



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTECTORES LATERALES
FABRICADO EN UN MATERIAL COMPUESTO DE ABACÁ –
POLIESTER PARA KARTING**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR:

KEVIN STEVEN YÁNEZ VILLARREAL

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTECTORES LATERALES
FABRICADO EN UN MATERIAL COMPUESTO DE ABACÁ –
POLIESTER PARA KARTING**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: KEVIN STEVEN YÁNEZ VILLARREAL

DIRECTOR: ING. EDISON PATRICIO ABARCA PÉREZ

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Kevin Steven Yáñez Villarreal

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Kevin Steven Yáñez Villarreal, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 04 de abril de 2024

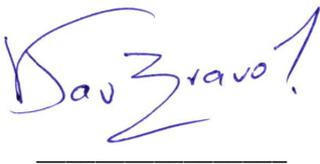


Kevin Steven Yáñez Villarreal

1723460356

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTECTORES LATERALES FABRICADO EN UN MATERIAL COMPUESTO DE ABACÁ – POLIESTER PARA KARTING**, realizado por el señor: **KEVIN STEVEN YÁNEZ VILLARREAL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Cristian David Redroban Dillon PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2024-04-04
Ing. Edison Patricio Abarca Pérez DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2024-04-04
Ing. David Victor Bravo Morocho ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2024-04-04

DEDICATORIA

A mis padres, Telmo Yáñez y Rosy Villarreal, quienes son la base de toda mi vida ya que con su sabiduría, paciencia y amor he podido alcanzar mis metas. A mis hermanos, Emily Yáñez y Brandon Yáñez, las dos personas que me alegran los días y me sirven de inspiración para seguir adelante. Y por último a toda mi familia que han sido un apoyo incondicional y dan el mejor ejemplo de ser una familia unida.

Kevin

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, un agradecimiento muy especial a mi familia quienes me han brindado su apoyo moral para seguir adelante y no rendirme; a la carrera de Ingeniería Automotriz que me han abierto las puertas y brindado las facilidades teóricas y prácticas a lo largo de mi carrera universitaria sin dejar de creer en cada uno de nosotros. A mi tutor, Ing. Patricio Abarca, que, gracias a su guía y sus conocimientos impartidos durante el desarrollo del presente proyecto, y por último a mi asesor de proyecto, Ing. David Bravo, por sus consejos a lo largo de la construcción de presente proyecto.

Kevin

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
<i>1.3.1 Objetivo general.....</i>	<i>2</i>
<i>1.3.2 Objetivos específicos.....</i>	<i>2</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Materiales compuestos.....	4
<i>2.1.1 Tipos de un material compuesto.....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.1.1 Material compuesto de matriz metálica.....</i>	<i>4</i>
<i>2.1.1.2 Material compuesto de matriz cerámica.....</i>	<i>5</i>
<i>2.1.1.3 Material compuesto de matriz polimérica.....</i>	<i>6</i>
2.2 Concepto matriz – refuerzo.....	6
2.3 Matrices para materiales compuestos.....	7
<i>2.3.1 Los polímeros.....</i>	<i>7</i>
<i>2.3.2 Clasificación de los polímeros.....</i>	<i>7</i>
<i>2.3.2.1 Termoestables.....</i>	<i>7</i>
<i>2.3.2.2 Termoplásticos.....</i>	<i>8</i>
<i>2.3.2.3 Elastómeros.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3.3 Función de la matriz polimérica.....</i>	<i>9</i>
2.4 Matrices termoestables.....	9

2.5	Proceso de curado de la resina	10
2.6	Clasificación de las resinas	12
2.6.1	<i>Resina de poliéster</i>	12
2.6.2	<i>Resinas de viniléster</i>	12
2.6.3	<i>Resina de baja emisión de estireno</i>	12
2.6.4	<i>Resina epoxi.....</i>	12
2.7	Materiales de refuerzo	13
2.7.1	<i>Fibras inorgánicas.....</i>	13
2.7.1.1	<i>Fibra de vidrio</i>	13
2.7.1.2	<i>Fibra de carbono.....</i>	14
2.7.2	<i>Fibras sintéticas.....</i>	15
2.7.2.1	<i>Fibras aramídicas</i>	15
2.7.3	<i>Fibras naturales.....</i>	16
2.7.3.1	<i>Fibras vegetales</i>	16
2.8	Fibra de abacá	17
2.8.1	<i>Tipos de fibra de abacá.....</i>	18
2.8.2	<i>Aplicaciones de la fibra de abacá.....</i>	18
2.9	Ensayos destructivos para la caracterización de un material compuesto	19
2.9.1	<i>Ensayo de tracción</i>	19
2.9.2	<i>Ensayo de flexión</i>	20
2.10	Modelado Software CAD	21
2.11	Simulación Software CAE	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	22
3.1	Tipo de investigación.....	22
3.2	Fabricación de probetas para ensayos destructivos.....	22
3.2.1	<i>Materia prima</i>	22
3.2.2	<i>Preparación de la fibra.....</i>	22
3.2.3	<i>Tejido de la fibra de abacá</i>	23
3.2.4	<i>Selección de la matriz polimérica.....</i>	25
3.2.5	<i>Densidad del material compuesto.....</i>	28
3.2.5.1	<i>Densidad de la matriz.....</i>	28
3.2.5.2	<i>Densidad del refuerzo.....</i>	29
3.2.6	<i>Elaboración del molde para probetas.....</i>	29

3.2.7	<i>Elaboración de las probetas</i>	30
3.3	Caracterización del elemento	32
3.3.1	<i>Ensayo de tracción</i>	32
3.3.2	<i>Ensayo de flexión</i>	32
3.4	Elaboración de molde para protectores laterales	33
3.5	Obtención de los pontones laterales a base del material compuesto ABACÁ – POLIESTER.	36
3.6	Diseño protector lateral en SpaceClaim - Ansys	38
3.6.1	<i>Ingeniería Inversa</i>	39
3.6.2	<i>Pasos para el diseño del protector lateral</i>	39
3.6.3	<i>Asignación de material</i>	40
3.6.4	<i>Mallado del protector lateral</i>	41

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	42
4.1	Ensayos de Flexión	42
4.1.1	<i>Resultados ensayos de flexión</i>	42
4.1.2	<i>Evaluación resultados ensayos de flexión</i>	43
4.2	Ensayos de Tracción	44
4.2.1	<i>Resultados ensayos de tracción</i>	44
4.2.2	<i>Evaluación de resultados ensayos de tracción</i>	45
4.2.3	<i>Fibra de vidrio vs Fibra de abacá</i>	46
4.3	Modelación por modelo computacional	47
4.3.1	<i>Modelo CAD</i>	47
4.3.2	<i>Modelo computacional para simulación</i>	48
4.3.3	<i>Análisis estático – longitudinal</i>	49
4.3.3.1	<i>Resultado simulación longitudinal – deformación</i>	49
4.3.3.2	<i>Resultado simulación longitudinal – esfuerzo máximo</i>	50
4.3.3.3	<i>Resultado simulación longitudinal – factor de seguridad</i>	50
4.3.4	<i>Análisis estático – lateral</i>	51
4.3.4.1	<i>Resultado simulación lateral – deformación</i>	51
4.3.4.2	<i>Resultado simulación lateral – esfuerzo máximo</i>	52
4.3.4.3	<i>Resultado simulación lateral – factor de seguridad</i>	52
4.3.5	<i>Análisis estático – superior</i>	53
4.3.5.1	<i>Resultado simulación superior – deformación</i>	53

4.3.5.2	<i>Resultado simulación superior – esfuerzo máximo</i>	54
4.3.5.3	<i>Resultado simulación superior – factor de seguridad</i>	54
4.3.6	<i>Simulación dinámica protector lateral</i>	55
4.3.6.1	<i>Resultados análisis dinámico – lateral</i>	55
4.3.6.2	<i>Resultados análisis dinámico – diagonal</i>	58

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1	Conclusiones	60
5.2	Recomendaciones	61

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Propiedades fibra de vidrio	14
Tabla 2-2:	Propiedades de la fibra de carbono	15
Tabla 2-3:	Principales fibras vegetales	16
Tabla 3-1:	Porcentajes de los componentes para la matriz polimérica	28
Tabla 3-2:	Densidad de la matriz polimérica.....	28
Tabla 3-3:	Determinación de la densidad del refuerzo	29
Tabla 3-4:	Identificación de probetas para ensayos de tracción.....	32
Tabla 3-5:	Identificación de probetas para ensayos de flexión	33
Tabla 3-6:	Masas de la matriz polimérica, primera fase	37
Tabla 3-7:	Masas de la matriz polimérica, segunda fase	38
Tabla 3-8:	Pasos para diseño en SpaceClaim-Ansys	39
Tabla 3-9:	Parámetros para asignar nuevo material.....	40
Tabla 4-1:	Resultados ensayos de flexión	43
Tabla 4-2:	Resultados ensayos de tracción	45
Tabla 4-3:	Comparación propiedades mecánicas fibra de vidrio vs fibra de abacá	47

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Matriz metálica con refuerzo de	5
Ilustración 2-2:	Matriz metálica con refuerzo de fibras	5
Ilustración 2-3:	Configuración base de un material compuesto	6
Ilustración 2-4:	Estructura molecular termoestables	8
Ilustración 2-5:	Estructura molecular termoplástico	8
Ilustración 2-6:	Estructura molecular elastómeros	9
Ilustración 2-7:	Curva exotérmica característica de la resina	10
Ilustración 2-8:	Curvas exotérmicas en función del espesor del laminado	11
Ilustración 2-9:	Domo reforzado con fibra de vidrio\	13
Ilustración 2-10:	Fibra de carbono por SEM	14
Ilustración 2-11:	Planta de abacá	17
Ilustración 2-12:	Aplicaciones de la fibra de abacá	19
Ilustración 2-13:	Probeta para ensayos de tracción	20
Ilustración 2-14:	Posición probeta ensayo de flexión	20
Ilustración 3-1:	Fibra de abacá	22
Ilustración 3-2:	Proceso de extracción de la fibra de abacá	23
Ilustración 3-3:	Estructura de tejido plano	24
Ilustración 3-4:	Proceso de tejido de la fibra de abacá	24
Ilustración 3-5:	Acabado final del tejido de fibra de abacá	25
Ilustración 3-6:	Resina de poliéster insaturada	25
Ilustración 3-7:	Monómero de estireno	26
Ilustración 3-8:	Metiletilcetona (MEK)	26
Ilustración 3-9:	Talco industrial	27
Ilustración 3-10:	Octoato de cobalto	27
Ilustración 3-11:	Porción de fibra de abacá	29
Ilustración 3-12:	Moldes en acrílico	30
Ilustración 3-13:	Cortes de la fibra de abacá	30
Ilustración 3-14:	Inicio del proceso de curado	31
Ilustración 3-15:	Desmoldado de la probeta	32
Ilustración 3-16:	a) Componente A; b) Componente b	33
Ilustración 3-17:	Prueba de poliuretano, componentes A y B	34
Ilustración 3-18:	Espuma de poliuretano para moldeo	35
Ilustración 3-19:	Secado de molde de poliuretano	35
Ilustración 3-20:	Molde para la construcción	36

Ilustración 3-21:	Base de molde	36
Ilustración 3-22:	Nuevo material compuesto, parte superior	37
Ilustración 3-23:	Parte inferior del protector.....	38
Ilustración 3-24:	Mallado protector lateral	41
Ilustración 3-25:	Calidad del elemento – Ansys	41
Ilustración 4-1:	Ensayo de flexión.....	42
Ilustración 4-2:	Maquina electromecánica MTE-50	44
Ilustración 4-3:	Grafica ensayo de tracción-Carga vs Alargamiento.....	46
Ilustración 4-4:	Grafica ensayo de tracción-Fuerza vs Desplazamiento.....	46
Ilustración 4-5:	Protector lateral para kart, acabado final	48
Ilustración 4-6:	Aplicación de fixed support en.....	48
Ilustración 4-7:	Aplicación de fuerza en la parte frontal	49
Ilustración 4-8:	Simulación longitudinal – deformación.....	50
Ilustración 4-9:	Simulación longitudinal – esfuerzo máximo	50
Ilustración 4-10:	Simulación longitudinal – factor de seguridad	51
Ilustración 4-11:	Aplicación de fuerza en la parte lateral	51
Ilustración 4-12:	Simulación lateral – deformación.....	52
Ilustración 4-13:	Simulación lateral – esfuerzo máximo.....	52
Ilustración 4-14:	Simulación lateral – factor de seguridad.....	53
Ilustración 4-15:	Aplicación de fuerza en la parte superior	53
Ilustración 4-16:	Simulación superior – deformación.....	54
Ilustración 4-17:	Simulación superior – esfuerzo máximo	54
Ilustración 4-18:	Simulación superior – factor de seguridad.....	55
Ilustración 4-19:	Deformación máxima lateral en el análisis dinámico	56
Ilustración 4-20:	Deformación plástica equivalente lateral en el análisis dinámico	57
Ilustración 4-21:	Relación deformación – energía interna (frontal)	57
Ilustración 4-22:	Deformación máxima diagonal en el análisis dinámico.....	58
Ilustración 4-23:	Deformación plástica equivalente diagonal en el análisis dinámico	59
Ilustración 4-24:	Relación deformación – energía interna (diagonal)	59

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** PROPIEDADES RESINA POLIÉSTER
- ANEXO B:** FICHA DE HOMOLOGACIÓN DEL LATERAL 003-BS-54
- ANEXO C:** NORMA NTE INEN 2043:2013 (DIMENSION DE RPOBETAS)
- ANEXO D:** NORMA NTE INEN 2047:2013 (DIMENSION DE RPOBETAS)

RESUMEN

El karting es una categoría dentro del mundo del automovilismo que se viene desarrollando en la carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo desde el 2016 y a lo largo de estos años se ha buscado innovar muchos de los componentes que conforman un go kart, entre ellos los bumpers o también llamados protectores. El objetivo de este proyecto fue poder manufacturar los protectores laterales a base del material compuesto abacá-poliéster reemplazando los polímeros convencionales y que ayuden a cumplir con las mismas características mecánicas; así como el uso de fibras naturales que hoy en día son un recurso renovable y de fácil extracción; la unión de un refuerzo termoestable denominado poliéster junto con la fibra natural da como resultado un material compuesto. Esta formación del nuevo material da una gran visión panorámica para buscar alternativas y diferentes aplicaciones para la fabricación de autopartes en el mundo automotriz y buscar que sea un reemplazante a la fibra de vidrio. Se utilizó 3 tipos de metodologías de investigación inductiva, deductiva y experimental que ayudaron a comprender datos conocidos y aplicar procesos basados en la teoría, para finalmente realizar el material compuesto a base de abacá – poliéster en porcentajes de 30% - 70% respectivamente en una sola configuración del refuerzo de forma tejida; finalmente se realizó ensayos destructivos para poder validar las propiedades mecánicas que contribuyen como fibra natural. Los resultados obtenidos en conjunto con la simulación y los ensayos destructivos determinaron un módulo de elasticidad 6243,65 MPa para la fibra de vidrio y 33,55 MPa para la fibra de abacá; por lo que se evidencia una mejora considerable de las características de la fibra de vidrio en comparación a la fibra de abacá.

Palabras clave: <KARTING> <PROTECTORES LATERALES> <ABACÁ> <FIBRA NATURAL> <POLIESTER>.

0421-DBRA-UPT-2024



ABSTRACT

Karting is a category within the world of motorsport that has been developing in Automotive Engineering career at Escuela Superior Politécnica de Chimborazo since 2016 and throughout these years has sought to innovate many of the components that make up a go kart, including bumpers or also called protectors. The objective of this project was to manufacture the side protectors based on the composite material abaca-polyester replacing conventional polymers and help to meet the same mechanical characteristics; As well as the use of natural fibers that nowadays are a renewable resource and of easy extraction; the union of a thermostable reinforcement called polyester together with the natural fiber gives as a result a composite material. The new material formation gives a great panoramic vision to look for alternatives and different applications for the manufacture of auto parts in the automotive world and to look for a replacement for fiberglass. Three types, inductive, deductive, and experimental research methodologies were used helped to understand known data and apply processes based on theory to finally realize the composite material based on abaca - polyester in percentages of 30% - 70% respectively in a single configuration of woven reinforcement. Finally, performing destructive tests to validate the mechanical properties that contribute as natural fiber. The obtained results in conjunction with the simulation and destructive tests determine a modulus of elasticity 6243,65 MPa for the glass fiber and 33,55 MPa for the abaca fiber; so it is evident a considerable improvement of the characteristics of the glass fiber compared to the abaca fiber.

Keywords: <KARTING> <SIDE PROTECTORS> <KARTING> <ABACÁ> <NATURAL FIBER> <POLYESTER>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema MsC.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

Dentro de la rama de la ingeniería automotriz se abarca varios temas referentes a la fabricación o producción de autopartes que incluyen materiales de todo tipo, pero si hablamos del karting puede haber una gran variedad de materiales que se incluyen en la construcción del mismo desde metales hasta plásticos, en general los karting por reglamento de homologación tienen que tener protectores frontales y laterales para una mayor seguridad del piloto, este mismo material es aplicado por sus propiedades mecánicas muy favorables ya que son muy resistentes ante cualquier impacto, pero su alto costo los hacen muy difícil de producir es por eso que se ve la necesidad de poder buscar materiales que puedan reemplazar con menores costos y con una similitud en cuanto a sus propiedades.

Los materiales compuestos consisten en la combinación de dos o más elementos diversos con el objetivo de mejorar sus propiedades, aprovechando sus características mecánicas y aplicándolas en el ámbito automotriz. La investigación y desarrollo en este campo se centra en explorar alternativas a la fibra de vidrio, que ha sido el principal recurso en la fabricación de materiales en diversas industrias debido a su bajo costo, alta resistencia y rigidez. Sin embargo, en la industria automotriz, donde la exposición al medio ambiente es significativa, existe una creciente preocupación por los materiales que, al no ser respetuosos con el entorno, están siendo reemplazados por opciones renovables y más amigables con el medio ambiente.

Una solución para abordar la disminución de la contaminación ambiental implica la utilización de fibras naturales, las cuales son más sencillas de procesar y no dependen de recursos no renovables. Los compuestos fortalecidos con fibras naturales son particularmente atractivos para naciones en desarrollo, ya que muchas de ellas cultivan cáñamo, yute y lino. Un ejemplo es la fibra Abacá, un pariente cercano del banano, compuesta por células largas y delgadas que forman parte de la estructura de soporte de la hoja. Esta fibra se extrae de la vaina que rodea el tronco de la planta de abacá y es apreciada por su alta resistencia mecánica, durabilidad y longitud. En la industria automotriz, se utiliza para reforzar termoplásticos moldeados. Las fibras cortas del corazón se emplean en la fabricación de productos de aislamiento, tableros de fibra y materiales para el control de la erosión.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El GO KART, un vehículo monoplace originario de los Estados Unidos, está impulsado por un motor y carece de suspensión, pudiendo o no contar con mecanismos de carrocería (chasis), generalmente fabricados en acero, lo que los hace pesados y limita las capacidades del vehículo, como su velocidad. Considerando la contaminación ambiental asociada con los polímeros convencionales debido a su método de extracción de materia prima, su vida útil y la complejidad del reciclaje, se propone una solución para reducir esta contaminación mediante el uso de fibras naturales. Debido a su biodegradabilidad y renovabilidad, se propone el diseño y construcción de pontones laterales utilizando un material compuesto de abacá y poliéster, que reemplazaría a los pontones de polímero convencionales y lograría una mejor relación resistencia/densidad.

1.2 Justificación

Esta investigación pretende generar información sobre materiales compuestos y sus diferentes aplicaciones enfocadas a diseñar, construir y la realización de nuevos materiales a base de ABACÁ- POLIESTER dentro de la rama automotriz aplicando método inductivo, deductivo y experimental que impulsan la investigación y aplicación para futuros proyectos. Con la realización del proyecto se podrán establecer técnicas y procesos de manufactura para los estudiantes y docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Diseñar y construir los protectores laterales para un vehículo prototipo karting para la carrera de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 *Objetivos específicos*

- Realizar investigación teórica y científica sobre tipos de materiales aplicados al sector automotriz.

- Diseño en base a protectores laterales con homologación número 003-BS-54 de la CIK-FIA con la asistencia de un software CAD
- Elaboración del molde para el protector lateral aplicando procesos de manufactura e ingeniería mediante técnicas y tratamiento adecuados del material.
- Obtención de los pontones laterales a base del material compuesto ABACÁ – POLIESTER.
- Realizar las pruebas y ensayos que validen el diseño y construcción del prototipo de los protectores laterales mediante simulación de impacto que verifiquen la calidad y resistencia de los componentes estructurales para tener una idea clara de la robustez y calidad del proceso final.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales compuestos

Un material compuesto o la combinación de materiales es la unión de dos o más elementos, el cual genera un nuevo elemento con nuevas propiedades y características específicas distintas a su inicio. Esta combinación de componentes se distingue en dos fases tales como la fase y la matriz de refuerzo (Besednjak, 2005, p.15).

Los materiales utilizados dentro de las fases pueden ser identificados por medios físicos por lo que sus propiedades dependes del tipo de interfase y las características de los componentes (Besednjak, 2005, p.15).

2.1.1 *Tipos de un material compuesto*

La mayor diferenciación de las distintas clasificaciones que existen para los materiales compuestos se puede decir que en base a su matriz es en donde se puede clasificar en tres grandes grupos como:

- Matriz metálica
- Matriz cerámica
- Matriz polimérica

2.1.1.1 *Material compuesto de matriz metálica*

Este tipo de matrices es normalmente utilizado dentro de la industria automotriz ya que permiten altas temperaturas; por lo general son reforzados con fibras metálicas y cerámicas, pero su producción es muy costosa ya que la tecnología y procesos tienen una mayor complejidad (Guerrero et al, 2011, pp.52-53).

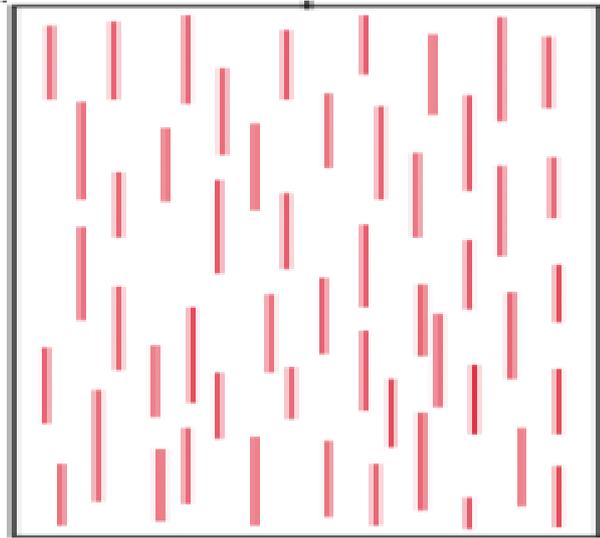


Ilustración 2-1: Matriz metálica con refuerzo de fibras continuas

Fuente: Reyes, 2014

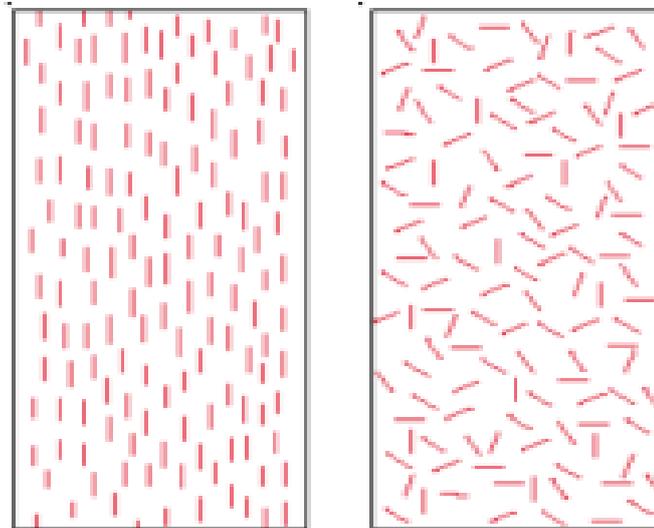


Ilustración 2-2: Matriz metálica con refuerzo de fibras discontinuas

Fuente: Reyes, 2014

2.1.1.2 *Material compuesto de matriz cerámica*

Los materiales compuestos por una matriz cerámica mejoran las propiedades mecánicas que los materiales tradicionales, estos mezclan la dureza, rigidez y resistencia del material cerámico con materiales que ayuden a la fragilidad que los mismo tienen como es el caso del hormigón (Reyes et al., 2014, p.104).

