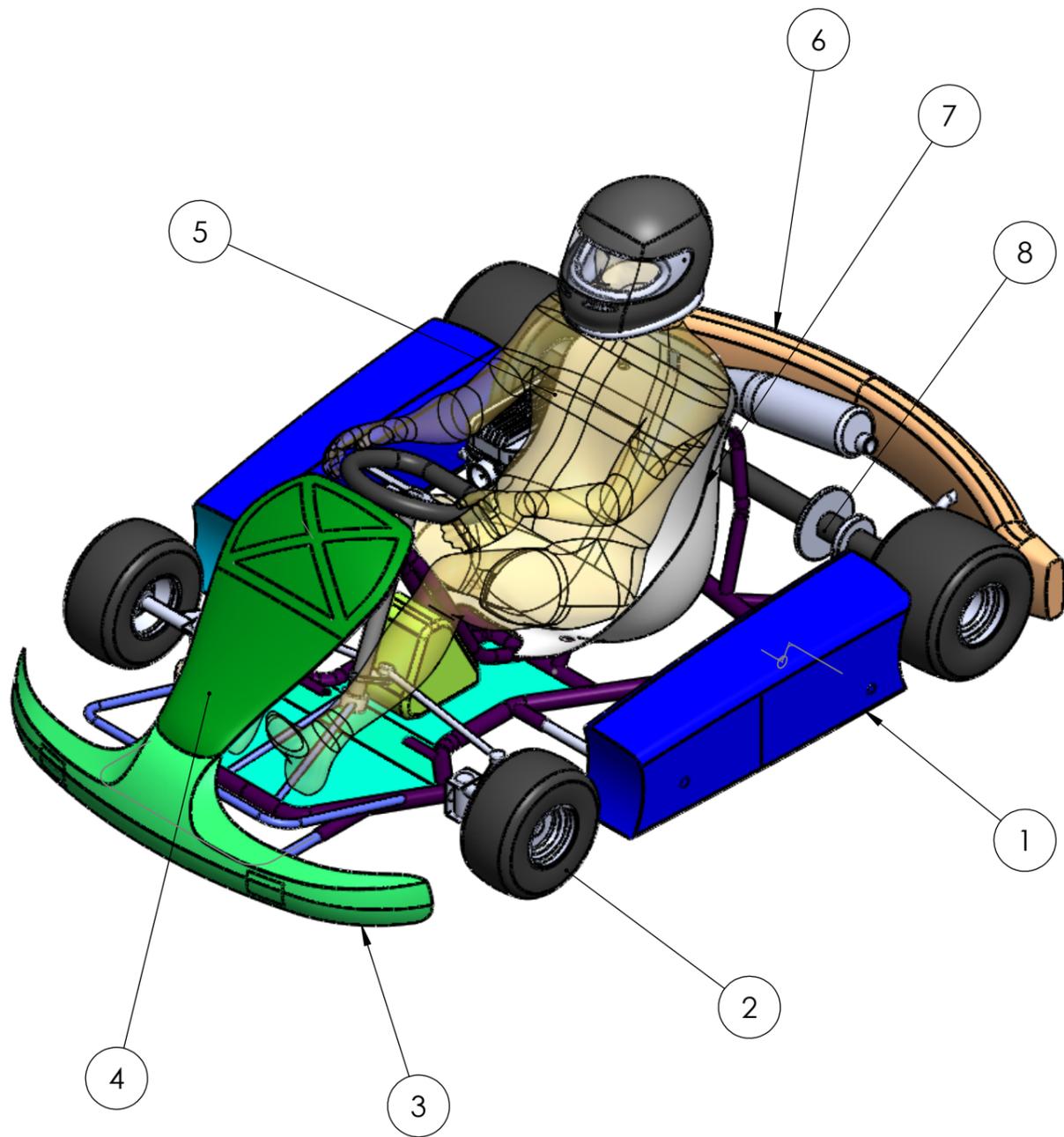
**IMPACTO LATERAL 2KARTS**

Time = 0.138

Post

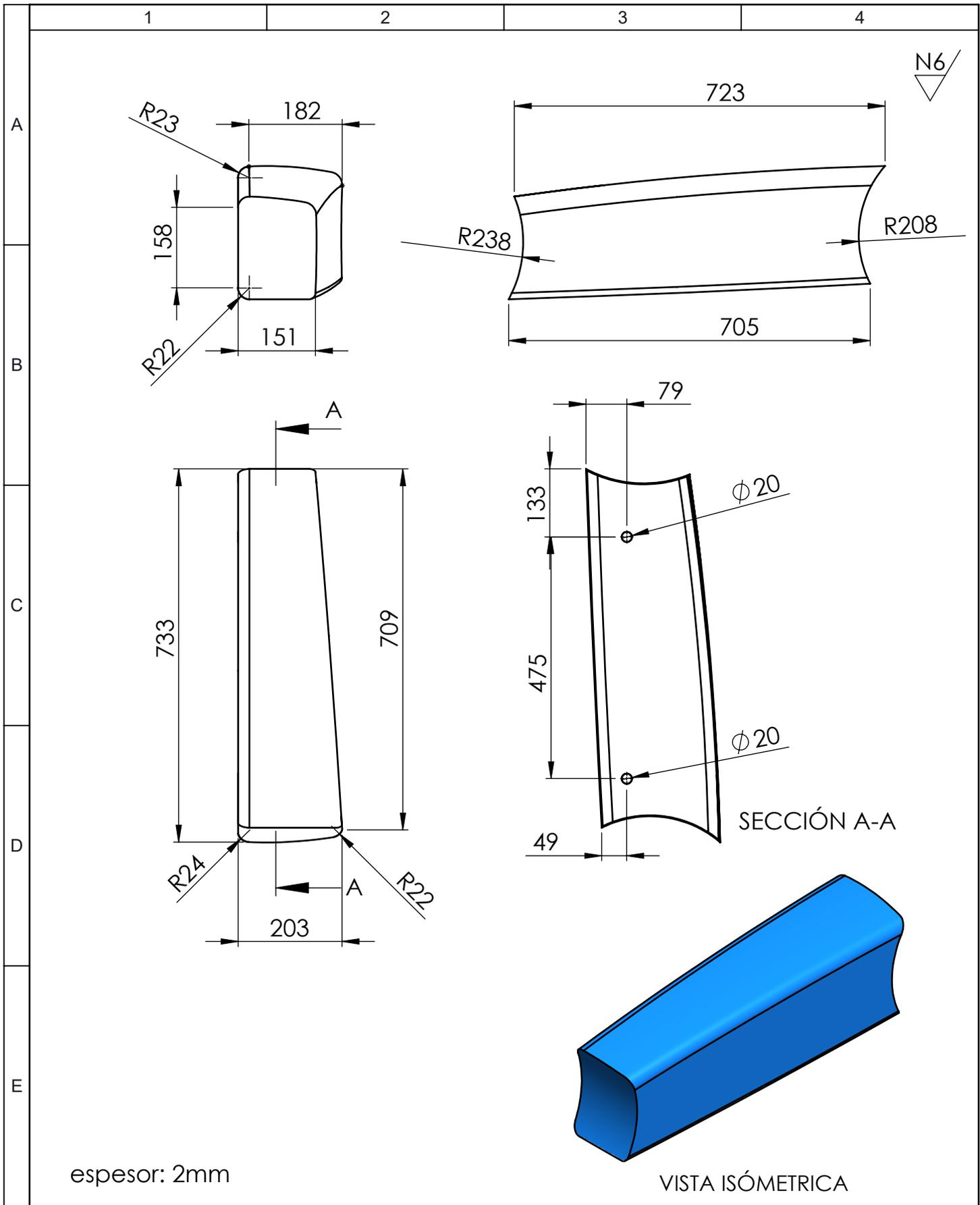


# PLANOS



VISTA LATERAL

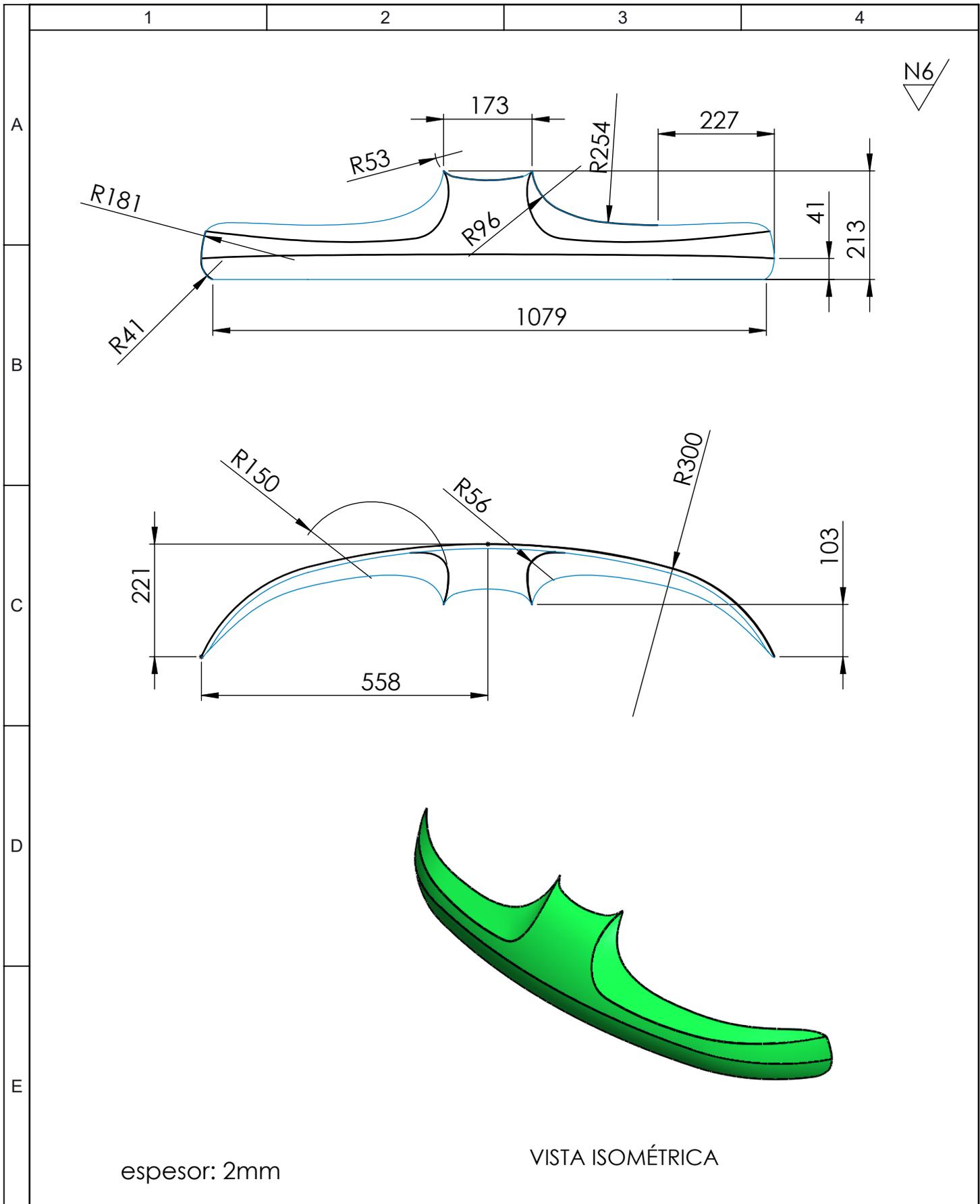
1	Asiento conductor			8			Adquirido
1	Bastidor go-kart	Plano 5	F.yute +R	7			Segun molde
1	Carenado posterior	Plano 4	F.yute +R	6			Segun molde
1	Maniqui para impacto			5			-
1	Carenado protector	Plano 3	F.yute +R	4			Segun molde
1	Carenado frontal	Plano 2	F.yute +R	3			Segun molde
4	Neumático	Catalogo	Caucho	2			Adquirido
2	Carenado lateral	Plano 1	F.yute +R	1			Segun molde
No de pieza	Denominación	No. de norma/Dibujo	Material	No de Orden	No. del modelo semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
			Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
			± 0,5	Kg	Fibra de yute con resina epóxica		
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 22/04/21	Ing. Naranjo J.	ENSAMBLE GO-KART	
				Revisó: 22/04/21	Ing. Lara Mario	Escala:	
				Aprobó: 22/04/21	Ing. Lara Mario	1:10	
						Número del dibujo:	01 de 05
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ing. Mecánica			