2.1.1.3 Material compuesto de matriz polimérica

La principal característica de la matriz es que su polímero puede ser termoestable, termoplástico o elastómero y su principal componente de refuerzo son partículas, láminas o fibras (Reyes et al., 2014, p.105).

Ventajas del compuesto de matriz polimérica

- Baja densidad
- Eficiencia en métodos de refuerzo
- Materiales de menores costos

2.2 Concepto matriz – refuerzo

La matriz de un material compuesto envuelve muchos beneficios como unir los esfuerzos y transferir las cargas que se aplican hacia los refuerzos y en caso de que el material nuevo este constituido por fibras reforzara a un hipotético caso de pandeo Dentro de sus beneficios existen muchos cambios en sus propiedades físicas, eléctricas, químicas y mecánicas; estos cambios dependerán mucho del tipo de matriz y la disposición que se utilice (Guerrero et al., 2011: pp. 51).

En el caso del refuerzo, su función es soportar la carga y beneficiar a las propiedades del material compuesto, para nuestro caso de estudio, mejorar sus propiedades mecánicas; estos refuerzos pueden ser hechos de fibras, partículas o incluso elementos estructurales (Guerrero et al., 2011: pp. 51).

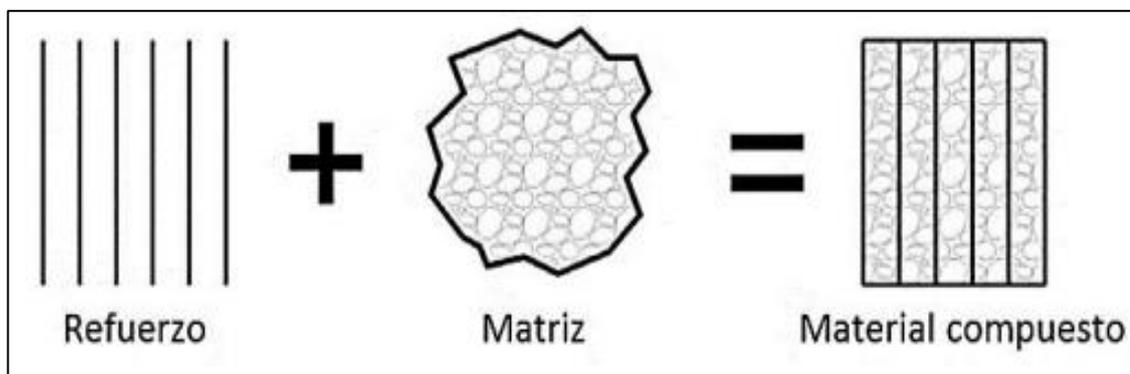


Ilustración 2-3: Configuración base de un material compuesto

Fuente: Guerrero, 2011

2.3 Matrices para materiales compuestos

Los pontones de un kart están hechos de matriz polimérica, específicamente de plásticos resistentes como el polietileno de alta densidad, estos materiales son utilizados principalmente por capacidad de poder absorber la energía en caso de un choque y poder proteger al piloto. Estos materiales son importantes dentro de la industria automotriz ya que en el mercado existe una gran cantidad de grupos clasificados que pueden ser manipulados como material para combinar y en este caso en particular se estudiara los materiales compuestos a base de matriz polimérica (Besednjak, 2005, p.19).

2.3.1 Los polímeros

El significado de la palabra polímero proviene del griego “muchas partes” el cual es un compuesto natural, sintético o químico que se forman mediante polimerización de moléculas enlazadas consecutivamente unas a otras en unidades estructurales repetidas (Flores, 2009, p.52).

En la actualidad su uso es muy común en la vida cotidiana, pero el saber cómo utilizar y tratarlo es un mundo muy diferente ya que la ingeniería inmersa en cada uno de los materiales derivados contempla diferentes propiedades que se pueden clasificar en químicas y físicas. Estos polímeros dan lugar a nuevos materiales aplicados al campo automotriz (González-Prolongo, 1997, p.65).

2.3.2 Clasificación de los polímeros

La clasificación de los polímeros es muy extensa por mencionar por lo que principalmente se pueden derivar por su comportamiento, tratamiento y proceso (Besednjak, 2005, p.20).

2.3.2.1 Termoestables

Los polímeros termoestables son los más resistentes, pero débiles que los termoplásticos. Estos materiales están compuestos por largas cadenas de moléculas entrelazadas para así formar una red tridimensional (Guerrero et al., 2011: pp. 29).

Generalmente estos materiales son de resinas como por ejemplo resinas de poliéster, viniléster, epoxi; los cuales tienen una alta rigidez por lo que son duros y frágiles a temperatura ambiente. Una ventaja de utilizar este tipo de polímeros es que puede añadir materiales de refuerzo como fibras orgánicas e inorgánicas que mejoran sus características mecánicas (Besednjak, 2005, p.22).



Ilustración 2-4: Estructura molecular termoestables

Fuente: Besednjak, 2005

2.3.2.2 Termoplásticos

Estos materiales están compuestos por una gran cadena al unir pequeñas moléculas que estructuralmente pueden ser lineales o ramificadas, también ser un material dúctil y plástico es fácil de reciclar; este tipo de polímero es utilizado con refuerzos de fibras (Guerrero et al., 2011: pp.29).

Una de sus características principales es que, al ponerlo en contacto a temperaturas elevadas, el material se convierte en fluido por lo que es fácil de moldear a la forma que se desee es por ello que en el mercado mundial es el más cotizado (Besednjak, 2005, p.21).

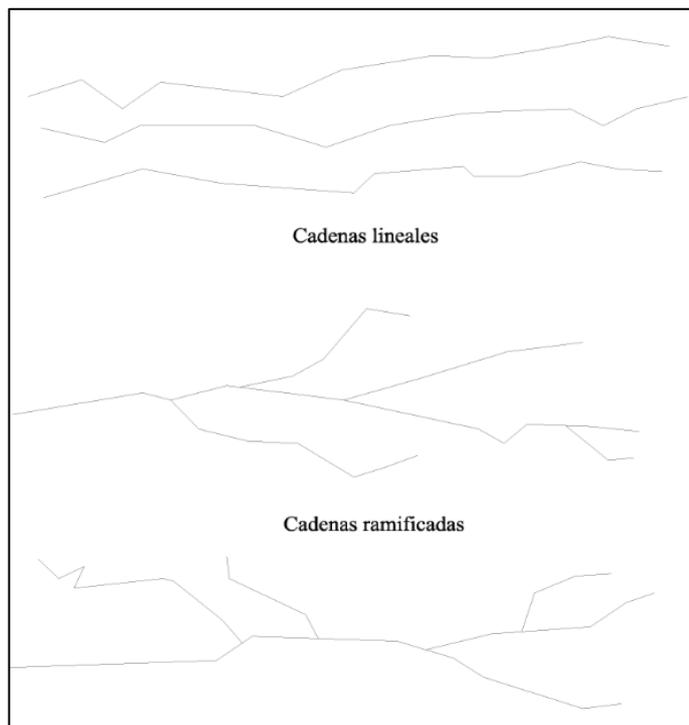


Ilustración 2-5: Estructura molecular termoplástico

Fuente: Besednjak, 2005

2.3.2.3 Elastómeros

Este tipo de material está formado por una estructura intermedia ya que tienen más libertad de movimiento en sus moléculas gracias a ello podrá deformarse ligeramente, este tipo de estado en el que se encuentra se lo llama gomoeelástico por lo tanto es infusible e insoluble, pero por otro lado tienen a inflarse (Besednjak, 2005, p.21).

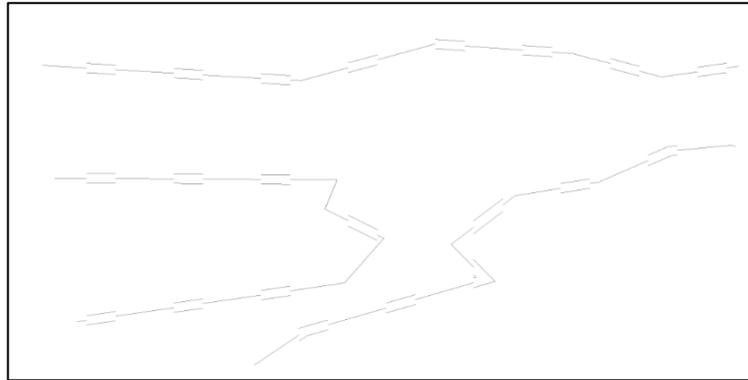


Ilustración 2-6: Estructura molecular elastómeros

Fuente: Besednjak, 2005

2.3.3 Función de la matriz polimérica

En la industria automotriz, se ha empleado debido a su destacada relación entre resistencia y peso, lo que posibilita importantes ahorros energéticos y presenta notables ventajas desde una perspectiva medioambiental (Mata, 2004, p.44).

Las importantes características de la matriz polimérica son:

- Baja densidad
- Excelentes propiedades a temperatura ambiente
- Fácil de moldear o dar forma
- Costo económico en comparación con otros materiales de uso similar.
- El refuerzo puede ser de origen natural o sintético.

2.4 Matrices termoestables

Las matrices inician en una fase líquida viscosa y luego experimentan un proceso de endurecimiento que las lleva a un estado gelatinoso, culminando en su transformación en un estado sólido. La intensidad de su entrecruzamiento determina su resistencia a la temperatura y la

fragilidad del material, lo que resulta crucial para determinar sus propiedades térmicas, fragilidad y resistencia, ya que esto puede clasificarse en categorías de mayor o menor magnitud (Besednjak, 2005, p.24).

Las principales características de esta matriz son:

- Transferir las fuerzas hacia las fibras
- Sujetar las fibras en su lugar
- Salvaguardar las fibras contra fuerzas de compresión
- Mantener la resistencia ante la deformación bajo carga minimizar el peso
- Poseer una alta estabilidad térmica

2.5 Proceso de curado de la resina

El proceso de curado desempeña un papel fundamental en la manipulación de materiales, ya que implica la transformación de una resina de estado líquido a uno sólido. Para llevar a cabo este proceso, es esencial que la resina interactúe con otros componentes, específicamente un catalizador y un activador. Cuando estos elementos se combinan con la resina, se inicia un proceso de endurecimiento, como se ilustra en la figura 2-7, que muestra un aumento notable en la temperatura de la mezcla y un incremento significativo en su viscosidad. Llega un punto, conocido como el punto de gel, donde la viscosidad es tan alta que no es posible incorporar refuerzos adicionales. La naturaleza de este proceso depende de los porcentajes utilizados en la mezcla de la resina (Besednjak, 2005, p.25).

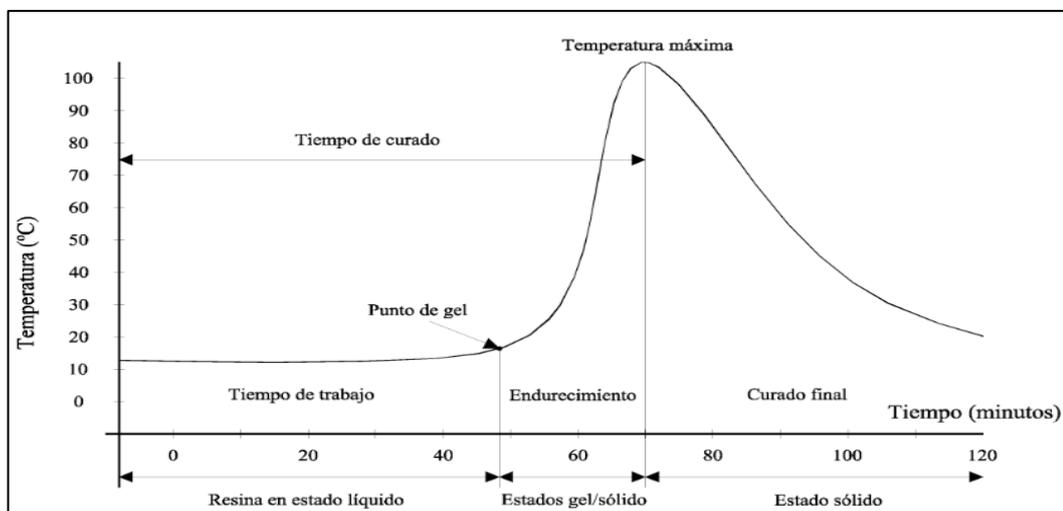


Ilustración 2-7: Curva exotérmica característica de la resina

Fuente: Besednjak, 2005

Una vez que la resina alcanza el punto de gel, se desencadena una reacción exotérmica en la que su temperatura aumenta, marcando el inicio de la fase de endurecimiento. El tiempo necesario para alcanzar la temperatura máxima depende de factores como la proporción del activador y catalizador utilizados, el grosor del laminado y la temperatura ambiente en la que se encuentra la mezcla. En algunos casos, esta temperatura puede superar los 150 grados Celsius. Después de completar la fase de endurecimiento, la temperatura comienza a disminuir gradualmente hasta alcanzar la temperatura ambiente, momento en el cual la resina se encuentra en estado completamente sólido. Este proceso se conoce como el curado final y puede llevarse a cabo a temperatura ambiente. Para obtener las propiedades mecánicas óptimas, se recomienda dejar la resina reposar a 20 grados Celsius durante un período de 24 a 48 horas antes de retirarla del molde. Es en este momento cuando la resina adquiere la mayor parte de sus características mecánicas (Besednjak, 2005, p.25).

Aparte de garantizar que la mezcla de los componentes no conduzca a un exceso de temperatura, es fundamental tener en cuenta el espesor del laminado. La razón radica en que la resina no presenta una buena conductividad térmica, lo que dificulta la disipación del calor producido durante la reacción química entre los componentes. Como se evidencia en la figura 2-8, los cambios en el espesor pueden ocasionar variaciones significativas en la distribución del calor. (Besednjak, 2005, p.26).

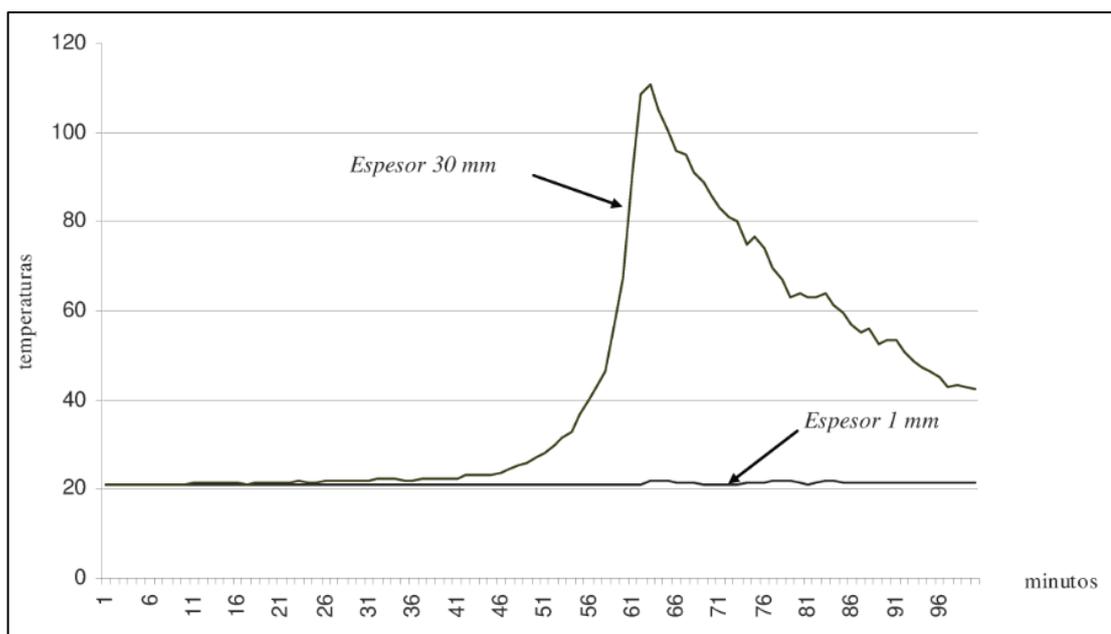


Ilustración 2-8: Curvas exotérmicas en función del espesor del laminado

Fuente: Besednjak, 2005

2.6 Clasificación de las resinas

2.6.1 Resina de poliéster

Este tipo de resina es ampliamente preferido a nivel global debido a sus atributos destacados y su coste competitivo. Dentro de la amplia gama disponible, se encuentran varios tipos de resinas de poliéster que se seleccionan de acuerdo con las necesidades específicas. En líneas generales, estas resinas tienden a tener una resistencia y rigidez moderadas, y su punto débil es su resistencia a temperaturas elevadas, que suele ser relativamente baja (Besednjak, 2005, p.27).

2.6.2 Resinas de viniléster

La resina de viniléster se ha formulado específicamente para ofrecer una resistencia superior frente a la acción de agentes químicos. Esto se debe a la presencia de un menor número de grupos éster en su cadena en comparación con otras resinas. Además, se distingue por tener un peso molecular reducido y un diluyente reactivo que suele ser el estireno. Estas resinas fueron desarrolladas con la intención de combinar las excelentes propiedades mecánicas y térmicas, junto con un proceso de curado rápido (Schroeder, 2006, p.11).

2.6.3 Resina de baja emisión de estireno

Este tipo de resina se destaca por su capacidad para mantener bajas emisiones en entornos de trabajo, particularmente en áreas pequeñas, debido a su contenido reducido de monómero de estireno. Aunque esta resina incorpora aditivos en cantidades muy pequeñas, como cera o parafina, es importante destacar que aún existe cierta emisión, especialmente cuando la resina se encuentra en estado sólido. Por otro lado, su principal desventaja radica en su limitada capacidad de adherencia durante el proceso de laminación, lo que se traduce en un mayor tiempo de curado (Besednjak, 2005, p.31).

2.6.4 Resina epoxi

La resina epoxi es ampliamente empleada en materiales compuestos debido a su versatilidad, destacando por su excelente capacidad de adhesión, su resistencia a las tensiones térmicas después del proceso de curado y su notable dureza (Mercado, 2005, p.3), gracias a sus buenas características el resultado final de un laminado es que tenemos un alto contenido de fibra y su proceso de curado es muy similar al de las resinas de viniléster y poliéster (Besednjak, 2005, p.31).

2.7 Materiales de refuerzo

El material compuesto se forma a partir de una combinación de una matriz polimérica y fibras de refuerzo, siendo estas últimas las que proporcionan una resistencia considerable y una rigidez notable. En el mercado, se encuentran disponibles diversos tipos de refuerzos para esta finalidad. (Besednjak, 2005, p.31), los cuales se pueden clasificar en:

- Fibras inorgánicas
- Fibras orgánicas
- Fibras vegetales

2.7.1 Fibras inorgánicas

2.7.1.1 Fibra de vidrio

A lo largo del tiempo, la fibra de vidrio ha sido uno de los refuerzos más comunes en la industria automotriz, a menudo empleada como revestimiento exterior en materiales compuestos de matriz polimérica. Su principal aplicación radica en su respeto al medio ambiente, dado su lento proceso de degradación, y en sus destacadas propiedades físicas y mecánicas, incluyendo su notable resistencia a la tracción y a la compresión (Paredes et al., 2017: pp.2).



Ilustración 2-9: Domo reforzado con fibra de vidrio\

Fuente: Guerrero, 2011

Dentro de la fibra de vidrio existen diferentes tipos que dependerán de varias propiedades en las cuales destacan los siguientes:

- Capacidad para soportar tensiones
- Tolerancia a la humedad
- Barrera protectora contra sustancias químicas
- Aislamiento térmico efectivo
- Escasa conductividad térmica
- Limitada capacidad de elongación
- Características uniformes en todas las direcciones
- Adhesión sobresaliente

La tabla 2-9 muestra los valores teóricos de las propiedades mecánicas, aunque estos valores pueden experimentar cambios según el proceso al que se someta.

Tabla 2-1: Propiedades fibra de vidrio

Tipo	Vidrio E	Vidrio R/S	Vidrio C
Resistencia a la tracción (GPa)	3,4 – 3,5	3,4 – 4,6	3,1
Módulo elástico (GPa)	72 - 72	85 - 87	71
Densidad (Kg/m ³)	2600	2500 – 2530	2450
Alargamiento a la rotura (%)	3,3 – 4,8	4,2 – 5,4	3,5
Resistencia específica (GPa * cm ³ /g)	1,3 – 1,35	1,7 – 1,85	1,3
Modulo E específico (GPa * cm ³ /g)	27,7 – 28,2	34 – 34,9	29
Diámetro del filamento (µm)	8 – 20	10	20

Fuente: Besednjak, 2005, p.31

2.7.1.2 Fibra de carbono

Este material se encuentra disponible en forma de hilos o filamentos, y existe una amplia variedad en el mercado, cada uno con propiedades específicas destinadas a diferentes aplicaciones. Este tipo de material es ampliamente utilizado en las industrias automotriz, aeronáutica y aeroespacial, según sus requisitos y objetivos de desarrollo particulares (Sánchez, 2011, p.28).

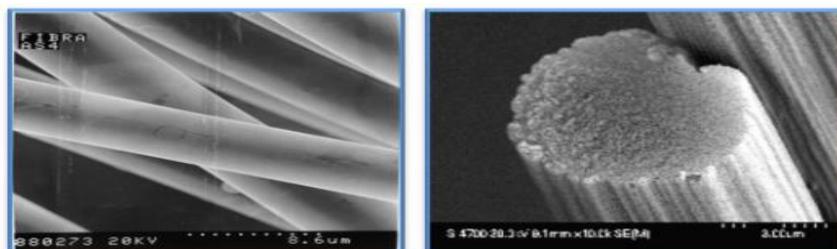


Ilustración 2-10: Fibra de carbono por SEM

Fuente: Sánchez, 2011

La categorización de las fibras de carbono depende de sus características mecánicas. Además, se pueden clasificar según su proceso de tratamiento térmico, que comprende los tipos I, II y III. Por último, existe una clasificación basada en la cantidad de filamentos que contienen (Sánchez, 2011, p.31).

La fibra de carbono puede obtener las mejores propiedades cuando se combina con matrices de tipo epoxi para tener la mayor estabilidad dimensional del material (Besednjak, 2005, p.44), además de esto podemos destacar algunas importantes propiedades:

- Alta fuerza y rigidez
- Capacidad para resistir vibraciones
- Tolerancia a la fatiga
- Mejor capacidad de conducción de calor
- Reducido índice de expansión térmica
- Capacidad para soportar altas temperaturas
- Resistencia a productos químicos

Tabla 2-2: Propiedades de la fibra de carbono

Tipo	Carbono HT	Carbono HM	Carbono IM
Resistencia a la tracción (GPa)	2,6 – 5	2,0 – 3,2	3,4 – 5,9
Módulo elástico (GPa)	228 – 238	350 – 490	280 – 400
Densidad (Kg/m ³)	1740 – 1830	1790 – 1910	1730 – 1800
Alargamiento a la rotura (%)	1,2 – 2	0,4 – 0,8	1,1 – 1,9
Resistencia específica (GPa * cm ³ /g)	1,5 – 2	1,1 – 1,7	2,0 – 3,1
Modulo E específico (GPa * cm ³ /g)	127 – 134	190 – 260	160 – 200
Diámetro del filamento (µm)	7 – 8	6,5 – 8	5 – 7

Fuente: Besednjak, 2005, p.31

2.7.2 Fibras sintéticas

2.7.2.1 Fibras aramídicas

Las fibras aramídicas, comúnmente conocidas como Kevlar, se utilizan principalmente en aplicaciones donde se necesita una combinación de alta resistencia a la tracción con un peso ligero y una destacada capacidad para resistir impactos en el material (Besednjak, 2005, p.44). Este material se categoriza en términos químicos debido a su composición de grupos amida y anillos

aromáticos, que le confieren una mayor estabilidad térmica. La obtención de esta fibra implica la disolución de una solución aromática en ácido sulfúrico, que luego se hilvana. En el mercado global, existen dos tipos de fibras: Kevlar 29 y Kevlar 49, que se distinguen por sus propiedades mecánicas particulares (Besednjak, 2005, p.44).

2.7.3 Fibras naturales

El empleo de fibras naturales tiene raíces en los albores de nuestras civilizaciones, ya que, como su nombre indica, provienen directamente de la naturaleza y pueden derivarse de fuentes vegetales, animales o minerales. Aunque la industria automotriz ha experimentado un notable crecimiento en el uso de fibras inorgánicas, se ha prestado menos atención a la investigación y aplicación de fibras de origen vegetal. Sin embargo, estas fibras tienen el potencial de aportar propiedades mecánicas similares que podrían mejorar las características de los materiales utilizados en esta industria (Páez, 2007, p.1).

2.7.3.1 Fibras vegetales

Este tipo de fibras suelen ser de naturaleza fibrosa y se obtienen de diversas partes de las plantas, como hojas, troncos o raíces. Estas fibras se agrupan en haces y se unen posteriormente mediante el uso de adhesivos o resinas naturales. Debido a que están compuestas principalmente de celulosa y lignina, se les denomina fibras lignocelulósicas. Dentro de la categoría de fibras vegetales, podemos encontrar fibras textiles que se pueden clasificar según la parte de la planta de la cual fueron extraídas (Páez, 2007, p.41), en la tabla 2-2 se puede ver las principales fibras vegetales.

Tabla 2-3: Principales fibras vegetales

Nombre Comercial	Nombre Botánico	Zona Geográfica
Fibras de los troncos		
Lino	Linum sp	Zonas templadas
Cáñamo	Cannabis sativa	Zonas templadas
Yute	Corchorus capsularis	India
Kenaf	Hibiscus cannabinus	India, América del sur
Ramio	Bohemeria nivea	China, Estados Unidos
Sunn	Crotalia junea	India
Urena	Urena lobota	El Zaire, Brasil
Fibras de las hojas		
Abacá	Musa textilis	Filipinas, Ecuador

Cantala	Agave cantala	Filipinas, Indonesia
Henequén	Neoglazioia variegata	Cuba, México
Ixtle	Agave fourcroydes	México
Mauritos	Furcraea gigantea	Brasil, Venezuela
Phornium	Phornium tenax	Argentina, Chile
Sansevieria	Sansevieria sp	África, América del Sur
Fibras de las semillas y frutos		
Algodón	Gossypium sp	Estados Unidos, Asia, África
Mariguano	Ceibe pentrandia	Trópicos
Nuez de Coco	Cocos nucifera	Trópicos
Otras		
Plátano	Musa sapientum	Ecuador, Centroamérica
Bambú	Bambusoideae	China

Fuente: Besednjak, 2005, p.31

2.8 Fibra de abacá

El abacá es una planta herbácea que guarda una gran similitud con el banano en su apariencia, pero se distingue por sus propiedades únicas y las diversas aplicaciones que se le pueden dar. Normalmente, prospera en regiones tropicales donde la temperatura oscila entre los 22 y 28 grados Celsius y se beneficia de las precipitaciones naturales. Debido a su notable resistencia al agua, ha sido empleado en la confección de redes de pesca, bolsas de té y envolturas para productos cárnicos. Además, se utiliza en la fabricación de diversos tipos de papel (Páez, 2007, p.11).



Ilustración 2-11: Planta de abacá

Fuente: Guijarro, 2021

La fibra de abacá se presenta en una forma cilíndrica, con longitudes que pueden superar los tres metros y diámetros que oscilan entre 0.01 y 0.28 mm. Como se mencionó anteriormente, estas fibras vegetales están compuestas principalmente de celulosa y lignina, y el abacá no es una excepción en este aspecto. Esto sugiere que el abacá tiene un gran potencial para reemplazar la fibra de vidrio en ciertas partes de los automóviles (Guijarro, 2021, p21).

2.8.1 Tipos de fibra de abacá

Estas plantas tienen el potencial de alcanzar alturas de más de 7 metros, pero debido a la diversidad de variedades, no todas se cultivan con fines comerciales en Ecuador (Páez, 2007, p.13), así que podremos ver la siguiente clasificación:

- Maguindanao: Sus hojas son de gran tamaño y resistencia, mientras que su tallo, una vez maduro, puede dar lugar al primer brote en un período de 15 meses, generando entre 15 y 20 tallos por planta. Lo que la hace distintiva es que su fibra es de color blanco, posee una textura suave y brilla de manera notable. (Páez, 2007, p.14).
- Tangongón: Este tipo de planta exhibe un crecimiento más gradual, y por lo general, se requieren alrededor de 20 a 24 meses para que se pueda observar el surgimiento de un tallo. Estos tallos son notables por ser más anchos y largos, destacándose principalmente por su notable resistencia. (Páez, 2007, p.14).
- Bungalanon: Este tipo de planta produce una fibra de calidad aceptable, aunque su crecimiento como planta es significativamente más limitado. Su rasgo distintivo radica en que desarrolla tallos más pequeños y delgados, y su producción de tallos comienza a los 18 meses, dando lugar a un promedio de 30 a 60 tallos por planta (Páez, 2007, p.14).

2.8.2 Aplicaciones de la fibra de abacá

Una de las grandes desventajas que presentan las fibras naturales es la absorción de humedad y esto puede variar sus propiedades mecánicas, este fenómeno es natural se lo conoce como higroscopicidad (Guijarro, 2021, p42) sin embargo eso no impide su uso en ciertos mercados del mundo como en Japón, Estados Unidos e Inglaterra que lo utilizan para la fabricación de papeles, recubiertas, filtros, textiles, cordelería etc. (Páez, 2007, p.41). A continuación, se podrá ver las principales aplicaciones de la fibra de abacá

- Cabos marinos
- Redes de pesca

- Bolsas de té
- Fabricación de uso tradicional como alfombras, muebles, persianas
- Papeles de seguridad
- Paneles de vehículos



Ilustración 2-12: Aplicaciones de la fibra de abacá

Fuente: Páez, 2007

2.9 Ensayos destructivos para la caracterización de un material compuesto

Para poder evaluar las propiedades de un material de manera efectiva, es imprescindible llevar a cabo ensayos que involucren la aplicación de cargas, lo que nos permite entender cómo reacciona el material ante dichas fuerzas y determinar sus límites. Para realizar estos ensayos de manera adecuada, es esencial seguir normas específicas que proporcionan directrices sobre la selección de equipos apropiados y la metodología a seguir. Esto asegura que los resultados obtenidos sean válidos y confiables (Guijarro, 2021, p45).

Para el presente proyecto se considero

2.9.1 *Ensayo de tracción*

La prueba de tracción es uno de los ensayos destructivos más frecuentemente llevados a cabo. Consiste en aplicar gradualmente una carga a lo largo del eje principal de la muestra. Para realizar este ensayo, se emplea una máquina universal que sujeta uno de los extremos de la muestra con una mordaza mientras que el otro extremo se somete a la fuerza. Además, las muestras utilizadas deben cumplir con las dimensiones específicas establecidas por las normativas, y se requiere que su superficie esté completamente limpia para evitar cualquier imperfección que pueda afectar los resultados (Guerrero et al., 2011: pp. 51).

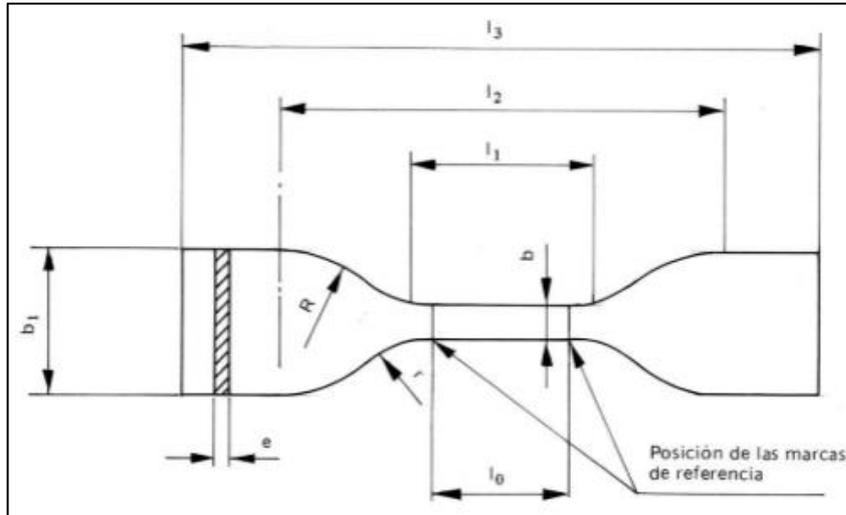


Ilustración 2-13: Probeta para ensayos de tracción

Fuente: INEN, 2013

2.9.2 Ensayo de flexión

Los ensayos de flexión son capaces de evaluar tanto la rigidez como las propiedades de resistencia de un material. Estos ensayos siguen estándares específicos establecidos por organismos especializados, lo que garantiza que su metodología sea precisa y se aplique de manera uniforme. En la mayoría de los casos, los ensayos de flexión implican tres puntos de referencia: uno en el centro donde se aplica la carga y dos en los extremos que sirven como puntos de apoyo, tal como se ilustra en la figura 2-13. Las propiedades de flexión pueden variar debido a diversos factores, como el grosor de las muestras, las condiciones ambientales o incluso la simetría de las probetas. Por esta razón, es necesario realizar las pruebas en múltiples ocasiones, conforme lo indica la normativa correspondiente (Guerrero et al., 2011: pp. 51).

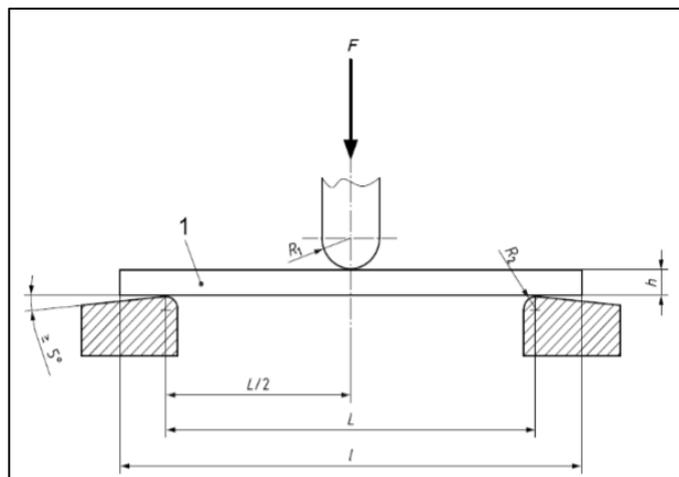


Ilustración 2-14: Posición probeta ensayo de flexión

Fuente: INEN, 2013

2.10 Modelado Software CAD

En la actualidad, los diseños destinados a simulaciones se confeccionan mediante software. Los avances tecnológicos han dejado en el pasado el uso de papel para realizar dibujos. Gracias a estas herramientas digitales, se ha facilitado la creación de diseños en diversos campos de la ingeniería. Uno de los programas más utilizados y que se empleará en esta investigación es SolidWorks. Esta aplicación se centra en la creación de dibujos en 2D y 3D mediante el uso de elementos vectoriales, como líneas y puntos, que se manipulan en una interfaz gráfica. Además, permite la combinación de estos elementos con superficies y sólidos (Mera y De la Rosa, 2022: p.8).

2.11 Simulación Software CAE

Para una simulación y análisis de cualquier diseño hecho por software CAD es necesario validarlo mediante un software CAE para que lo hace por elementos finitos, este proceso quiere decir que descompone al sistema en subsistemas para que sea más practica la simulación; este tipo de software se realizan para el estudio de varios fenómenos físicos, para este caso se realiza para un análisis estático del componente a realizar y tener resultados similares a la vida real (Mera y De la Rosa, 2022: p.8).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

Este proyecto está basado en tres tipos de investigaciones, en primer lugar, la investigación inductiva que es basada en datos ya conocidos, su principal objetivo es establecer una teoría en base a la información buscada. En segundo lugar, la investigación deductiva que implica aplicar un proceso basado en la teoría ya encontrada, la idea de este tipo de investigación es diseñar estrategias para probar un objetivo establecido. Y por último la investigación experimental ya que la investigación establecida es cuantitativa por lo que se puede comparar resultados experimentales con otros tipos de investigaciones, esto involucra pruebas a escala real y simulaciones que puedan validar el diseño y correcto funcionamiento de este.

3.2 Fabricación de probetas para ensayos destructivos

3.2.1 *Materia prima*

La materia prima principal es la fibra de abacá que fue extraída en la hacienda Abacá Ecuador, ubicada en el Km 10 de la vía Santo Domingo – Quevedo.



Ilustración 3-1: Fibra de abacá

Fuente: Guijarro, 2021

3.2.2 *Preparación de la fibra*

Dentro de la Hacienda Abacá Ecuador hay un proceso para poder obtener la fibra, cabe recalcar

que es un proceso manual y la idea es poder obtener la mejor calidad posible de fibras, el proceso manual se describe en la ilustración 3-1



Ilustración 3-2: Proceso de extracción de la fibra de abacá

Fuente: Hacienda Abacá Ecuador, 2019

- Obtener las fibras con mayor longitud y un mayor diámetro.
- Lavar las fibras con jabón artesanal, hay que tomar en cuenta que no hay que maltratar las fibras para evitar cualquier rotura de estas.
- Para el enjuague hay q hacerlo en dos procesos, el primero solo con agua potable y el segundo enjuague se lo debe realizar con agua destilada.
- Y por último dejar que las fibras sequen a temperatura ambiente.

3.2.3 Tejido de la fibra de abacá

Las fibras se han empleado como una alternativa valiosa para reforzar matrices poliméricas. Se ha observado que a medida que la fibra se vuelve más delgada, presenta menos imperfecciones. Además, las características y propiedades pueden variar dependiendo la configuración de la fibra, ya sea corta, larga, tejida o no tejida (Guerrero et al., 2011: pp. 95).

Las disposiciones pueden variar; al estratificar la fibra larga en direcciones perpendiculares entre capas, el material se vuelve más isotrópico, pero su resistencia y capacidad para resistir la fractura disminuyen. En cambio, cuando la fibra larga se orienta en una sola dirección, la resistencia aumenta en sentido longitudinal. Para mejorar las propiedades o reducir los defectos del material, se incorporan refuerzos con tejidos, ya que proporcionan mayor estabilidad y una estructuración mejorada del material, con una superficie más rugosa que favorece un acople más eficiente entre las capas (Guerrero et al., 2011: pp. 95).

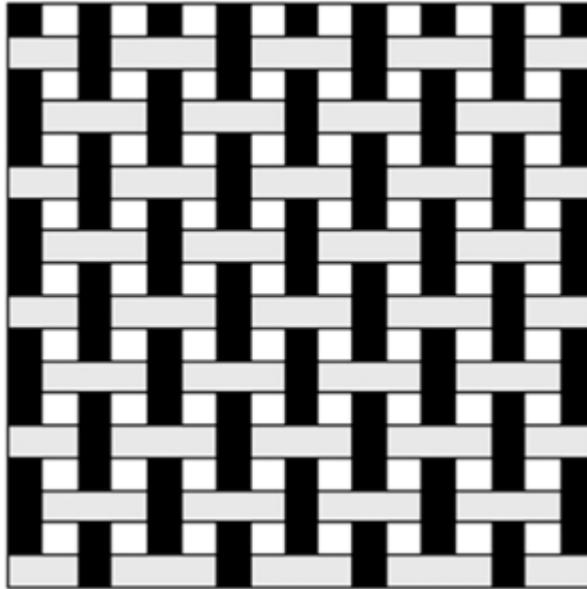


Ilustración 3-3: Estructura de tejido plano

Fuente: Guerrero, 2011

En la figura 3-3 se presenta el modelo de tejido plano que será elaborado de manera artesanal. Es importante tener en cuenta que este tipo de tejido cuenta con una mayor cantidad de entrelazamientos por unidad de área, lo que resulta en un aumento de la resistencia y rigidez del material compuesto (Guerrero et al., 2011: pp. 96); por otro lado en la ilustración 3-4 y 3-5 se muestra el proceso de tejido de la fibra de abacá y el acabado final respectivamente.



Ilustración 3-4: Proceso de tejido de la fibra de abacá

Realizado por: Yáñez, 2023



Ilustración 3-5: Acabado final del tejido de fibra de abacá

Realizado por: Yánez, 2023

3.2.4 Selección de la matriz polimérica

Para el proceso de curado de la matriz polimérica se utilizará los siguientes componentes:

- Resina de poliéster insaturada: es un polímero insaturado termo endurecible, las propiedades de la resina se encuentran en el Anexo A.



Ilustración 3-6: Resina de poliéster insaturada

Fuente: Pintulac, 2023

- Monómero de estireno: es un producto que se utiliza para reducir la viscosidad de la resina de poliéster.



Ilustración 3-7: Monómero de estireno

Fuente: Pintulac, 2023

- Metil Etil Cetona (MEK): es un líquido aceitoso que no tiene color, es utilizado como catalizador para la resina de poliéster.



Ilustración 3-8: Metiletilcetona (MEK)

Fuente: Pintulac, 2023

- Talco industrial: es un componente utilizado para poder rellenar los espacios vacíos que se genera en el refuerzo de fibra de abacá.



Ilustración 3-9: Talco industrial

Fuente: Pintulac, 2023

- Octoato de cobalto: Este elemento desempeña la función de un agente secante o activador, facilitando la apropiada eliminación de la capa superficial de la matriz polimérica.



Ilustración 3-10: Octoato de cobalto

Fuente: Pintulac, 2023

La resina de poliéster se diluye mediante la adición de monómero de estireno, con el propósito de disminuir la viscosidad de la resina y mejorar su capacidad para impregnar las fibras de refuerzo. Posteriormente, se incorpora talco industrial para cubrir posibles poros que puedan formarse durante el proceso de curado de la resina, y finalmente se añade octoato de cobalto como su activador y el MEK como su catalizador. (Guerrero et al., 2011: pp. 102).

La fracción volumétrica para nuestro material compuesto que se utilizara es de 70 -30, es decir 70 % de la matriz de resina y 30 % del refuerzo de fibra de abacá tejida ya que presenta mejores características con respecto al esfuerzo de rotura y al módulo de elasticidad (Espín, 2017, p32)

Para la matriz polimérica se utiliza como máximo un 20% de monómero de estireno del volumen de resina (Guerrero et al., 2011: pp. 102), 1 gr de octoato de cobalto (activador) por cada 100 gr de resina por recomendación del fabricante 25° C (ANEXO A) y 2% de metil etil cetona (catalizador) del volumen de la resina (Espín, 2017, p33), cabe recalcar que a mayor cantidad del activador y catalizador es menor el tiempo de gelificación (Guijarro, 2021, p40).

Tabla 3-1: Porcentajes de los componentes para la matriz polimérica

Componentes de la mezcla	Porcentaje
Monómero de estireno	20%
Metiletilcetona (MEK)	2%
Talco industrial	2%
Octoato de cobalto	1%

Fuente: Guijarro,2021

En la tabla 3-1 se especifica los porcentajes que se deberá realizar para formar la matriz polimérica, la cantidad de cada uno dependerá de la cantidad de resina que suministremos.

3.2.5 Densidad del material compuesto

3.2.5.1 Densidad de la matriz

Para calcular la densidad de la matriz, se sumergen tres piezas de resina de poliéster en un recipiente graduado con mediciones volumétricas, y se registra la diferencia de volúmenes. Luego, se determina la masa de cada pieza con una balanza y se calcula la densidad utilizando la siguiente fórmula (Guijarro, 2021, p21); los datos obtenidos de una investigación anterior fueron de:

Tabla 3-2: Densidad de la matriz polimérica

Densidad de la matriz			
No. muestra	Masa (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)
1	55	44	1,25
2	81	63	1,29
3	50	41	1,22
Promedio			1,25

Fuente: Guijarro,2021

3.2.5.2 Densidad del refuerzo

La densidad del refuerzo se la obtiene una vez que fue tratada la fibra, el proceso se lo hace con un recipiente graduado en volumen y al sumergir una porción de la fibra para finalmente poder medir las diferencias de volúmenes que existen. Y por último las masas de las muestras de las masas.



Ilustración 3-11: Porción de fibra de abacá

Fuente: Guijarro, 2021

Los datos se muestran a continuación:

Tabla 3-3: Determinación de la densidad del refuerzo

Densidad del refuerzo			
No. muestra	Masa (g)	Volumen (cm³)	Densidad (g/cm³)
1	41	60	0,68
2	57	84,5	0,67
3	50	74	0,68
Promedio			0,68

Fuente: Guijarro,2021

3.2.6 Elaboración del molde para probetas

Para la elaboración de los moldes se utilizó de material acrílico ya que es un material resistente a temperaturas altas y mantienen su forma desde un inicio hasta el final; los cortes fueron realizados a laser y de acuerdo con las medidas establecidas de la norma INEN 2043 e INEN 2047, que se pueden encontrar en los anexos B y C respectivamente. Para el caso de los ensayos de tracción se

toma las probetas de tipo D1 ya que es un material termoestable con refuerzo fibra de tejido textil y en el caso de las probetas de flexión sus medidas serán únicas y recomendadas por la norma.



Ilustración 3-12: Moldes en acrílico

Realizado por: Yánez, 2023

3.2.7 *Elaboración de las probetas*

- Para la elaboración de las probetas se cortó la fibra de abacá acorde a las medidas establecidas por la norma de tal que no exceda los límites de los moldes que están hechos en acrílico.



Ilustración 3-13: Cortes de la fibra de abacá

Realizado por: Yánez, 2023

- En las normas INEN 2043 e INEN 2047 se especifica el espesor de las probetas, tanto para los ensayos de tracción y flexión por lo que el número de capas dependerá de ello.

- Para la matriz polimérica se realizó la mezcla respetando los porcentajes de los siguientes componentes:
 - Resina poliéster
 - Monómero de estireno
 - Talco industrial
 - MEK
- Se realizó la matriz polimérica de los componentes excluyendo octavo de cobalto ya que al ser el activador de nuestra matriz; este mismo hará que nuestra matriz empiece el proceso de curado.
- Una vez hecha la mezcla es necesario untar desmoldante en los moldes ya que esto ayudara a extraer las probetas de los moldes con mayor facilidad.
- Para el proceso de curado hay que incorporar el refuerzo de abacá en el molde y verter la mezcla de la matriz polimérica, incluyendo el octoato de cobalto; es preciso humedecer bien el refuerzo con la mezcla, con el fin de evitar que se generen burbujas internas ya que podrían alterar las propiedades mecánicas del material compuesto.