espesor: 2mm

VISTA ISÓMETRICA

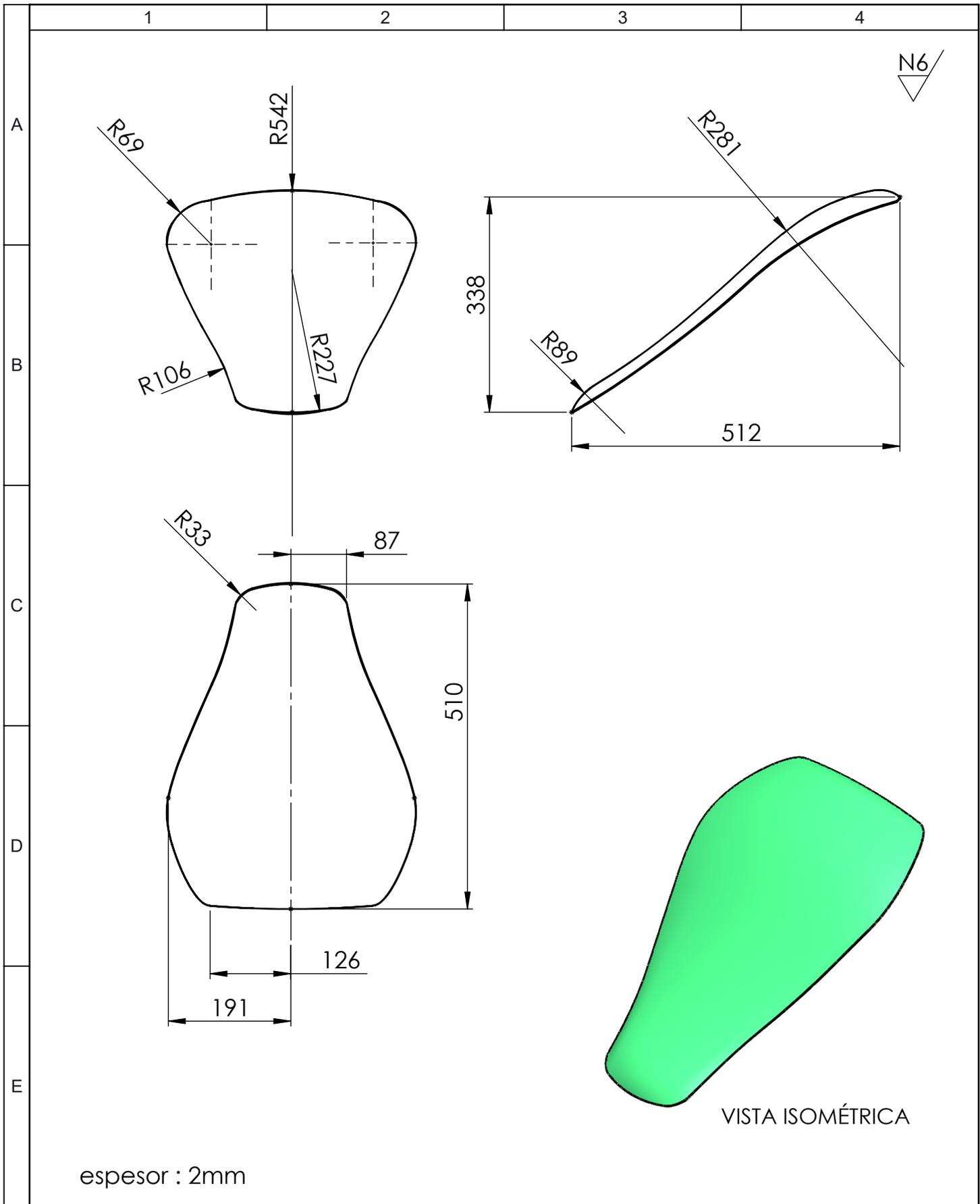
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
				±0,5	Kg	Fibra de yute con resina epóxica		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:	
				Dibujó: 22/04/21	Ing. Naranjo J.			
				Revisó: 22/04/21	Ing. Lara Mario			
				Aprobó: 22/04/21	Ing. Lara Mario	<b>Carenado lateral</b>	1:10	
				UTA				Número del dibujo: 02 de 05
				Ing. Mecánica				
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)		