Ilustración 3-14: Inicio del proceso de curado

Realizado por: Yánez, 2023

- Dentro del proceso de curado, las probetas deben secarse por lo menos 48 horas a temperatura ambiente antes de poder desmoldar



Ilustración 3-15: Desmoldado de la probeta

Realizado por: Yánez, 2023

3.3 Caracterización del elemento

Para determinar las características del material se realizan las pruebas de flexión y tracción que se realizaron en la Universidad Técnica de Ambato y en el Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de la Provincia de Tungurahua.

3.3.1 *Ensayo de tracción*

Para los ensayos de tracción se realizaron un total de 5 probetas bajo la norma NTE INEN 2043:2013, en la tabla 3-4 detallan la denominación de cada probeta que se realizó para los ensayos.

Tabla 3-4: Identificación de probetas para ensayos de tracción

No.	Identificación de probeta
1	180453453320230710 - ETP 01 – 1
2	180453453320230710 - ETP 01 – 2
3	180453453320230710 - ETP 01 – 3
4	180453453320230710 - ETP 01 – 4
5	180453453320230710 - ETP 01 – 5

Fuente: CFPMCPT, 2023

3.3.2 *Ensayo de flexión*

Para los ensayos de flexión se realizaron un total de 6 probetas bajo la norma NTE INEN

2047:2013, en la tabla 3-5 detallan la denominación de cada probeta que se realizó para los ensayos.

Tabla 3-5: Identificación de probetas para ensayos de flexión

No.	Identificación de probeta
1	F – 1
2	F – 2
3	F – 3
4	F – 4
5	F – 5
6	F – 6

Fuente: CTT-FICM, 2023

3.4 Elaboración de molde para protectores laterales

Para fabricar los protectores, se requiere un molde que pueda obtener la forma y dimensiones necesarias. En este caso, se empleó espuma de poliuretano, la cual se compone de dos compuestos disponibles en el mercado conocidos como RUBITHERM LP 18470 (compuesto B) que básicamente es un polioli formulado por catalizadores, tensoactivos y agentes soplantes por otro lado tenemos el RUBINATE 5005 (compuesto A) su principal característica es su formulación para producir espumas rígidas de poliuretano. Al combinar estos compuestos, se genera la espuma. La versatilidad de esta espuma se refleja en su amplia gama de aplicaciones, incluyendo su uso como aislante térmico y acústico, así como para rellenar o sellar espacios vacíos. En este estudio, se utiliza la espuma de poliuretano para moldear el protector deseado. Cuando estos dos componentes se mezclan, desencadenan una reacción química que provoca un aumento en el volumen y la densidad de la espuma.



Ilustración 3-16: a) Componente A; b) Componente b

Realizado por: Yáñez, 2023

- Como primer paso se debe cubrir el protector con una funda de basura dando forma al protector lateral, para que no se adhiera la espuma que se va a aplicar y colocar desmoldante en toda la funda de basura así evitamos que la espuma se pegue a la funda plástica.
- Una vez que se tenga protegido al protector lo colocamos dentro de una caja que de preferencia sea de cartón ya que evitara que la espuma se desborde y tome la forma del protector.
- La relación de mezcla de los componentes A y B es de 100 partes por peso por recomendación del fabricante incluido en el la ficha técnica del Anexo E.



Ilustración 3-17: Prueba de poliuretano, componentes A y B

Realizado por: Yáñez, 2023

- Una vez hecha la prueba se pudo comprobar el volumen máximo que se puede expandir la espuma de poliuretano. La cantidad de gramos de RUBITHERM LP 18470 y RUBINATE 5005 dependerá del volumen del molde al cual se va a generar la espuma.
- Cuando juntemos estos componentes hay que batirlos de manera lenta para evitar que se generen burbujas de aire.
- Una vez hecha la mezcla, vertimos dentro de la caja de cartón de forma uniforme alrededor del protector como se muestra en la ilustración 3-16.



Ilustración 3-18: Espuma de poliuretano para moldeo

Realizado por: Yáñez, 2023

- Como penúltimo paso permitiremos que la espuma se seque a temperatura ambiente durante un período que oscilará entre 48 y 72 horas, con el propósito de asegurar que la espuma alcance su máxima expansión y logre un secado interno completo.



Ilustración 3-19: Secado de molde de poliuretano

Realizado por: Yáñez, 2023

- Pasadas las horas de secado cortaremos la caja de cartón y dejaremos libre nuestro molde de espuma, finalmente sacaremos el protector lateral con mucho cuidado evitando que se nuestro molde se quiebre y tendremos el resultado final como se muestra en la ilustración 3-17.



Ilustración 3-20: Molde para la construcción de protector lateral

Realizado por: Yánez, 2023

3.5 Obtención de los pontones laterales a base del material compuesto ABACÁ – POLIESTER.

En este punto hay que aplicar lo aprendido y lo investigado, ya que se conformará un nuevo material compuesto a base una matriz termoestable de resina poliéster y un refuerzo de fibra de abacá; a continuación, se describirá el proceso de fabricación del protector lateral.

- Una vez obtenido nuestro molde para los protectores colocaremos una funda plástica en el fondo de este, para evitar que nuestra matriz polimérica no se pegue con la espuma de poliuretano, y untaremos desmoldante en toda la funda, con el fin de poder extraer fácilmente el protector una vez acabado el proceso de curado.



Ilustración 3-21: Base de molde

Realizado por: Yánez, 2023

- Hay tomar en cuenta la longitud de nuestro protector, por lo que hay q realizar 4 cortes longitudinales de nuestra fibra de abacá.
- Por la posición en la que se encuentra nuestro molde, tenemos que hacer el proceso de curado en 2 partes, para que nuestra matriz polimérica no se acumule en el centro del molde. En primer lugar, se hará el proceso de la parte superior del protector y finalmente la parte inferior que será la más fácil ya que es la parte plana del protector.
- La estrategia es igual que las probetas para los ensayos destructivos, la diferencia es que es a escala mucho más grande y se lo hará en dos partes.
- Incorporamos los 3 cortes de fibra previamente cortada a la medida del molde; uno en el fondo del molde y los dos restantes a los lados de este.
- Realizamos la mezcla de la matriz polimérica, en la tabla 3-6 se detalla la masa de cada uno de los componentes para la primera fase.

Tabla 3-6: Masas de la matriz polimérica, primera fase

Componentes de la mezcla	Masa
Resina poliéster	700 g
Monómero de estireno	140 g
Metiletilcetona (MEK)	14 g
Talco industrial	14 g
Octoato de cobalto	7 g
Total	875 g

Realizado por: Yáñez, 2023

- Cabe recalcar que al mezclar la matriz polimérica con el refuerzo de fibra de abacá hay que verificar que nuestro refuerzo se impregne bien de la matriz ya podría generar fallas en nuestro material compuesto.
- Para esta primera fase dejamos reposar por 24 horas para que el nuevo material se endurezca y empezar con la segunda fase.



Ilustración 3-22: Nuevo material compuesto, parte superior

Realizado por: Yáñez, 2023

- Por último, realizamos la segunda fase que será incorporar la parte inferior del protector, la única diferencia es que nuestro molde tendrá que apoyarse en una parte plana. La masa utilizada de los componentes esta detallada en la tabla 3-7.

Tabla 3-7: Masas de la matriz polimérica, segunda fase

Componentes de la mezcla	Masa
Resina poliéster	300 g
Monómero de estireno	60 g
Metiletilcetona (MEK)	6 g
Talco industrial	6 g
Octoato de cobalto	3 g
Total	375 g

Realizado por: Yáñez, 2023

- En la ilustración 3-21 se pudo apreciar el acabado final de la parte inferior de nuestro protector, es necesario ligar en toda la superficie del protector ya que existe mucha rugosidad.



Ilustración 3-23: Parte inferior del protector

Realizado por: Yáñez, 2023

3.6 Diseño protector lateral en SpaceClaim - Ansys

SpaceClaim se destaca como una potente aplicación de modelado en 3D, que se caracteriza por su interfaz de usuario intuitiva y que adquiere un valor particularmente significativo en el ámbito de la ingeniería inversa. En esta disciplina, una etapa crítica se centra en la conversión de datos provenientes de nubes de puntos o modelos escaneados en sólidas superficies que sean susceptibles de edición. El facetado en SpaceClaim desempeña un papel fundamental en este proceso. El facetado se refiere a la transformación de datos de superficie en representaciones geométricas basadas en polígonos o facetas. SpaceClaim ofrece la capacidad de importar datos escaneados y, a través de su herramienta de facetado, generar modelos tridimensionales a partir de esta información. Esta funcionalidad resulta esencial en la ingeniería inversa, al facilitar la adaptación, análisis y mejora de diseños preexistentes. La versatilidad de SpaceClaim y su

capacidad para trabajar con datos facetados lo convierten en una herramienta fundamental en proyectos de investigación y desarrollo de productos, así como en la optimización de diseños ya existentes.

3.6.1 Ingeniería Inversa

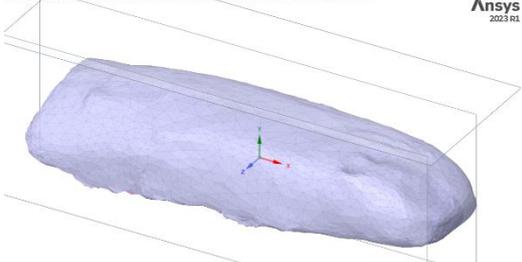
La ingeniería inversa con fotogrametría representa una metodología avanzada que se vale de la adquisición y el procesamiento de datos fotográficos para lograr una restauración precisa y la comprensión detallada de las características geométricas de objetos y entornos. Mediante la recopilación de imágenes desde múltiples perspectivas y distancias, es factible la generación de modelos tridimensionales de alta resolución, permitiendo la reconstrucción precisa de estructuras (Betancur, 2011, p.5). Para obtener el protector lateral se siguen los siguientes pasos:

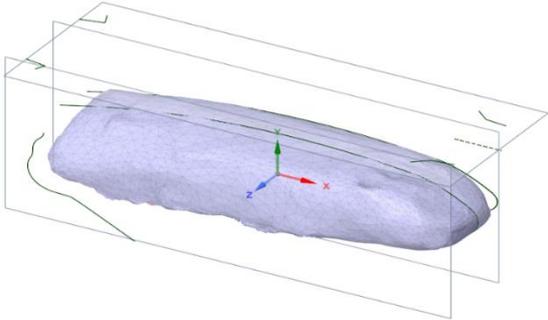
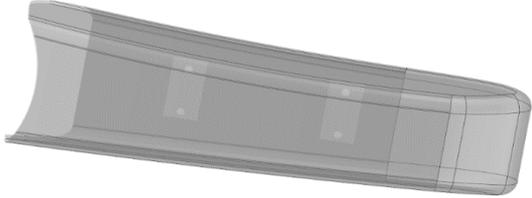
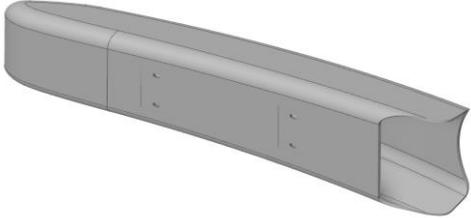
- Preparación y configuración: con la ayuda de la aplicación PolyCam en nuestro celular se capturará las imágenes.
- Calibrar y alinear: dentro de la aplicación móvil se calibrará automáticamente las fotos tomadas.
- Procesamiento: una vez que se tomen las fotos necesarias, la misma aplicación generara un modelo tridimensional.
- Refinamiento: esta es una herramienta de la misma aplicación el cual elimina el ruido del modelo o ajusta la densidad de este.
- Exportación: Una vez terminado el modelo 3D, se podrá exportar como archivo OBJ o STL, para luego poder utilizar cualquier software de diseño.

3.6.2 Pasos para el diseño del protector lateral

En la ilustración 3-8 se detalla los pasos a seguir dentro de SpaceClaim- Ansys

Tabla 3-8: Pasos para diseño en SpaceClaim-Ansys

Pasos de diseño	
<p>Importamos el archivo stl, donde podemos visualizar y posicionar el archivo digitalizado</p>	

<p>Con las herramientas de cortes y planos procedemos a bosquejar la forma del protector</p>	
<p>Una vez bosquejado utilizamos superficies y espesores para poder transformarlo en un archivo solido</p>	
<p>Diseño culminado con espesor de 5mm</p>	

Realizado por: Yáñez, 2023

3.6.3 Asignación de material

El protector lateral al ser hecho por un material poco común en el mercado hay que asignar los parámetros de la fibra de abacá dentro de Ansys que se podrán ver en la tabla 3-9.

Tabla 3-9: Parámetros para asignar nuevo material

Engineering Data	
Derive from	Young's Modulus and Poisson Ratio
Density	1,5e-06 kg/mm ³
Young's Modulus	238,35 MPa
Poisson's Ratio	0,35000
Bulk Modulus	264,83 MPa
Shear Modulus	88,278 MPa
Tensile Ultimate Strength	2,198 MPa
Tensile Yield Strength	65,146 Pa

Realizado por: Yáñez, 2023

3.6.4 Mallado del protector lateral

El proceso de mallado es una técnica en la simulación numérica que se utiliza para subdividir un modelo en elementos finitos con el fin de llevar a cabo análisis de mayor precisión. El término "quality mesh" se utiliza para describir una malla de alta calidad que garantiza que los elementos sean geoméricamente precisos y uniformes, lo que a su vez mejora la precisión de los resultados en análisis de elementos finitos. La generación de un mallado de alta calidad resulta fundamental para obtener resultados confiables en simulaciones numéricas.

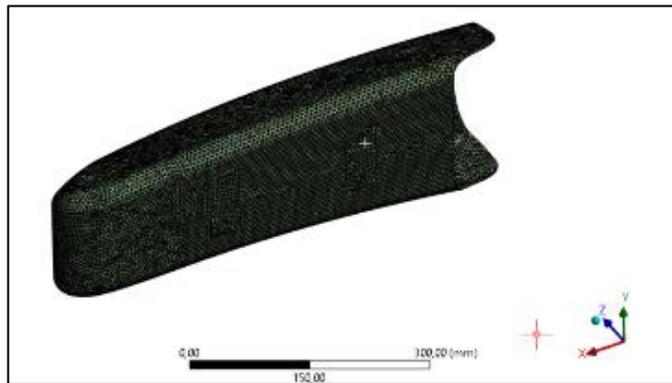


Ilustración 3-24: Mallado protector lateral

Realizado por: Yáñez, 2023

En la ilustración 3-23 se muestra el rango de resultados del mesh metric con element quality de 0.7 a 0.9 sugiere que la calidad de la malla es bastante buena, con elementos en su mayoría geoméricamente precisos. Esto es fundamental para obtener resultados precisos en análisis de elementos finitos, lo que indica que el mallado es adecuado para la simulación.

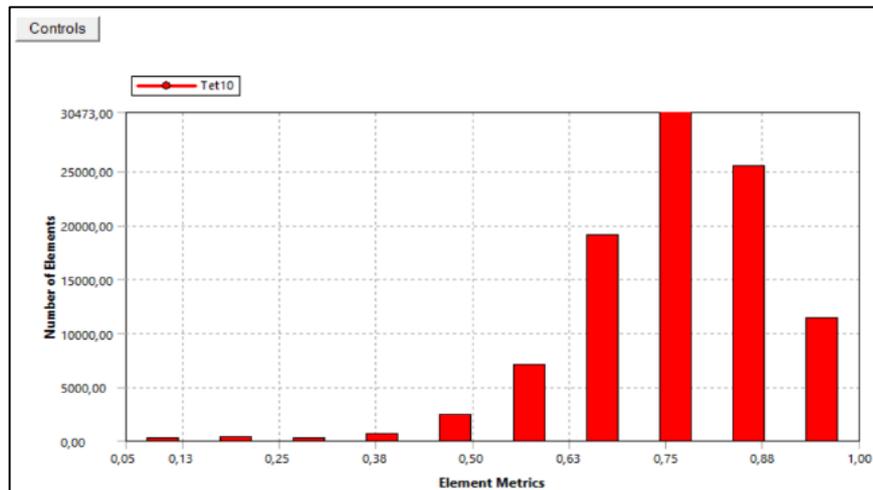


Ilustración 3-25: Calidad del elemento – Ansys

Realizado por: Yáñez, 2023

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Ensayos de Flexión

Los ensayos de flexión se llevaron a cabo de acuerdo con la norma NTE INEN 2047:2013. El propósito de este tipo de prueba es evaluar la capacidad de los materiales rígidos para resistir fuerzas de flexión. Durante estos ensayos, las muestras se colocan de manera que estén soportadas en sus extremos, y se les aplica una carga en su punto medio con una velocidad constante hasta que alcancen el punto de ruptura o una deformación máxima del 5%.

4.1.1 Resultados ensayos de flexión

Las pruebas realizadas se hicieron en una maquina electromecánica MTE-50, especializada en realizar ensayos de tracción, compresión, flexión y cizallamiento.

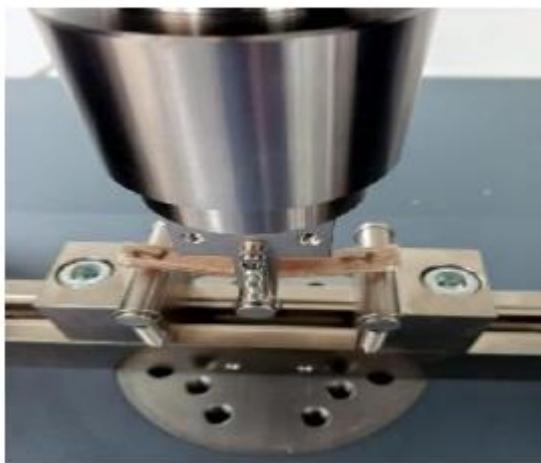


Ilustración 4-1: Ensayo de flexión

Fuente: CTT-FICM, 2023

En la tabla 4-2 se indican los resultados de los ensayos destructivos que se realizaron.

Tabla 4-1: Resultados ensayos de flexión

No. de probeta	Identificación de probeta	Fuerza máxima (N)	Tensión Máxima (MPa)	Módulo elástico (GPa)	Deformación máxima (%)
1	F-1	278,4250	534,5770	32,2960	1,96377
2	F-2	292,5870	561,7680	37,6041	2,36271
3	F-3	340,3740	653,5190	49,3236	2,65470
4	F-4	111,4290	213,9440	28,0092	1,49111
5	F-5	54,2561	104,1720	16,8617	1,31777
6	F-6	121,2440	232,7880	31,2074	1,42472
Promedio		199,719	383,461	33,550	1,869
Desviación estándar		124,826	239,666	12,205	0,565
Coefficiente de variación		0,625	0,625	0,364	0,302

Fuente: CTT-FICM, 2023

4.1.2 Evaluación resultados ensayos de flexión

- Tensión máxima promedio: 383,461 MPa
- Módulo de elástico promedio: 33,550 GPa
- % deformación promedio: 1,869 %

En lo que respecta a los valores de tensión máxima, es importante destacar que la probeta denominada F-5 muestra un valor significativamente distante de los demás resultados, lo que se traduce en una desviación estándar considerable. No obstante, en términos generales, el comportamiento de las demás pruebas es alentador. El módulo de elasticidad es un parámetro específico que cada material posee, y sirve como indicador de su capacidad para recuperar su forma original cuando se somete a tensiones que pueden aumentar su deformación. Dentro de los valores obtenidos, la desviación estándar no exhibe una variación sustancial, lo que indica que los valores no presentan una dispersión significativa, y el valor promedio sugiere que el material compuesto muestra una resistencia muy satisfactoria. El porcentaje de deformación es un aspecto crítico para considerar, ya que no debe exceder el 5% para cumplir con los estándares de calidad. En nuestra investigación, este valor se muestra prometedor, ya que cumple con los requisitos de la normativa.

4.2 Ensayos de Tracción

Los ensayos de tracción se llevaron a cabo conforme a lo dispuesto en la norma NTE INEN 2043:2013, la cual establece procedimientos para evaluar la resistencia a la rotura por tracción de materiales como hojas flexibles, termoplásticos, termoestables y compuestos. Estos ensayos implican la aplicación de una fuerza predefinida a lo largo del eje principal de la muestra, con una velocidad constante, hasta que esta se rompa.

4.2.1 Resultados ensayos de tracción

Los ensayos de tracción se realizaron en una máquina electromecánica MTE-50, a una velocidad de 10 mm/min como lo recomienda la norma



Ilustración 4-2: Máquina electromecánica MTE-50

Fuente: CFPMCPT, 2023

En la tabla 4-2 se indican los resultados de los ensayos de tracción

Tabla 4-2: Resultados ensayos de tracción

No. de probeta	Identificación de probeta	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Deformación máxima (%)
1	180453453320230710 - ETP 01 – 1	12900	69,09	5,591
2	180453453320230710 - ETP 01 – 2	14450	73,08	3,698
3	180453453320230710 - ETP 01 – 3	12200	60,91	4,005
4	180453453320230710 - ETP 01 – 4	12750	54,75	4,537
5	180453453320230710 - ETP 01 – 5	14000	67,89	4,607
Promedio		13260	65,146	4,487
Desviación estándar		932,336	7,281	0,723
Coefficiente de variación		0,070	0,112	0,161

Fuente: CFPMCPT, 2023

4.2.2 Evaluación de resultados ensayos de tracción

- Esfuerzo máximo de tracción promedio: 65,146 MPa
- Fuerza máxima promedio: 13260 N
- Deformación máxima promedio: 4,487 %

En estos resultados hay que destacar que todos son valores muy cercanos por lo que sus promedios se acercan al resultado esperado, cabe resaltar que la probeta número uno tuvo una deformación mayor al 5% ya que la probeta tuvo un menor ancho, que en un principio no es muy perceptible a la vista humana. En la ilustración 4-3 y 4-4 se puede ver las gráficas de acuerdo con el comportamiento de los ensayos realizados.

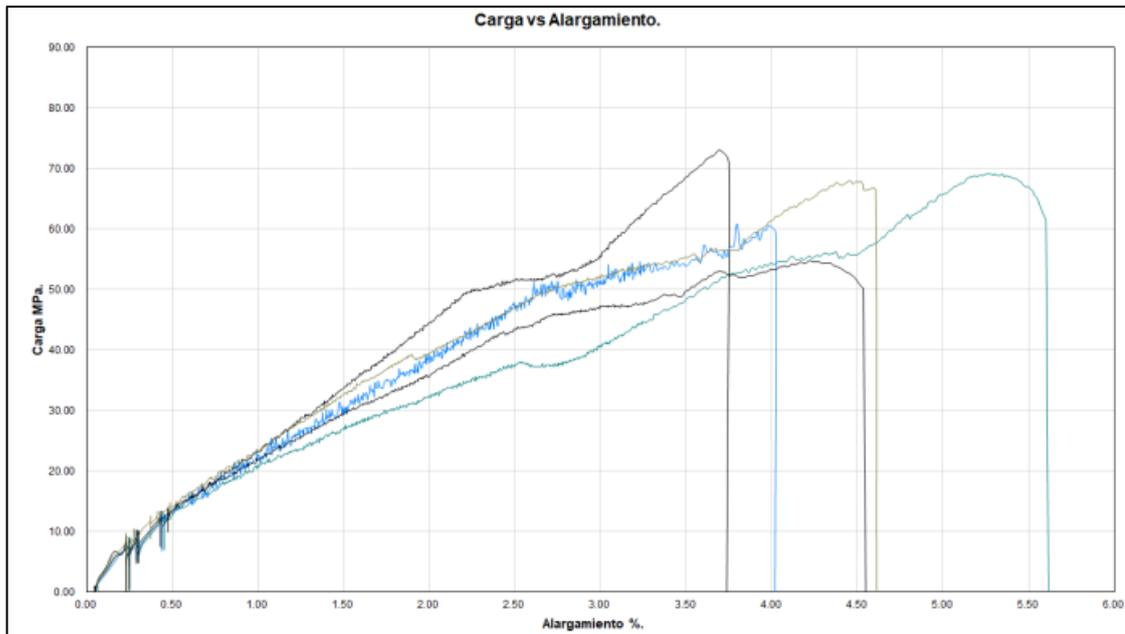


Ilustración 4-3: Grafica ensayo de tracción-Carga vs Alargamiento

Fuente: CFPMCPT, 2023

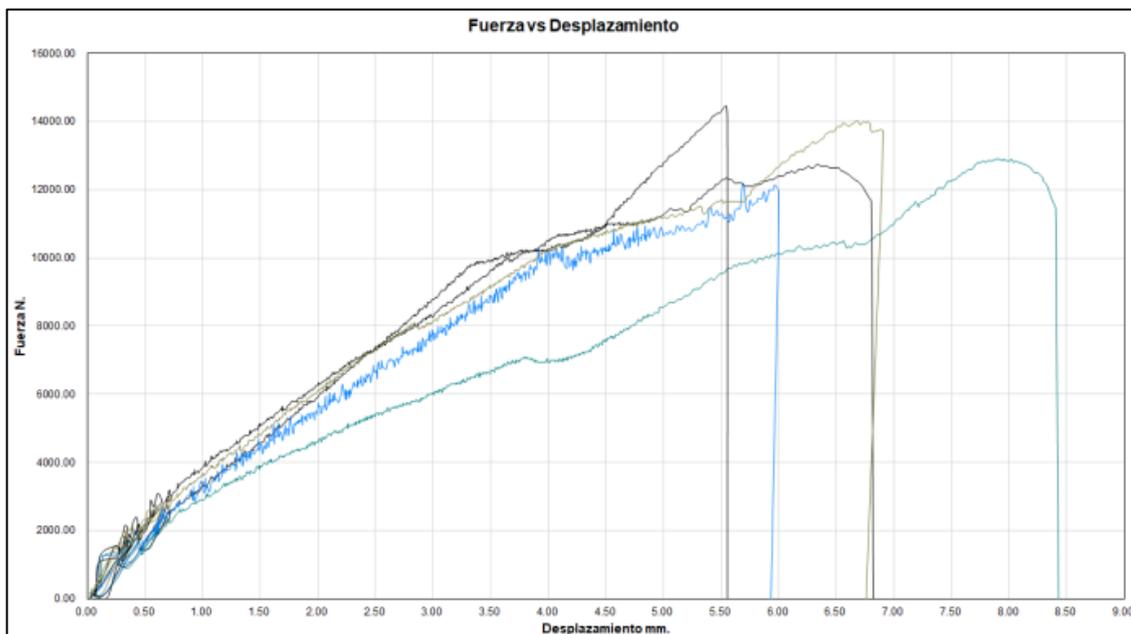


Ilustración 4-4: Grafica ensayo de tracción-Fuerza vs Desplazamiento

Fuente: CFPMCPT, 2023

4.2.3 *Fibra de vidrio vs Fibra de abacá*

En la tabla 4-3 podemos ver una comparación entre dos materiales compuestos, en donde tuvieron el mismo tratamiento para la creación de las probetas para ensayos destructivos su única diferencia es la utilización de diferentes refuerzos. Como ya sabemos la fibra de vidrio es uno de

los refuerzos más utilizados en el mercado automotriz, pero la fibra de abacá puede ser un gran sustituto de este refuerzo.

Como podemos ver en la tabla 4-3 las propiedades mecánicas de la fibra de abacá supera por mucho en los resultados de los ensayos de flexión; existe una diferencia de 59%, 99% y 24 % del esfuerzo máximo a la flexión, módulo de elasticidad y deformación máxima, respectivamente, por parte de la fibra de abacá. Por otro lado, la fibra de vidrio se incrementó un 21% y 57% en el esfuerzo máximo a la tracción y el porcentaje de elongación, respectivamente, en los ensayos de tracción. Por lo que la fibra de abacá resultaría un gran sustituyente como principal material de refuerzo.

Tabla 4-3: Comparación propiedades mecánicas fibra de vidrio vs fibra de abacá

Propiedades mecánicas	Fibra de vidrio	Fibra de abacá
Flexión		
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	155,035	383,461
Módulo de elasticidad (MPa)	6243,65	33,550
Deformación máxima (%)	2,467	1,869
Tracción		
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	83,05	65,146
Módulo de elasticidad (MPa)	-	-
Porcentaje de elongación (%)	1,916	4,487

Fuente: Vargas, 2020

4.3 Modelación por modelo computacional

4.3.1 Modelo CAD

Una vez hecho el modelo por medio de ingeniería inversa se utiliza un renderizado para poder dar un acabado final al protector lateral, y así obtener el resultado final como se muestra en la ilustración 4-5.

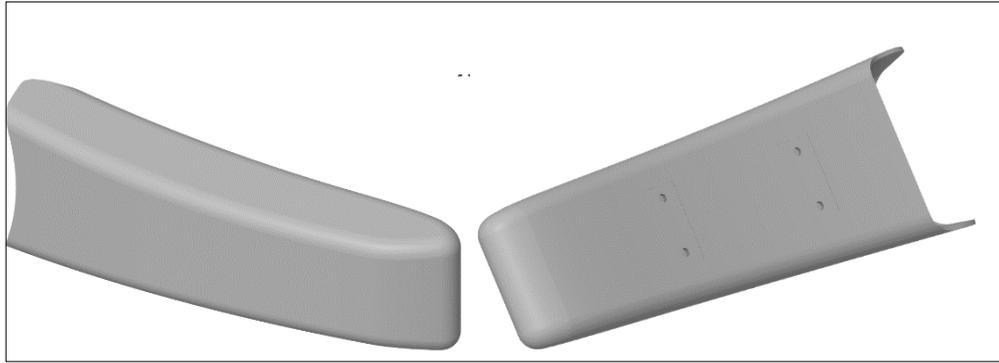


Ilustración 4-5: Protector lateral para kart, acabado final

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.2 *Modelo computacional para simulación*

Para la simulación se estableció un análisis estático del protector en la parte longitudinal, lateral y superior, considerando que los protectores irán emperrados en la parte lateral. Una vez que tengamos nuestro mallado correctamente hay que aplicar fixed support para todos los análisis estáticos que se realizaran dónde irán los pernos como se muestra en la ilustración 4-6.

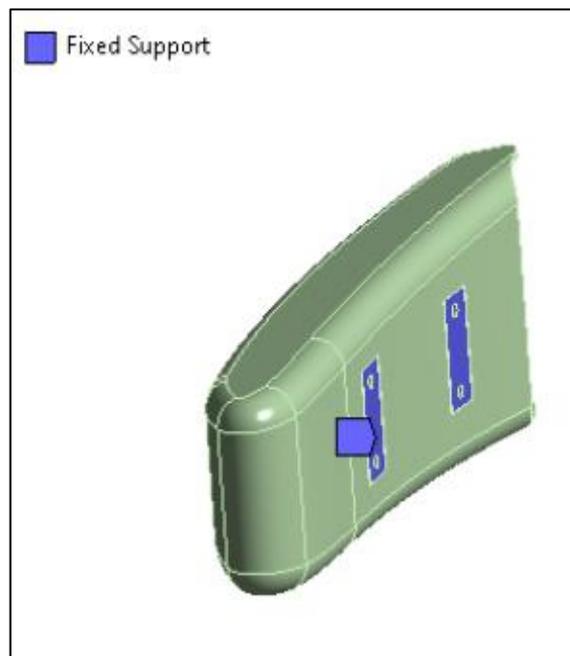


Ilustración 4-6: Aplicación de fixed support en los anclajes

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.3 Análisis estático – longitudinal

Aplicamos una fuerza de 1500 N en la parte frontal del protector como se muestra en la ilustración 4-7, y analizamos los resultados de nuestra simulación.

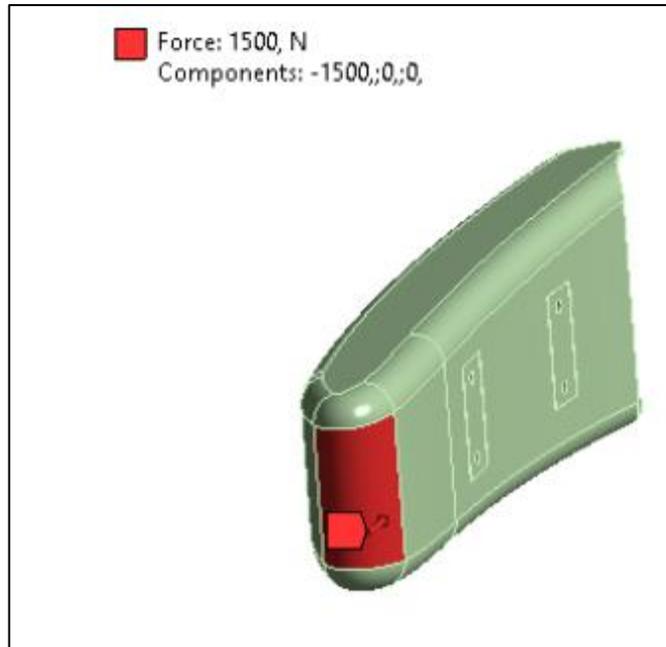


Ilustración 4-7: Aplicación de fuerza en la parte frontal

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.3.1 Resultado simulación longitudinal – deformación

Un valor máximo de deformación de 0,14 mm en un análisis longitudinal indica que la estructura experimenta una deformación relativamente baja, lo que sugiere que el material de abacá puede mantener su integridad estructural en estas condiciones

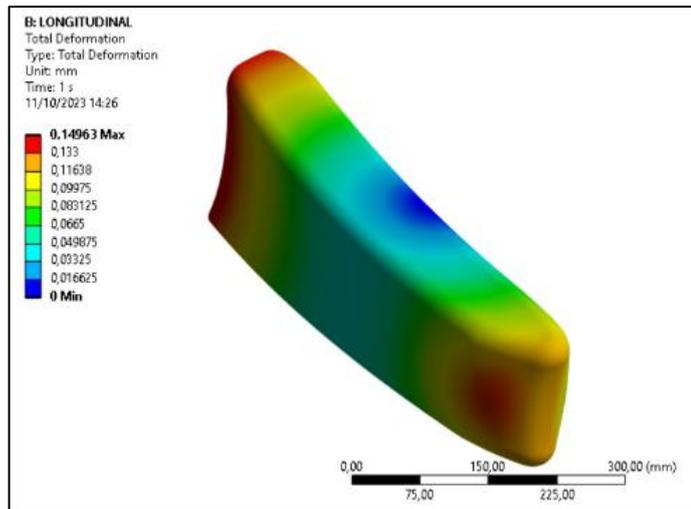


Ilustración 4-8: Simulación longitudinal – deformación

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.3.2 Resultado simulación longitudinal – esfuerzo máximo

Un valor máximo de esfuerzo de 12.52 MPa en un análisis longitudinal sugiere que el material de abacá está experimentando una carga moderada, lo que indica una resistencia adecuada en relación con sus propiedades mecánicas. Esto es importante para evaluar si el material puede soportar las fuerzas aplicadas en la aplicación específica.

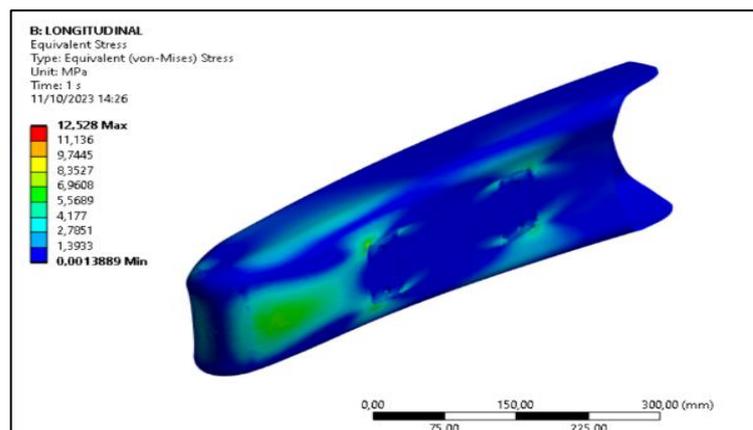


Ilustración 4-9: Simulación longitudinal – esfuerzo máximo

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.3.3 Resultado simulación longitudinal – factor de seguridad

Un factor de seguridad de 5.8 en un análisis longitudinal indica una amplia margen de seguridad, lo que sugiere que el material de abacá es capaz de soportar la carga aplicada con gran seguridad.

Esto es una señal positiva en términos de durabilidad y confiabilidad del material en la aplicación particular.

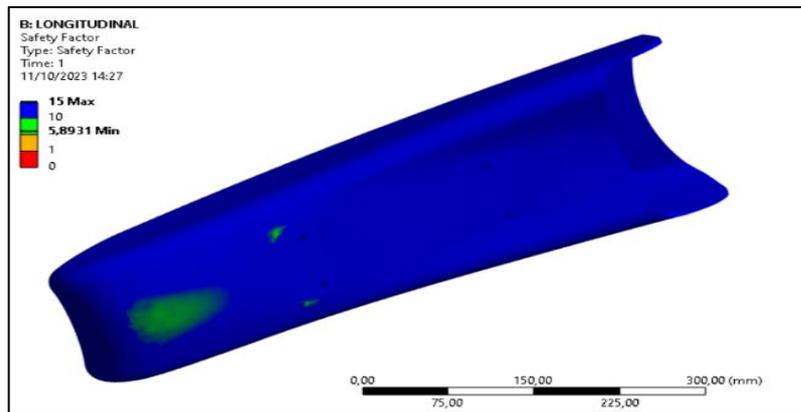


Ilustración 4-10: Simulación longitudinal – factor de seguridad

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.4 Análisis estático – lateral

Aplicamos una fuerza de 1500 N en la parte lateral del protector como se muestra en la ilustración 4-11, y analizamos los resultados de nuestra simulación.

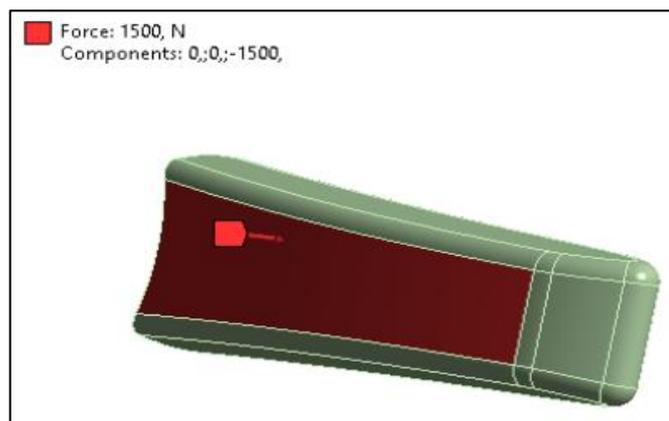


Ilustración 4-11: Aplicación de fuerza en la parte lateral

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.4.1 Resultado simulación lateral – deformación

Un valor máximo de deformación de 2.37 mm en un análisis lateral sugiere una deformación significativa en la estructura de abacá, lo que podría indicar una capacidad limitada del material para resistir cargas laterales.

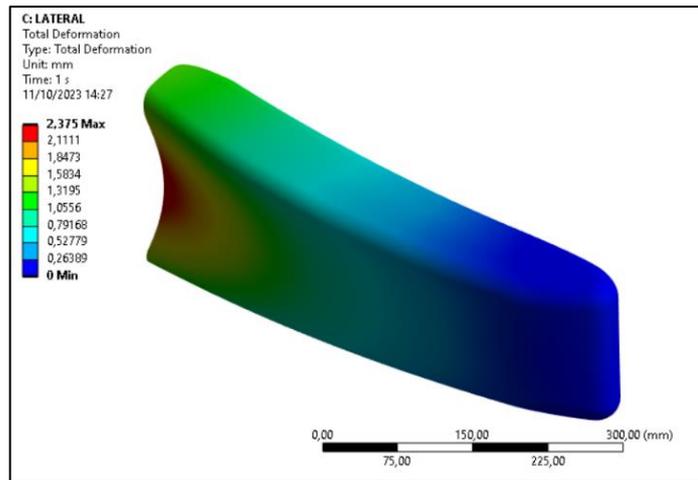


Ilustración 4-12: Simulación lateral – deformación

Realizado por: Yánez, 2023

4.3.4.2 Resultado simulación lateral – esfuerzo máximo

Un valor máximo de esfuerzo de 90.29 MPa en un análisis lateral indica que el material de abacá está experimentando una carga elevada, lo que sugiere una tensión significativa en la estructura. Esto podría requerir una revisión del diseño o consideración de alternativas para garantizar que el material no exceda sus límites de resistencia.

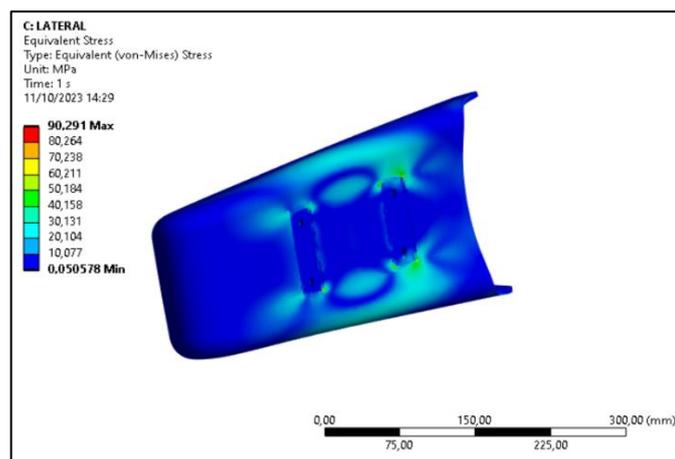


Ilustración 4-13: Simulación lateral – esfuerzo máximo

Realizado por: Yánez, 2023

4.3.4.3 Resultado simulación lateral – factor de seguridad

Un factor de seguridad de 2 en un análisis lateral indica que el material de abacá está operando cerca de su límite de resistencia en condiciones laterales.

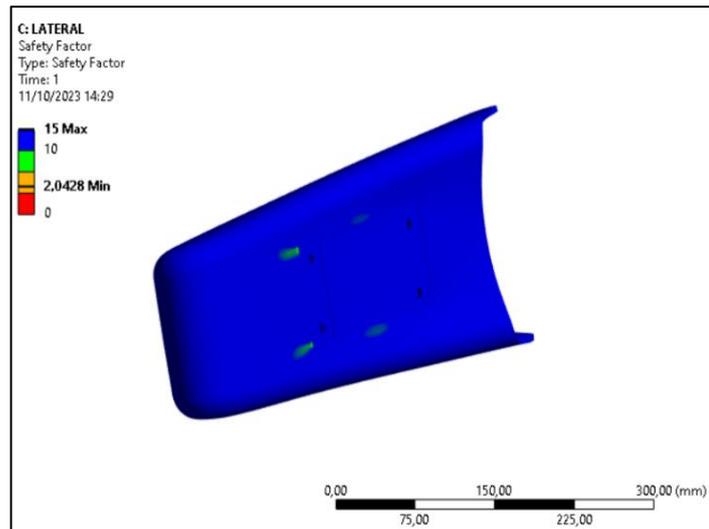


Ilustración 4-14: Simulación lateral – factor de seguridad

Realizado por: Yánez, 2023

4.3.5 Análisis estático – superior

Aplicamos una fuerza de 2000 N en la parte superior del protector como se muestra en la ilustración 4-15, y analizamos los resultados de nuestra simulación.

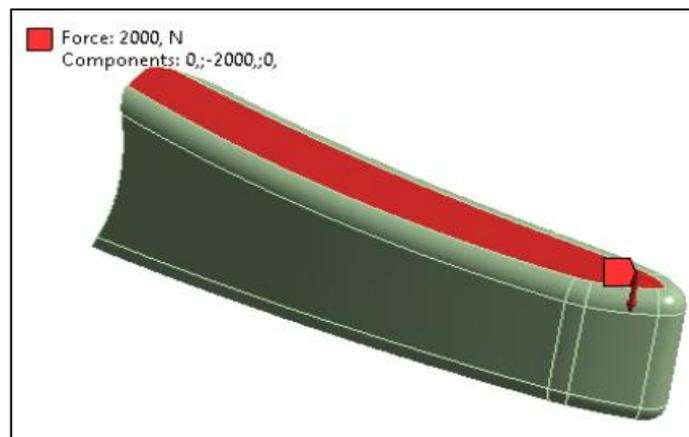


Ilustración 4-15: Aplicación de fuerza en la parte superior

Realizado por: Yánez, 2023

4.3.5.1 Resultado simulación superior – deformación

Un valor máximo de deformación de 3.7 mm en un análisis superior indica una deformación apreciable en la estructura de abacá, lo que sugiere que el material puede experimentar cierta flexión o deformación bajo la carga aplicada

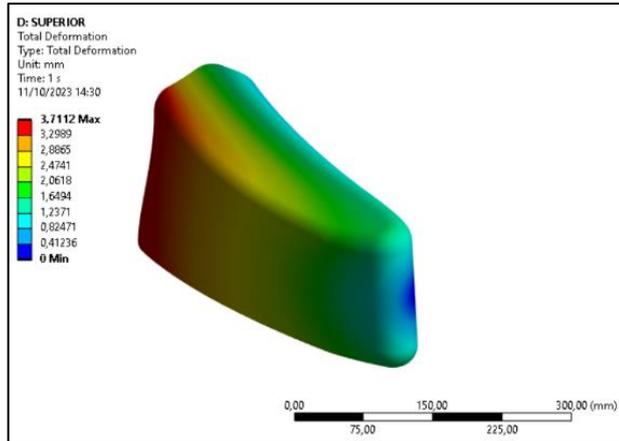


Ilustración 4-16: Simulación superior – deformación

Realizado por: Yánez, 2023

4.3.5.2 Resultado simulación superior – esfuerzo máximo

Un valor máximo de esfuerzo de 167.44 MPa en un análisis superior indica que el material de abacá está sometido a una carga sustancial y cercana a su límite de resistencia.

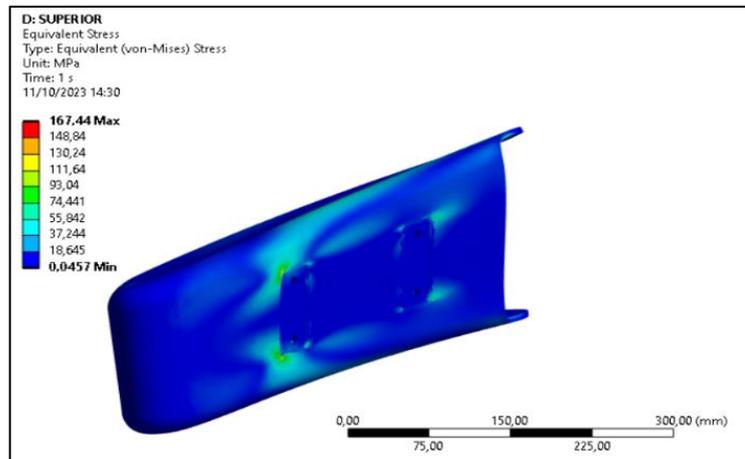


Ilustración 4-17: Simulación superior – esfuerzo máximo

Realizado por: Yánez, 2023

4.3.5.3 Resultado simulación superior – factor de seguridad

Un factor de seguridad de 2 en un análisis lateral indica que el material de abacá está operando cerca de su límite de resistencia en condiciones laterales.