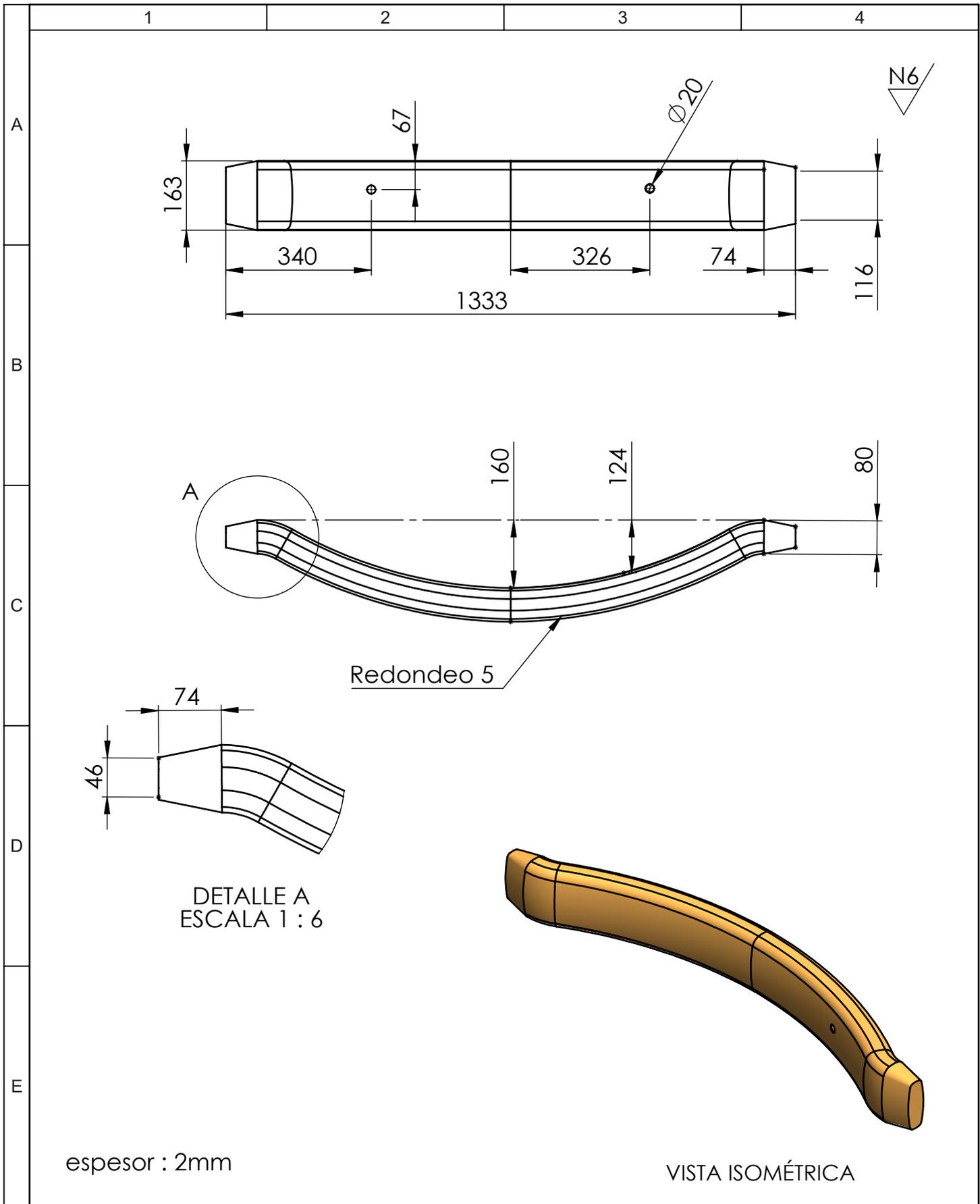
espesor: 2mm

VISTA ISOMÉTRICA

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,5	Kg	Fibra de yute con resina epóxica	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/04/21	Ing. Naranjo J.		
			Revisó:	22/04/21	Ing. Lara Mario		
				Aprobó:	22/04/21	Ing. Lara Mario	1:10
				UTA		Número del dibujo: 03 de 05	
				Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,5	Kg	Fibra de yute con resina epóxica	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 22/04/21	Ing. Naranjo J.		
				Revisó: 22/04/21	Ing. Lara Mario		
				Aprobó: 22/04/21	Ing. Lara Mario	<b>Carenado protector</b>	1:10
				UTA Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



espesor : 2mm

VISTA ISOMÉTRICA

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,5	Kg	Fibra de yute con resina epóxica	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dibujó:	22/04/21	Ing. Naranjo J.		
			Revisó:	22/04/21	Ing. Lara Mario		
				Aprobó:	22/04/21	Ing. Lara Mario	1:10
				UTA		Número del dibujo: 05 de 05	
				Ing. Mecánica			
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

**Carenado posterior**