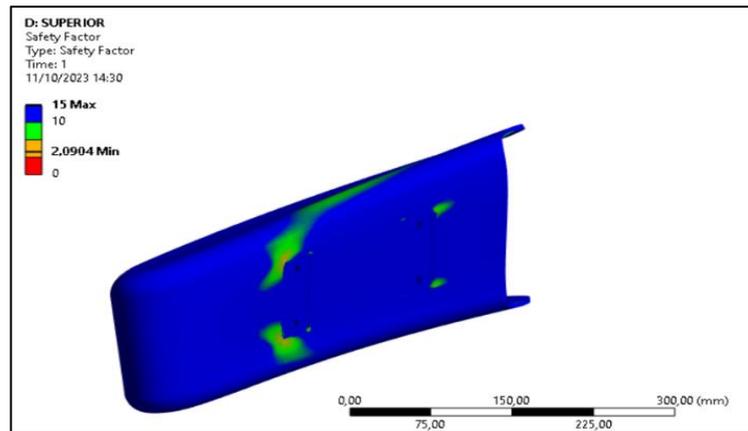


Ilustración 4-18: Simulación superior – factor de seguridad

Realizado por: Yánez, 2023

4.3.6 Simulación dinámica protector lateral

Este tipo de simulación se lo realiza específicamente para eventos dinámicos de muy corta duración como impactos, choques, explosiones, esto permite modelar deformaciones a gran escala muy complejas de no linealidad. Utilizando el software ANSYS Workbench Explicit Dynamics se aplico una velocidad constante de 22,2 m/s entendiendo que es la velocidad máxima de un karting homologado para adulto está en un rango de 22,2 m/s a 27,8 m/s y una fuerza de 798,66 N entendiendo que la aceleración máxima de un karting prototipo es de 5,22 m/s² y una masa de 153 kg con el piloto incluido.

4.3.6.1 Resultados análisis dinámico – lateral

Luego de realizar la simulación para un análisis dinámico del protector lateral, el cual se simula in impacto con una pared rígida hacia el centro geométrico del protector se llega a obtener una deformación máxima de 19,98 mm, como se muestra en la ilustración 4-19.

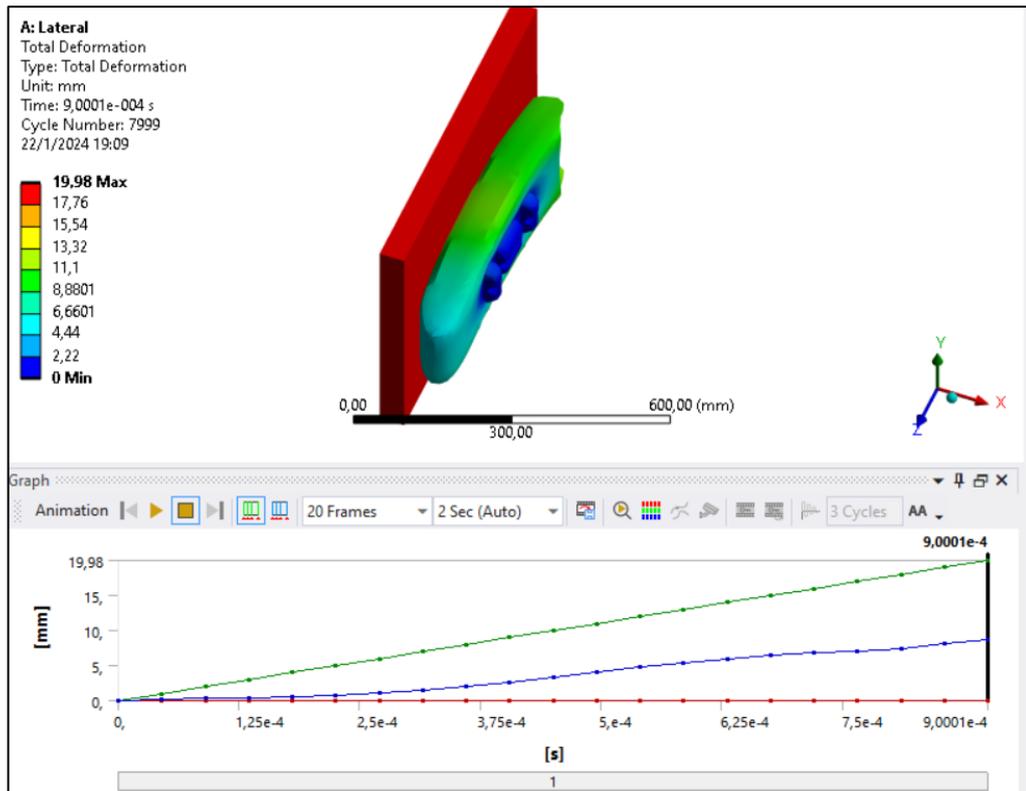


Ilustración 4-19: Deformación máxima lateral en el análisis dinámico

Realizado por: Yáñez, 2023

Esta deformación total nos muestra que se generara una abolladura importante producto del impacto y su deformación plástica resultante es de 4% como se muestra en la ilustración 4-20 por lo que supera su deformación elástica.

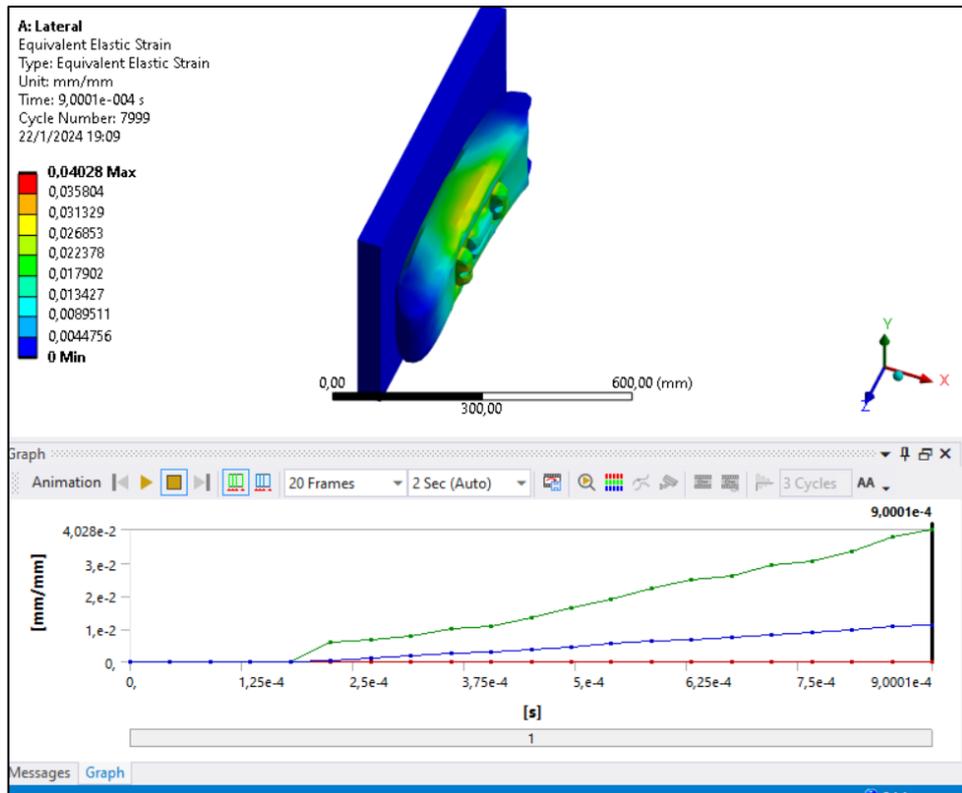


Ilustración 4-20: Deformación plástica equivalente lateral en el análisis dinámico

Realizado por: Yáñez, 2023

En la ilustración 4-21 se muestra la relación que existe entre la deformación del protector y la energía absorbida, en donde se observa que a medida que la deformación aumenta, también aumenta la energía absorbida por el protector en el transcurso del tiempo de simulación.

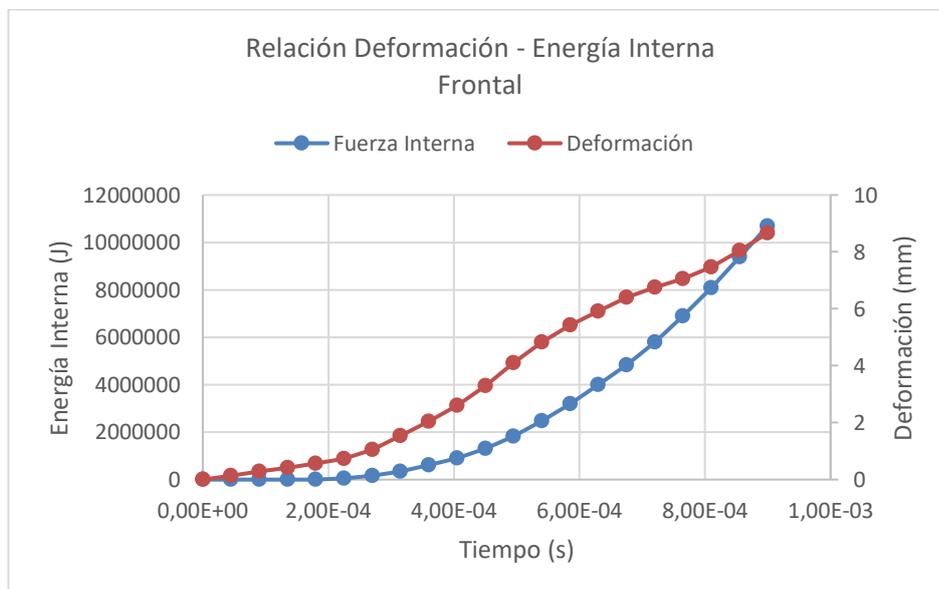


Ilustración 4-21: Relación deformación – energía interna (frontal)

Realizado por: Yáñez, 2023

4.3.6.2 Resultados análisis dinámico – diagonal

La simulación consiste en igual in impacto de forma diagonal con las mismas condiciones de velocidad de 22,2 m/s contra una pared rígida. Alcanzando una deformación máxima de 25,44 mm, como se muestra en la ilustración 4-21, y su deformación plástica es de 3,4% superando el límite elástico del material compuesto como se muestra en la ilustración 4-22.

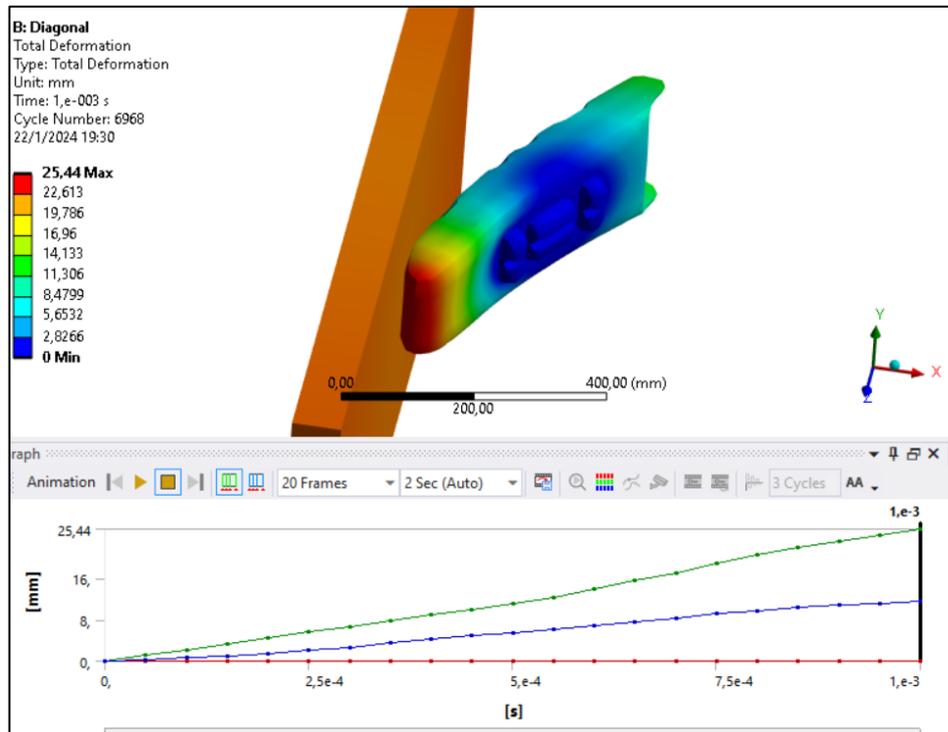


Ilustración 4-22: Deformación máxima diagonal en el análisis dinámico

Realizado por: Yáñez, 2023

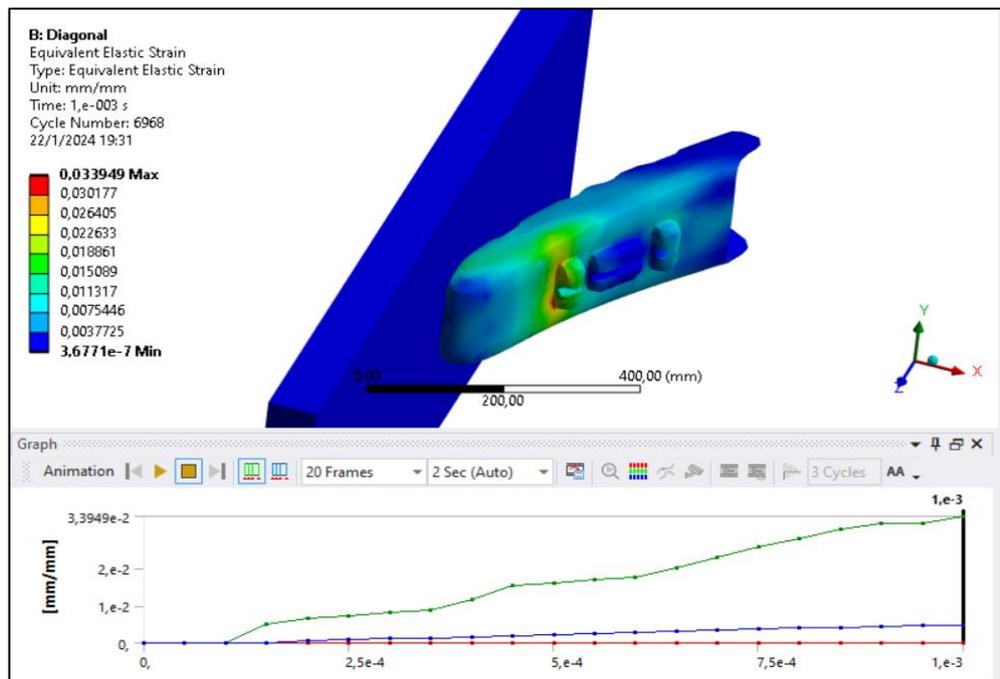


Ilustración 4-23: Deformación plástica equivalente diagonal en el análisis dinámico

Realizado por: Yáñez, 2023

En la ilustración 4-24 se muestra la relación que existe entre las curvas de deformación y energía absorbida por el protector, en donde se observa que el material tiende a recuperar en ciertos instantes su geometría inicial, lo cual podría deberse a la tendencia que tiene el material para recuperar su forma debido a la elasticidad.

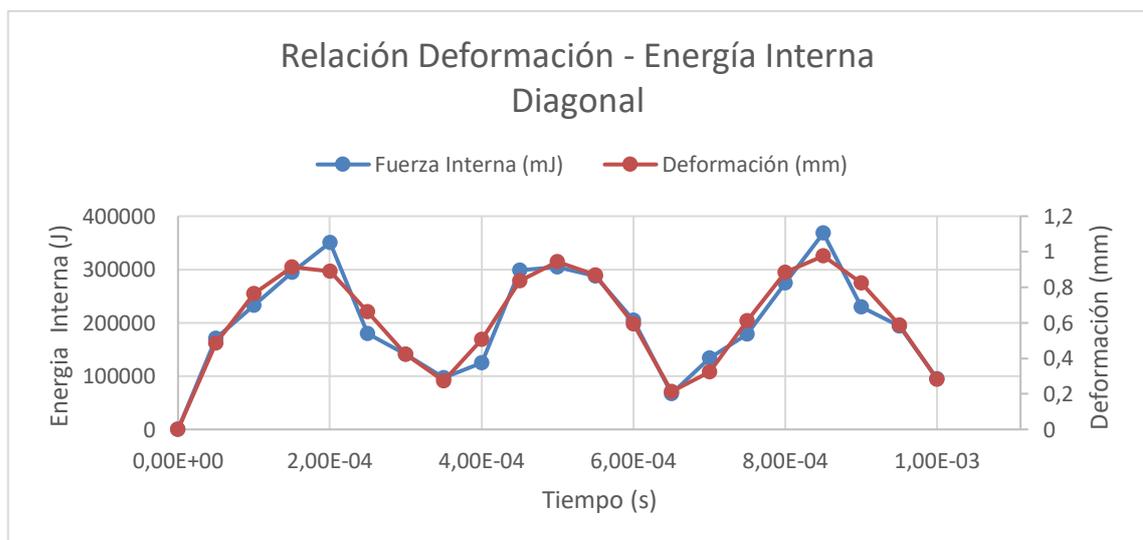


Ilustración 4-24: Relación deformación – energía interna (diagonal)

Realizado por: Yáñez, 2023

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Luego de haber culminado con la investigación teórica y puesta en práctica de la misma se pudo alcanzar el objetivo general para esta investigación; diseñar y construir protectores laterales para un vehículo prototipo de karting para la carrera de Ingeniería Automotriz, esto en conjunto del conocimiento adquirido sobre materiales compuestos a base de abacá – poliéster para que pueda obtener las propiedades mecánicas necesarias para una mayor seguridad.
- Dentro del mundo del karting existe una gran variedad de materiales que pueden ser aplicados en los protectores laterales que se pueden clasificar en dos, protectores homologados que solo pueden ser hechos de plástico y por otro lado existen los protectores convencionales, los cuales pueden ser hechos de cualquier tipo de material que entre los más utilizados esta la fibra de vidrio – poliéster ya que en el mercado es uno de las más económicos y sus propiedades mecánicas están entre las mejores ya que ayudan a mitigar el riesgo de accidentes catastróficos.
- Se logro diseñar los protectores con asistencia de software CAD y ayuda de ingeniería inversa que básicamente es el procesamiento de datos fotográficos para poder crear un único sólido y luego poder procesarlo mediante Ansys, transformando el modelo escaneado a una superficie sólida y tridimensional.
- Los proceso de manufactura están enfocados en transformar materia primas, componentes o recursos en un producto final por lo que para la elaboración del molde para el protector lateral se utilizó el poliuretano por su gran variedad de aplicaciones en las industrias ya que sirven como sellante, adhesivo o aislante acústico o térmico, en su presentación liquida, que al combinar los componentes A (poliol) y el componente B (isocianato) se genera una reacción de expansión y como resultado se genera una espuma solida con una gran versatilidad y durabilidad.
- La construcción de los protectores laterales a base del material compuesto abacá – poliéster se lo realizo a base de la investigación de materiales compuestos, que incluyen dos componentes, una matriz polimérica y un refuerzo de vibra vegetal, sin dejar de lado las posibilidades

existentes de refuerzos que existen en el mercado ecuatoriano; alcanzando con éxito un proceso de curado y una mezcla de componentes estables.

- Para la generación de simulación mediante elementos finitos se utilizó el software Ansys que se caracteriza por ser un potente programa de simulaciones estructurales, para lo cual a nuestro protector se sometió a 3 escenarios de análisis estructurales aplicando las propiedades mecánicas de la fibra de abacá en donde el análisis estructural frontal no presento ninguna deformación excesiva y un factor de seguridad muy alto; ahora para el análisis estructural de la parte lateral su resistencia estuvo al límite al igual que su factor de seguridad ya que su deformación fue mucho más grande de lo esperado y en última instancia el análisis estructural de la parte superior del protector estuvo en las mismas condiciones que la parte lateral ya que su deformación fue igual mayor de lo esperado.
- La validación de la resistencia estructural del protector para kart se lo hizo a base de dos normas, la NTE INEN 2043:2013 (Métodos de ensayo para la determinación de las propiedades de tensión) y NTE INEN 2047:2013 (Determinación de la resistencia a la flexión de los materiales plásticos rígidos); pero en los ensayos se pudo denotar una mejor resistencia estructural la fibra de vidrio que la fibra de abacá

5.2 Recomendaciones

- Se sugiere realizar un mejor diseño del protector para la simulación ya que podría presentar mayor resistencia a la deformación del material y garantizar una mayor seguridad para el proceso de fabricación del protector.
- Para obtener un mejor material compuesto es mejor realizar varias mezclas, variando los porcentajes de los componentes y la orientación de la fibra para que se pueda tabular y encontrar la mezcla optima entre la matriz polimérica y el material de refuerzo para que presente mejores propiedades mecánicas.
- Dentro del proceso de obtener el molde para nuestro protector se recomienda dejar secar a la espuma de poliuretano más de 72 horas ya que al interior del molde puede haber humedad a causa de la misma mezcla de los componentes A y B; por lo que será más complicado poder retirar el protector lateral y corremos el riesgo de poder romper el molde. También para evitar la rotura completa del molde es necesario incorporar varias capas de desmoldante antes de colocar la mezcla del poliuretano.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ABRAHAM, Y. & LÓPEZ, A.**, *Diseño y simulación de un material compuesto con fibra de abacá y su aplicación en el sector automotriz* [en línea]. 2022 [Consulta: 12 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23837>.
2. **BETANCUR, M.A.**, *Ingeniería Inversa Aplicada: Metodología y aplicaciones industriales* [en línea]. Universidad EAFIT. 2011 [consulta: 11 julio 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10784/9080>
3. **FLORES, C.E.**, *Polímeros Vs. Plásticos*. [en línea]. 2009 [consulta: 11 julio 2023]. Disponible en: <https://www.aevae.net/polimeros-plasticos/>
4. **GONZÁLEZ-PROLONGO, M.**, *Propiedades químicas y físicas de polímeros*. [en línea] 1997 pág. 1-18 [consulta: 19 septiembre 2023]. Disponible en: <https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9641/?sequence=1>
5. **GUERRERO, H., DÁVILA, J., GALEAS, S., PONTÓN, P., ROSAS, N., SOTOMAYOR, V. & VALDIVIESO, C.**, *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales* [en línea]. Quito 2011 Primera edición. [consulta: 12 septiembre 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>.
6. **GUERRERO, V.H. & PONTÓN, P.**, *Obtención de Materiales Compuestos de Matriz Poliéster reforzados con Fibra de Abacá mediante Estratificación manual*. [en línea]. 2009. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/241278393>.
7. **GUERRERO, V.H., PONTÓN, P., TAMAYO, A., VILLACÍS, H., DELGADO, F. & GALEAS, S.**, *Materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibras naturales y sintéticas*. [en línea]. 2013. [consulta: 12 septiembre 2023]. Disponible en: <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/cienciaytecnologia/article/view/112>.
8. **GUIJARRO PAGUAY, G.I.**, *Análisis de las propiedades de absorción de energía de un material compuesto de abacá -poliester, mediante pruebas de impacto simulados y su*

- incidencia en la seguridad del conductor de un autobús* [en línea]. 2021. [consulta: 12 septiembre 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18308>.
9. **MATA CABRERA, F.**, *Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de automóviles*. [en línea]. 2004. [consulta: 24 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.tecnicaindustrial.es/wp-content/uploads/Numeros/13/40/a40.pdf>.
 10. **MERA SUQUILLO, J.C. & DE LA ROSA ROSALES, Y.**, *Análisis estructural mediante herramientas cad structural analysis using cad tools. Yaku* [en línea], 2002. vol. 5, pág. 34-67 [consulta: 9 julio 2023]. ISSN 2600-5824. Disponible en: <https://publicacionescd.uileam.edu.ec/index.php/yaku/article/view/396>.
 11. **MERCADO ROCA, L.A.**, *Resinas Epoxi Sililadas Retardantes a la llama. Síntesis, Caracterización y Propiedades* [en línea]. 2005. Tarragona: Universitat Rovira I Virgil I [consulta: 7 julio 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/9002>.
 12. **PÁEZ MOSCOSO, J.C.**, *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión* [en línea]. 2007. [consulta: 13 septiembre 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf>.
 13. **PAREDES SALINAS, J.G., PÉREZ SALINAS, C.F. & CASTRO MINIGUANO, C.B.**, *Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz. Enfoque UTE* [en línea] 2017. vol. 8, [consulta: 7 octubre 2023]. ISSN 1390-9363. Disponible en: <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n3.163>.
 14. **PONCE, D.**, *Obtención de materiales compuestos de matriz polimérica formulados incorporando tejidos y no tejidos de fibras naturales* [en línea] 2011. [consulta: 12 septiembre 2023]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4416>.
 15. **REYES CRUZ, A., ATONAL SÁNCHEZ, J. & VÁZQUEZ MACHORRO, R.**, *Determinación de esfuerzos en materiales compuestos de matriz metálica mediante el MEF. Científica* [en línea], 2014 vol. 18, [consulta: 1 junio 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/614/61448036003.pdf>.

16. **SÁNCHEZ Vicente.,** *Análisis mecánico y fisicoquímico de un material compuesto de matriz termoestable y refuerzo de fibra de carbono: comparativa de propiedades del material curado fuera y dentro de autoclave* [en línea]. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. 2011 [consulta: 7 julio 2023]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/12436>.

17. **SCHROEDER, W.F.,** *Modificación de Resinas Vinil-Ester con Polímeros Termoplásticos: Separación de Fases, Morfologías, y Propiedades Finales* [en línea]. Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata. 2006. [consulta: 7 junio 2023]. Disponible en: <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/73>.

18. **VARGAS, I.E.,** *Optimización del proceso de elaboración de las láminas para autopartes en fibra de vidrio reforzadas con Woven Roving 800 en la Fábrica Master Fibra ubicada en Ambato* [en línea]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. 2020. [consulta: 10 julio 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/14112>.

19. **BESEDNJAK, A.** *Materiales compuestos: procesos de fabricación de embarcaciones.* [en línea] Barcelona, Spain: Universitat Politècnica de Catalunya. 2015 [consulta: 10 julio 2023]. Disponible en: <https://elibro.net/es/ereader/espoch/61419?page=8>.

ANEXOS

ANEXO A: PROPIEDADES RESINA POLIÉSTER



RESINA POLIÉSTER ORTOFTÁLICA 33000 DE PROPÓSITO GENERAL

APLICACIONES

Para sistemas reforzados de mediana exigencia mecánica y química.
Diseñada para la producción de mármol sintético, tanto para piezas moldeadas como para placas planas.
Laminación manual, vaciados con carga y aplicaciones de propósito general.

RECOMENDACIONES DE USO

Para curado a temperatura ambiente entre 20 y 25°C. No se recomienda trabajar a temperaturas menores de 15°C, se sugiere la siguiente formulación:

	Partes en peso
Resina 33000	100
ESTIRENO	-
OCTOATO DE COBALTO (12% CO)	0.1 a 0.3
MEK Peróxido (9 % oxígeno activo)	1.0 a 2.5

(1) La cantidad exacta de Estireno depende de la viscosidad final deseada según la aplicación, se recomienda que no sea

mayor a 25 partes.

En la siguiente tabla se presentan las variaciones del tiempo de gel a partir de diferentes porcentajes de cobalto en el sistema de catalización y a diferentes temperaturas.

Octoato de Co al 12% (partes en	TIEMPO DE GEL (min)		
	Temperatura °C		
	15°C	25°C	35°C
0.10%	3	1	7
0.15%	2	1	5
0.25%	1	8	4

(1) El sistema de catalización utilizado para la determinación de los tiempos de gel fue: la variación de % de Cobalto registrada en la tabla con 1 g de MEK Peróxido por 100 g de resina

La temperatura ambiente, la cantidad de Octoato de Cobalto y de catalizador controlan el tiempo de gel de la resina **33000**. El curado debe realizarse a temperaturas superiores a 15°C, que es la temperatura mínima de activación de la reacción de reticulación. Catalizaciones por debajo de ésta temperatura afectan notablemente las propiedades mecánicas de los laminados.

Con el curado a temperatura ambiente se obtienen laminados satisfactorios para muchas aplicaciones, aunque la resistencia mecánica final se logra unos días después de fabricado el producto.

Cuando se requieren óptimas propiedades y buen desempeño a largo plazo, el laminado se debe post curar durante un período de tres (3) horas a 80°C o por más tiempo a menor temperatura.

FORMA DE APLICACIÓN DEL PRODUCTO

La resina **33000** es apropiada para la laminación manual, o moldeo a máquina, y para la aplicación de sistemas cargados y encapsulados. Los laminados obtenidos tienen mediana resistencia mecánica.



La resina se suministra al 70% en sólidos y puede ser modificada por el usuario con la adición de Estireno monómero hasta un 25% máximo, según su aplicación particular.

Las propiedades físicas y de funcionalidad de los productos terminados están influenciados por variables que dependen directamente del transformador de la resina como son: tipo de carga y relación de resina/carga, nivel de catalización, tiempos de gel y velocidades de curado, condiciones de ambiente de trabajo, tiempos y sistemas para desmolde, espesor y área de las placas, espesor y configuración de piezas, etc. A la resina **33000** se le puede agregar un agente tixotrópico para ser aplicada en superficies verticales

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LIQUIDA

Propiedad	Unidad	Valor MIN	Valor MAX	Método
APARIENCIA	Verdosa transparente			ASTM
VISCOSIDAD BROOKFIELD ⁽¹⁾	cP @ 25°C	1500	2500	ASTM D2196
SÓLIDOS	% nvm	68	72	ASTM D1259
TIEMPO DE GEL ⁽²⁾	min @ 25°C	7	10	ASTM D2471
TIEMPO DE MÁXIMA EXOTERMIA ⁽²⁾	min @ 25°C	15	25	ASTM D2471
TEMPERATURA DE MÁXIMA EXOTERMIA ⁽²⁾	°C	130	150	ASTM D2471
ESTABILIDAD	meses		6	

(1) La medida de viscosidad fue realizada con viscosímetro

RVF, aguja 3, 10 rpm, 1 min

(2) Sistema de catalización a 25°C, 100 g de POL 33000, más

(3) 0.25 mL de Octoato Cobalto al 12%, más 1.0 mL de MEK-P.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Reforzada)

Propiedad	Método	Sistema Internacional		Sistema	
		Unidad	Valor	Un.	Valor
Tensión					
ESFUERZO DE TENSIÓN	ASTM D638	MPa	63	psi	9,137.37
MÓDULO	ASTM D638	GPa	9.13	Kpsi	1,324.95
DEFORMACIÓN	ASTM D638	%	1.33	%	1.33
FLEXIÓN					
ESFUERZO DE FLEXIÓN	ASTM D790	MPa	165	Psi	23,931.23
MÓDULO	ASTM D790	GPa	8.54	Ps	1,238.62
DEFORMACIÓN	ASTM D790	%	2.38	%	2.38

(1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.

(2) Estructura de refuerzo: 2 capas de Mat 450 g/m².

(3) Contenido de fibra de vidrio: 23.7%



PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA (Sin reforzar)⁽¹⁾

PROPIEDAD	MÉTODO	SISTEMA INTERNACIONAL		SISTEMA INGLES	
		UNIDAD	VALOR	UNIDAD	VALOR
TENSIÓN					
ESFUERZO DE TENSIÓN	ASTM D638	MPA	45	PSI	6526.70
MÓDULO	ASTM D638	GPA	3.60	KPSI	522.13
DEFORMACIÓN	ASTM D638	%	2.40	%	2.40
FLEXIÓN					
ESFUERZO DE FLEXIÓN	ASTM D790	MPA	113	PSI	16389.26
MÓDULO	ASTM D790	GPA	3.77	KPSI	546.80
DEFORMACIÓN	ASTM D790	%	3.52	%	3.52
OTRAS PROPIEDADES					
CONTRACCIÓN VOLUMÉTRICA		%	5.46	%	5.46
HDT	ASTM D648	°C	60	°F	140
DUREZA	ASTM D2583	BARCOL	42	BARCOL	42
ABSORCIÓN DE AGUA	ASTM D570	%	0.10	%	0.10

(1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C

SEGURIDAD Y MANEJO

La información detallada para el manejo seguro de este material se encuentra en la respectiva Hoja de Seguridad de Materiales.

La resina 33000 está clasificada como "líquido inflamable" según código NFPA 30 (división 3.3.25.2), por tener un punto de inflamación de 31°C en crisol cerrado. Debe mantenerse alejado de llamas abiertas.

La resina 33000 tiene un tiempo de vida equivalente a seis meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Se recomienda almacenarlo en un lugar fresco a una temperatura menor de 25°C para obtener la máxima estabilidad.

CERTIFICACIONES

El fabricante está certificado bajo los requisitos de las normas ISO 9001 e ISO 14001, en el diseño, fabricación, venta y servicio técnico para resinas de poliéster insaturado.

LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDADES

La información y recomendaciones que aparecen en esta publicación son, a nuestro entender enteramente confiables. Las sugerencias ofrecidas para usos o aplicaciones son solamente la opinión del fabricante

ANEXO B: FICHA DE HOMOLOGACIÓN DEL LATERAL 003-BS-54

FICHE D'HOMOLOGATION
HOMOLOGATION FORM

Homologation N°

003-BS-54



COMMISSION INTERNATIONALE
DE KARTING – FIA



CARROSSERIE LATÉRALE / SIDE BODYWORK

Constructeur	Manufacturer	KG sas
Marque	Make	KG
Modèle	Model	506
Catégorie	Category	Toutes / All
Durée de l'homologation	Validity of the homologation	3 ans / years
Nombre de pages	Number of pages	3

La présente Fiche d'Homologation reproduit descriptions, illustrations et dimensions u moment de l'homologation CIK-FIA. This Homologation Form reproduces descriptions, illustrations and dimensions at the moment of the CIK-FIA homologation.



PHOTOS VUE DE DEVANT, DE DESSUS ET DE COTÉ, DES ÉLÉMENTS DE CARROSSERIE AVEC LEURS SUPPORTS

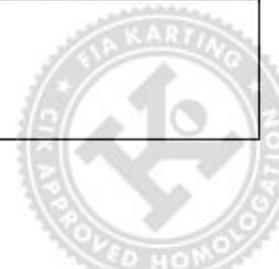
PHOTO FROM FRONT, ABOVE AND SIDE OF BODYWORK ELEMENTS WITH THEIR SUPPORTS

Signature et tampon de l'ASN
Signature and stamp of the ASN

Signature et tampon de la CIK-FIA
Signature and stamp of the CIK-FIA



[Handwritten signature]



ANEXO C: NORMA NTE INEN 2043:2013 (DIMENSION DE RPOBETAS)



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2043:2013
Primera revisión

**PLÁSTICOS. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA
DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN**

Primera Edición

PLASTICS. METHOD FOR DETERMINATION OF TENSILE PROPERTIES.

First Edition

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PLÁSTICOS MÉTODO DE ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE TENSIÓN	NTE INEN 2043:2013 Primera revisión 2013-08
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece el método para determinar la resistencia a la rotura por tracción en plásticos en forma de probetas normalizadas bajo condiciones perfectamente definidas de pre tratamiento, temperatura, humedad y velocidad de ensayo.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma es aplicable a los siguientes materiales:</p> <p>2.1.1 Hojas flexibles de materiales termoplásticos y compuestos para moldeo por inyección, extrusión y colado.</p> <p>2.1.2 Hojas rígidas de materiales termoplásticos, termoestables y compuestos para moldeo por inyección, extrusión y colado.</p> <p>2.1.3 Materiales termoplásticos rígidos destinados al moldeo por inyección, incluidos compuestos cargados o reforzados con fibra de vidrio.</p> <p>2.1.4 Hojas de materiales termoplásticos reforzados.</p> <p>2.1.5 Placas de materiales termoestables con superficie decorativa y para usos industriales con refuerzo orgánico.</p> <p>2.1.6 Materiales termoestables en los que el refuerzo es inorgánico y se presenta en la forma de fibras distribuidas al azar, fieltro, tejido de hilos gruesos, tejidos de hilos finos o mecha de multifilamentos..</p> <p>2.1.7 Esta norma no es aplicable a las hojas o películas de plásticos cuyo espesor sea inferior a 1 mm así como plásticos celulares.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p>3.1.1 <i>Esfuerzo de tracción (nominal)</i>. Es la fuerza de tracción soportada por la probeta en cualquier momento del ensayo dividida por la sección transversal original de la longitud de referencia.</p> <p>3.1.2 <i>Resistencia a la tracción (nominal)</i>. Es el esfuerzo máximo de tracción soportado por la probeta durante el ensayo.</p> <p>3.1.3 <i>Esfuerzo de tracción en la rotura</i>. Es el esfuerzo de tracción soportado por la probeta en el momento de su rotura.</p> <p>3.1.4 <i>Punto de fluencia</i>. Es el primer esfuerzo, que puede ser menor que el esfuerzo máximo soportado por la probeta, en el que tiene lugar un aumento del alargamiento sin que el esfuerzo aumente (ver figura 5, curva A).</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Plásticos, hojas, láminas, planchas, acrílicas, ensayo, tracción</p>		

3.1.5 Esfuerzo en el punto de fluencia convencional. Es el esfuerzo relativo a un punto de la curva esfuerzo alargamiento en el que, para un alargamiento dado, la curva se separa de su parte recta inicial (ver nota 1).

3.1.6 Esfuerzo en el punto límite de fluencia convencional. Es el esfuerzo relativo a un punto de la curva esfuerzo-alargamiento más allá de la parte lineal, obtenido por la intersección de la curva experimental con la ordenada correspondiente a un determinado tanto por ciento de deformación convencional.

3.1.7 Longitud de referencia (l_0). Es la longitud inicial entre las marcas de referencia sobre la probeta y sobre la que se determinan las modificaciones de longitud producidas durante el ensayo.

3.1.8 Alargamiento unitario (ϵ). Es la modificación de la longitud de referencia por unidad de dicha longitud. Se expresa en tanto por uno y no tiene dimensiones.

3.1.9 Tanto por ciento de alargamiento (alargamiento porcentual). Es el alargamiento producido en la longitud de referencia de la probeta provocado por un esfuerzo de tracción. Se expresa en tanto por ciento de dicha longitud.

3.1.10 Tanto por ciento de alargamiento en el punto de fluencia. Es el alargamiento producido en la longitud de referencia de la probeta en el punto de fluencia. Se expresa en tanto por ciento de dicha longitud.

3.1.11 Tanto por ciento de alargamiento en la rotura o a la carga máxima. Es el alargamiento en la rotura, o la carga máxima, producido en la longitud de referencia de la probeta. Se expresa en tanto por ciento de dicha longitud.

3.1.12 Límite de proporcionalidad. Es el esfuerzo máximo que un material puede soportar mientras mantiene la proporcionalidad esfuerzo-alargamiento (Ley de HOOKE).

3.1.13 Módulo de elasticidad en tracción. (Módulo de YOUNG). Relación entre el esfuerzo de tracción y el alargamiento correspondiente por debajo del límite de proporcionalidad.

3.1.13.1 En los materiales plásticos que no presentan un límite de proporcionalidad definido se toma como módulo elástico, la pendiente de la tangente en la parte inicial de la curva esfuerzo-alargamiento, para un alargamiento pequeño.

3.1.14 Módulo secante. Es la relación entre el esfuerzo y alargamiento en un punto convenido de la curva esfuerzo- alargamiento.

3.1.15 Plásticos rígidos. Son aquellos materiales cuyo módulo de elasticidad en flexión, o en su defecto en tracción es superior a 700 MPa en condiciones establecidas.

3.1.16 Plásticos semirrígidos. Son aquellos materiales cuyo módulo de elasticidad en flexión, o en su defecto en tracción, está entre 70 MPa y 700 MPa en condiciones establecidas

3.1.17 Probetas en forma de halterio. Probeta cuya forma se muestra en la figura 1 y figura 2.

3.1.18 Anisotropía. Propiedad que varía según la dirección del plano en que es medida.

NOTA 1. Cuando el esfuerzo en el punto de fluencia no está bien definido en la curva esfuerzo - alargamiento es necesario definir un esfuerzo de fluencia convencional. Esto se realiza especificando un punto de dicha curva que se aleja de la parte lineal para un determinado valor de alargamiento (ver figura 5, curva B).

(Continúa)

4. MÉTODO DE ENSAYO

4.1 Resumen

4.1.1 El ensayo consiste en deformar la probeta a lo largo de su eje mayor, a velocidad constante aplicando una fuerza determinada hasta que la probeta se rompa o hasta que la carga o el alargamiento alcance un valor previamente elegido.

4.2 Equipo

4.2.1 Máquina de ensayo. La máquina de ensayo debe ser automotriz y podrá mantener la velocidad de separación de las mordazas indicada en el numeral 4.4.1.1 Estará formada por los siguientes elementos:

4.2.1.1 Mordazas para sujetar las probetas, una estará unida a la parte fija o estacionaria de la máquina y la otra será móvil.

a) Las mordazas serán autoalineables en el sentido de que ellas están unidas a la máquina de forma que, inmediatamente que se aplica un esfuerzo, se desplazan libremente hacia la alineación. De esta manera, el eje longitudinal de la probeta coincidirá con la dirección del esfuerzo en la línea central de las dos mordazas (ver 4.4.4).

b) La probeta de ensayo deberá poder sujetarse firmemente a las mordazas de manera que, en la medida que sea posible, no se deslicen en su interior. Esto puede lograrse utilizando mordazas que mantienen o aumentan la presión sobre las probetas cuando se incrementa la fuerza aplicada a las mismas. El sistema de sujeción empleado no debe romper las probetas prematuramente.

4.2.1.2 Indicador de fuerza. Un mecanismo indicador de fuerza que permita medir la fuerza de tracción total soportada por la probeta cuando está sujeta por las mordazas. El mecanismo estará especialmente exento de inercia a las velocidades de ensayo establecidas e indicará la fuerza con una precisión del 1 % del valor real, como mínimo.

4.2.2 Extensómetro

4.2.2.1 Un extensómetro apropiado para determinar, en cualquier momento del ensayo, la distancia entre las marcas de referencia de la probeta. Es conveniente, pero no esencial, que este instrumento pueda registrar automáticamente la distancia (o cualquier variación de ella) en función del esfuerzo soportado por la probeta.

4.2.2.2 El extensómetro estará esencialmente libre de inercia a las velocidades de ensayo especificadas en esta norma y podrá medir el alargamiento con una precisión de 1 %, como mínimo.

4.2.2.3 Cuando se fija un extensómetro a una probeta, se procurará reducir al mínimo la distorsión o deterioro de la misma, además es esencial que no se produzca deslizamiento entre la probeta y el extensómetro.

4.2.2.4 Debido a su falta de precisión, no se debe medir el alargamiento a partir del movimiento de las mordazas.

4.2.3 Micrómetros

4.2.3.1 Tomillo micrométrico. Para medir el espesor y la anchura, de las probetas de materiales rígidos, se utilizará un tornillo micrométrico capaz de medir 0,01 mm, como mínimo.

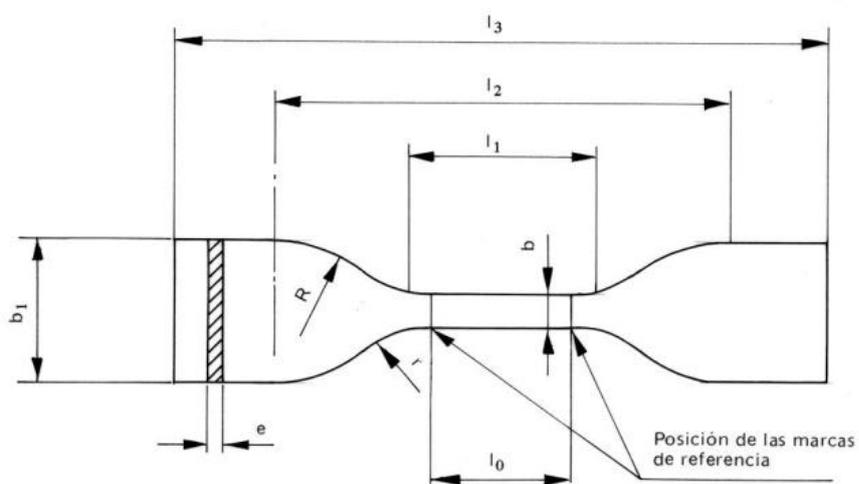
4.2.3.2 Micrómetro. Para medir el espesor de materiales flexibles se utilizará un micrómetro de dial, capaz de medir, 0,01 mm, como mínimo, provisto de un pie plano y circular que aplique una presión de 20 ± 3 kPa.

(Continúa)

4.3 Preparación de las muestras (probetas)

4.3.1 Los tipos de probetas que se especifican en esta norma así como sus medidas y tolerancias se indican en las figuras 1 a 4 siguientes:

FIGURA 1. Probeta Tipo A
(Dimensiones en mm)



l_3 = Longitud total mínima 115

b_1 = Anchura en los extremos 25 ± 1

l_1 = Longitud de la parte calibrada 33 ± 2

b = Anchura de la parte calibrada $6 \pm 0,4$

r = Radio menor 14 ± 1

R = Radio mayor 25 ± 2

l_0 = Longitud de referencia $25 \pm 0,25$

l_2 = Distancia inicial entre mordazas 80 ± 5

e = Espesor: mínimo véase apartado 2.1.7

máximo = 3

preferido = 2

(Continúa)

FIGURA 2. Probeta Tipo B1 y B2
(Dimensiones en mm)

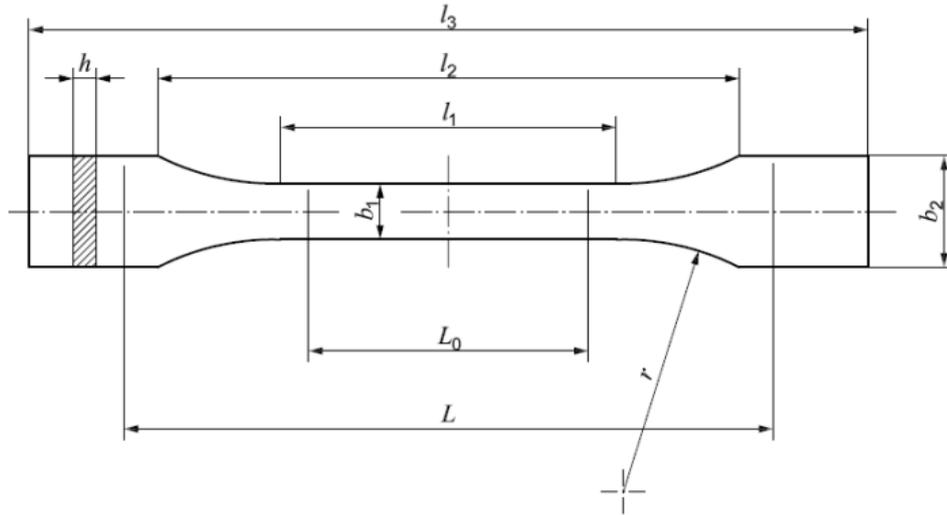


TABLA 1. Dimensiones de las probetas tipo B1 y B2
(Dimensiones en milímetros)

	Tipo de probeta	B1	B2
l_3	Longitud total	170	≥ 150
l_1	Longitud de la parte calibrada	80 ± 2	$60,0 \pm 0,5$
r	Radio	24 ± 1	$60 \pm 0,5$
l_2	Distancia entre porciones de ancho paralelo	$109,3 \pm 3,2$	$108 \pm 1,6$
b_2	Ancho de los extremos	$20,0 \pm 0,2$	
b_1	Ancho de la parte angosta	$10,0 \pm 0,2$	
h	Espesor preferido	$4,0 \pm 0,2$	
L_0	Distancia entre mordazas	$75,0 \pm 0,5$	$50,0 \pm 0,5$
	Distancia entre mordazas solo para control de calidad o cuando se especifique	$50,0 \pm 0,5$	
L	Distancia inicial entre mordazas	115 ± 1	115 ± 1

(Continúa)

FIGURA 3. Probeta Tipo D1
(Dimensiones en mm)

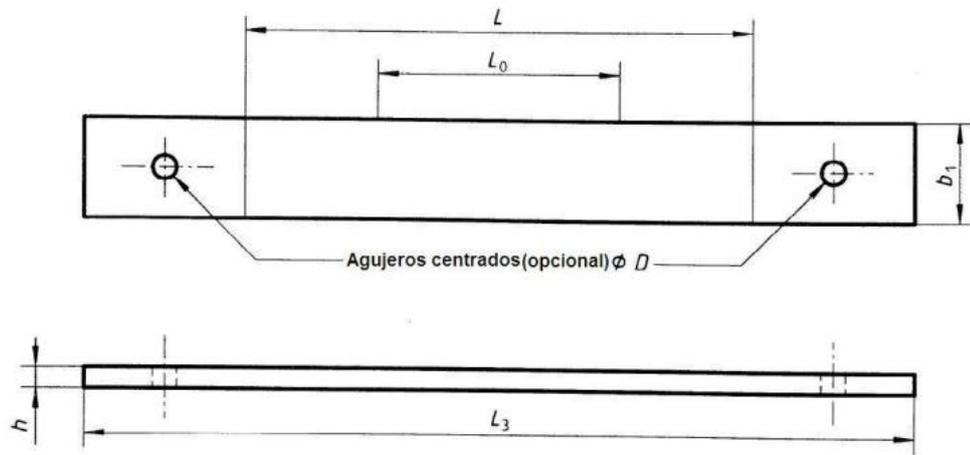
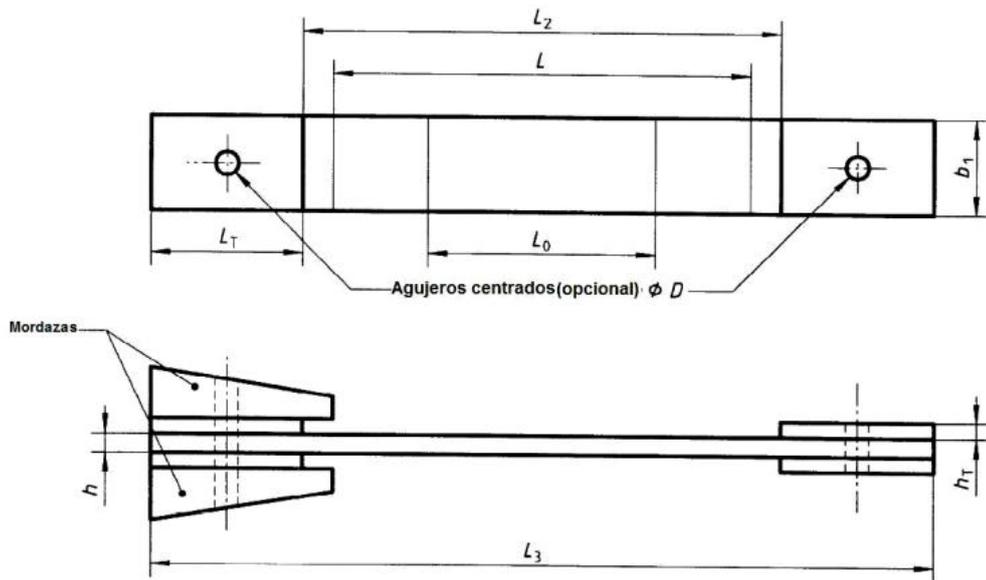


FIGURA 4. Probeta Tipo D2
(Dimensiones en mm)



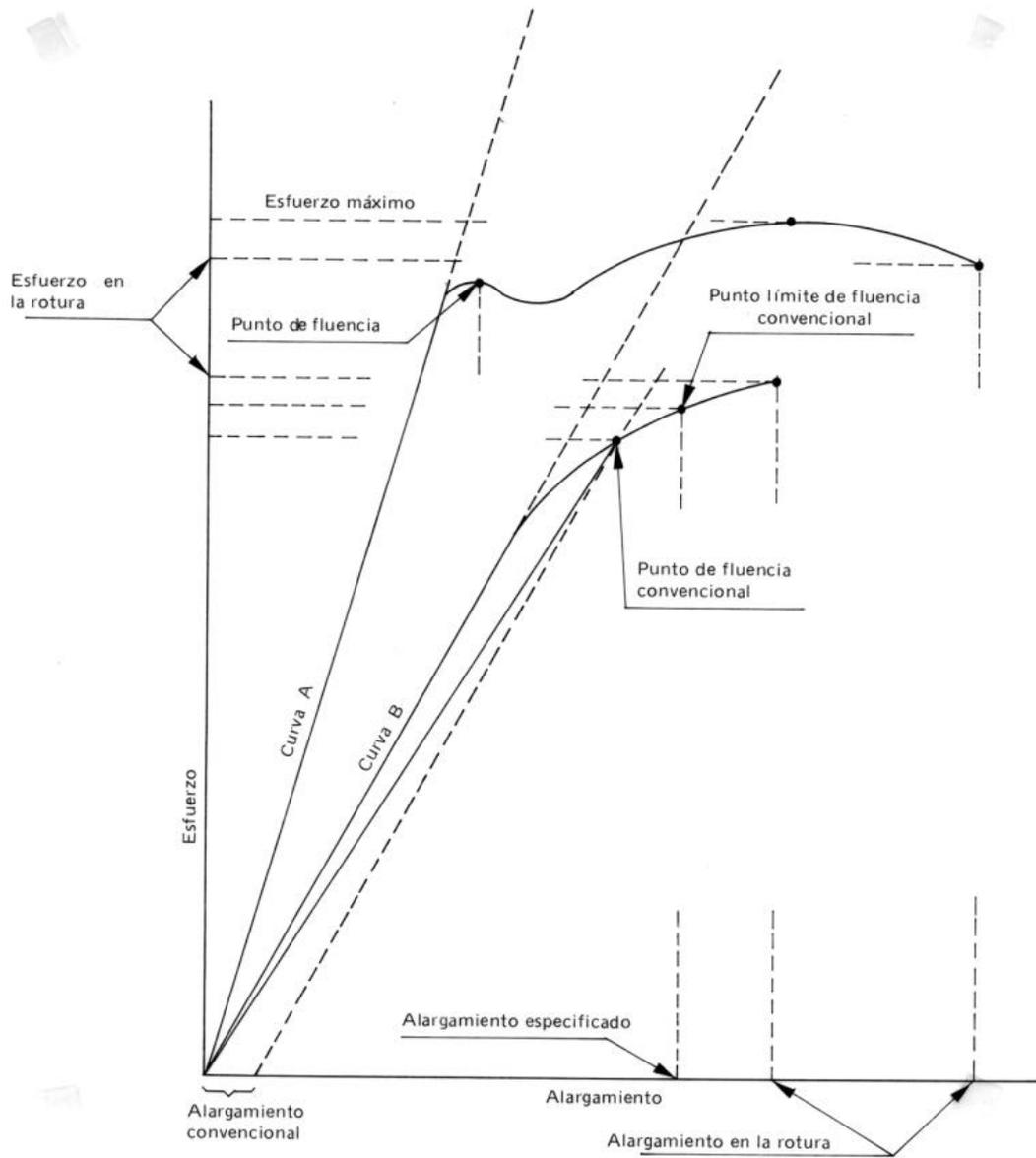
(Continúa)

TABLA 2. Dimensiones de las probetas tipo D1 y D2
(Dimensiones en milímetros)

	Tipo de probeta	D1	D2
L₃	Longitud total	≥ 250	≥ 250
L₂	Distancia entre talones	-	150±1
b₁	Ancho	25 ± 0,5 ó 50 ± 0,5	25 ± 0,5 ó 50 ± 0,5
h	Espesor	De 2 a 10	De 2 a 10
L₀	Distancia entre mordazas	50 ± 1	50 ± 1
L	Distancia inicial entre mordazas	150 ± 1	136 (nominal)
L_T	Longitud de los talones	-	≥ 50
h_T	Espesor de talones	-	De 1 a 3
D	Diámetro de agujeros centrales	3 ± 0,25	3 ± 0,25

(Continúa)

FIGURA 5. Curva esfuerzo – alargamiento



(Continúa)

4.3.2 Normalmente el tipo de probetas a utilizar, así como su espesor, se indicarán en la especificación particular de cada material. Si tales normas no existen, las dadas en la tabla 3 se utilizarán previo acuerdo entre las partes interesadas.

TABLA 3. Características de las probetas

Referencia Apartado 2	Material	Tipo de Probeta	Procedimiento de preparación	Espesor Recomendado	Velocidad de ensayo recomendada (ver 4.6.2)
2.1.1	Hojas flexibles de materiales termoplásticos, compuestos para moldeo por inyección, extrusión, y colado.	A (ver fig. 1)	Troquelado de una placa	2	
2.1.3	Materiales termoplásticos rígidos destinados al moldeo por inyección, incluidos los compuestos cargados o reforzados con fibras.	B1 y B2 (ver fig.2)	Moldeo por Inyección Moldeo por compresión Probeta mecanizada	4	
2.1.2 y 2.1.5	Hojas rígidas de materiales termoplásticos y termoestables, y compuestos para moldeos por inyección, extrusión y colado. Placas de materiales termoestables con superficie decorativa y para usos industriales, con refuerzo orgánico.	B1 y B2 (ver fig.2)	Mecanizado de una hoja o moldeo por compresión o inyección.	4	
2.1.6	Materiales termoestables: - con refuerzo inorgánico en forma de fibras distribuidas al azar, fieltro textil de tejido con hilos gruesos o mecha. - con refuerzo inorgánico en forma de material tejido con hilo fino.	D1 y D2 (ver fig.4) B2 (ver fig.2)	Mecanizado de una hoja Mecanizado de una hoja	-	5 mm/min para control de rutina 2mm/min para pruebas de cualificación 10 mm/min para control de rutina 2mm/min para pruebas de cualificación
2.1.4	Hojas de materiales termoplásticos reforzados.	D1 y D2 (ver fig.4)	Mecanizado de una hoja		5 mm/min para control de rutina 2mm/min para pruebas

* Se utiliza únicamente para la determinación del esfuerzo de tracción en la rotura.

(Continúa)

ANEXO D: NORMA NTE INEN 2047:2013 (DIMENSION DE RPOBETAS)



Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 2047:2013
Primera revisión

PLÁSTICOS. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RÍGIDOS

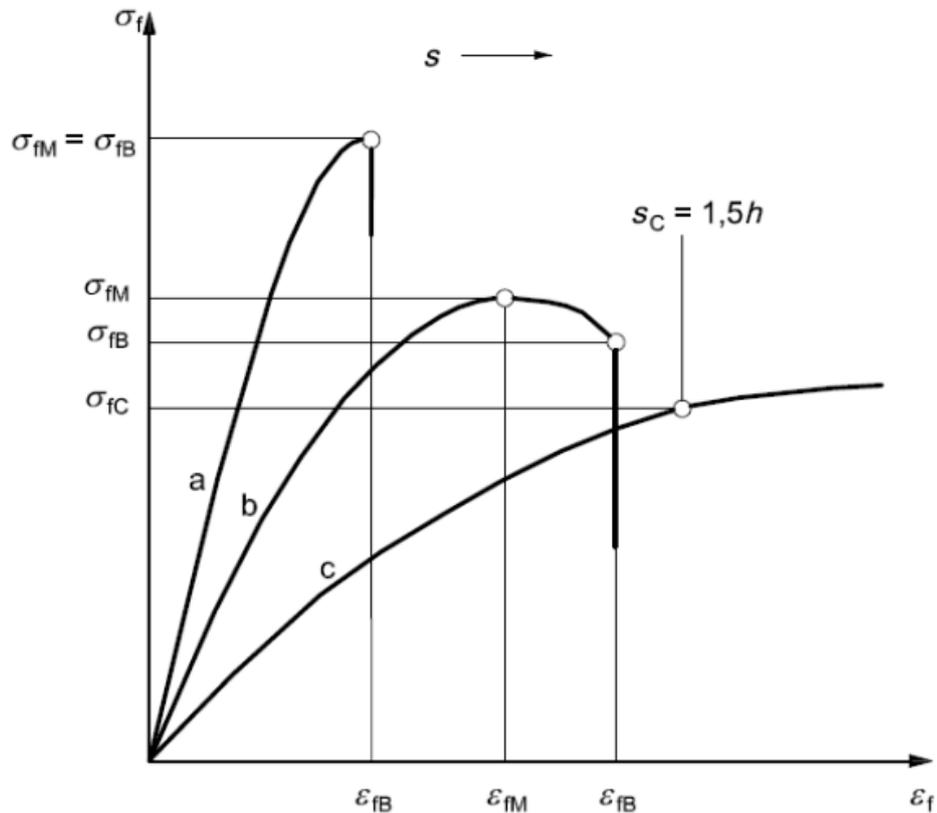
Primera Edición

PLASTICS. DETERMINATION OF FLEXURAL PROPERTIES OF RIGID PLASTIC MATERIALS.

First Edition

DESCRIPTORES: Plásticos, hojas, láminas, planchas, acrílicas, método, ensayo, flexión.
PL 03.01-305
CDU: 678.5.8:620.144.22
CIU: 3560
ICS: 83.140

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	PLÁSTICOS DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE LOS MATERIALES PLÁSTICOS RÍGIDOS	NTE INEN 2047:2013 Primera revisión 2013-08
<p>1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece un método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión de los materiales plásticos rígidos, en forma de barras rectangulares, de medidas normalizadas o no, moldeadas directamente o cortadas a partir de hojas, placas u otras formas.</p> <p>2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma se aplica únicamente a las muestras apoyadas en sus extremos, soportadas sin tensión y cargadas en la mitad de su longitud. La muestra es cargada con una velocidad constante hasta que ocurra la ruptura, o hasta que se alcance una deformación en flexión máxima del 5% (ver definiciones).</p> <p>3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Para los efectos de esta norma, se adoptan las siguientes definiciones:</p> <p>3.1.1 Flecha. Es la distancia que la superficie inferior o superior de la muestra en el punto de aplicación de la carga se desvía de su posición original durante la flexión. Se expresa en milímetros</p> <p>3.1.2 Esfuerzo de flexión. Esfuerzo nominal de la superficie externa de la muestra en el punto de aplicación de la carga. Se expresa en mega pascales.</p> <p>3.1.3 Esfuerzo de flexión correspondiente a una flecha convencional. Es el esfuerzo de flexión de una flecha igual a 1,5 veces el espesor de la muestra, (ver figura 1 curva c)</p> <p>3.1.4 Esfuerzo de flexión a la carga máxima. Es el esfuerzo de flexión en el momento en que la carga aplicada alcanza el valor máximo.</p> <p>3.1.5 Esfuerzo de flexión en la rotura. Es el esfuerzo de flexión en el instante de la rotura, (ver figura 1, curva a y b).</p> <p>3.1.6 Resistencia a la flexión. Esfuerzo máximo de flexión soportado por la muestra durante un ensayo de doblado.</p> <p>3.1.7 Deformación en flexión. Variación fraccional nominal en la longitud de un elemento de la superficie exterior de la muestra en el punto de aplicación de la carga.</p> <p>3.1.8 Deformación en flexión en la rotura. Deformación en flexión en la rotura de la muestra (ver figura 1, curva a y b)</p> <p>3.1.9 Materiales anisótropos. Materiales cuya propiedad varía según la dirección del plano en que es medida.</p> <p>4. MÉTODO DE ENSAYO</p> <p>4.1 Fundamento</p> <p>4.1.1 Con este método pueden determinarse las características siguientes:</p> <p style="text-align: right;"><i>(Continúa)</i></p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Plásticos, hojas, láminas, planchas, acrílicas, método, ensayo, flexión.</p>		

FIGURA 1. Curvas típicas de esfuerzo, σ_f , versus deformación, ϵ_f , y flecha, s .

Curva a: muestra que se rompe antes de la fluencia

Curva b: muestra que presenta un máximo y se rompe antes de la flecha convencional

Curva c: muestra que no presenta un máximo ni se rompe antes de la flecha convencional

4.1.1.1 El esfuerzo de flexión y la flecha de rotura de los materiales que se rompen antes de alcanzar o alcanzando la flecha convencional.

4.1.1.2 El esfuerzo de flexión para la flecha convencional de los materiales que no se rompen antes o en la flecha convencional.

4.1.1.3 El esfuerzo de flexión para la carga máxima, en el caso de materiales que alcanzan la carga máxima antes o en la flecha convencional.

4.1.1.4 El esfuerzo de flexión en la rotura o para la carga máxima, en el caso de que la flecha convencional no se haya sobrepasado o si aquello se exige en la especificación del material.

4.1.1.5 *El módulo aparente de elasticidad en flexión.* El módulo de elasticidad en flexión debe considerarse únicamente como un valor aproximado del módulo de elasticidad de Young.

4.2 Equipo

4.2.1 *Máquina normal de ensayo.* Convenientemente construida y calibrada para permitir el desplazamiento relativo del útil de carga con relación a los apoyos, a velocidad regulable y aproximadamente constante y que indique las cargas con una precisión de $\pm 1\%$ y las flechas con una precisión de $\pm 1\%$. La rigidez del aparato será tal que la deformación elástica de todo el sistema no exceda el 1% de la flecha máxima de la muestra.

(Continúa)

4.2.2 La máquina debe ser capaz de mantener la velocidad de ensayo como se especifica en la tabla 1.

TABLA 1. Valores recomendados de velocidad de ensayo.

Velocidad de ensayo v (mm/min)	Tolerancia %
1*	± 20
2	± 20
5	± 20
10	± 20
20	± 10
50	± 10
100	± 10
200	± 10
500	± 10
* La velocidad más baja se usa en muestras de espesor comprendido entre 1 m y 3,5m	

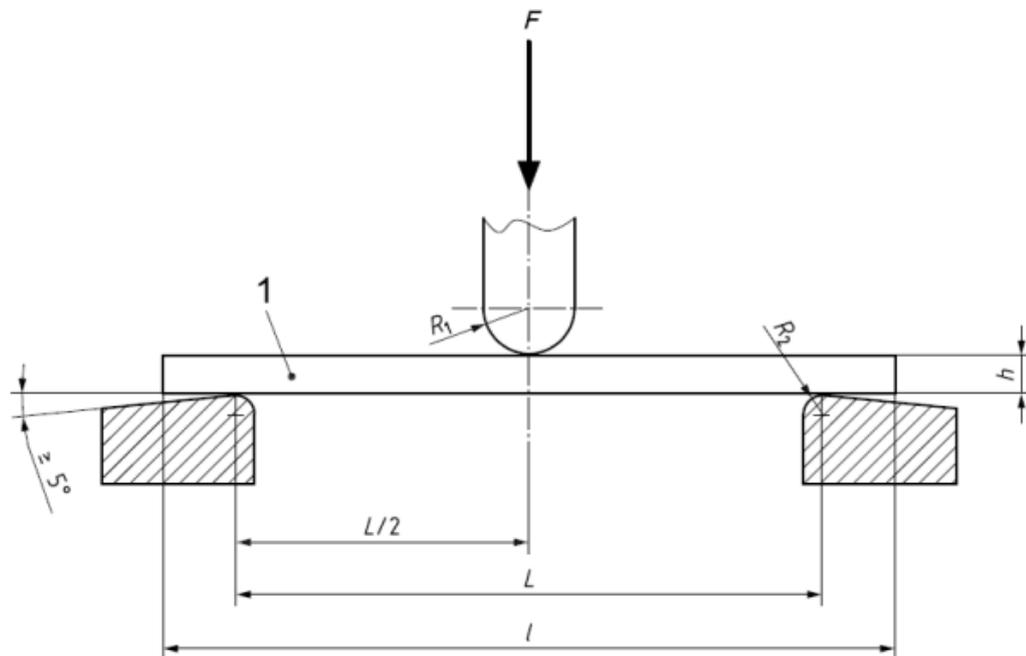
4.2.3 Los dos soportes y un elemento de carga se colocan como se muestra en la figura 2. Los soportes y el elemento de carga deben ser paralelos con una tolerancia de $\pm 0,2$ mm sobre la anchura de la muestra.

4.2.3.1 El radio R_1 del elemento de carga y los radios R_2 de los soportes deben ser los siguientes:

- a) R_1 : $(5,0 \pm 0,2)$ mm
- b) R_2 : $(2,0 \pm 0,2)$ mm para un espesor de muestra ≤ 3 mm
- c) R_2 : $(5,0 \pm 0,2)$ mm para un espesor de muestra > 3 mm

4.2.3.2 La separación de apoyos L debe ser ajustable

(Continúa)

FIGURA 2. Posición de la muestra durante el ensayo

Leyenda:

1: muestra	h: espesor de la muestra
F: fuerza aplicada	l: longitud de la muestra
R_1 : radio del elemento de carga	L: longitud de la distancia entre soportes
R_2 : radios de los soportes	

4.3 Preparación de las muestras

4.3.1 Se preparan barras de sección rectangular, según la norma de especificaciones del producto a ensayar

4.3.2 Las muestras que se especifican en esta norma son las siguientes:

4.3.2.1 Muestras normales. Las medidas normales serán:

Longitud mínima:	$l = (80 \pm 2) \text{ mm}$
Anchura:	$b = (10,0 \pm 0,2) \text{ mm}$
Espesor:	$e = (4,0 \pm 0,2) \text{ mm}$

a) Tanto el espesor como la anchura de las muestras, no deben desviarse del 2 % y 3 % de su valor medio, respectivamente. La sección transversal de las muestras debe ser rectangular, sin bordes redondeados.

4.3.2.2 Cuando no sea posible o no se desee usar las muestras normales, usar muestras con dimensiones dadas en la tabla 2.

(Continúa)

TABLA 2. Anchura de la muestra en relación al espesor.

Espesor e mm	Anchura b mm ($\pm 0,5$)
$1 < e \leq 3$	25,0
$3 < e \leq 5$	10,0
$5 < e \leq 10$	15,0
$10 < e \leq 20$	20,0
$20 < e \leq 35$	35,0
$35 < e \leq 50$	50,0

4.3.2.3 Se mide el espesor de la muestra, en los puntos que se encuentran a ± 2 mm del centro de la muestra, empleando un micrómetro con una precisión de $\pm 0,01$ mm. El pie de presión debe tener una cara de contacto plana, circular, con un diámetro ≥ 4 mm, y el yunque debe tener una cara de contacto esférica de radio 50 mm para evitar errores por desalineamiento con la muestra.

- a) El ancho de la muestra, debe medirse con un micrómetro con una precisión de $\pm 0,02$ mm. El pie de presión debe tener una cara de contacto plana, sea circular con un diámetro de 1 mm, o rectangular con el lado que estará paralelo a la dirección de la muestra de 1 mm de largo.

4.3.2.4 Materiales anisótropos.

- a) En el caso de materiales anisótropos, las muestras deben elegirse de tal forma que el esfuerzo de flexión que sufran las mismas durante el ensayo se aplique en el mismo sentido y dirección que los que puedan sufrir en la práctica, los correspondientes productos.
- b) La relación entre la muestra elegida y su aplicación determina la posibilidad o imposibilidad de elegir muestras normales, y en este último caso se tendrá en cuenta lo indicado en el numeral 4.3.2.2
- c) Cuando el material muestra una diferencia significativa ($>20\%$) en las propiedades de flexión en las dos direcciones principales, el ensayo debe realizarse en estas dos direcciones. Debe registrarse la orientación de las muestras respecto a las direcciones principales (ver figura 3).

4.3.3 Examen de las muestras. Las muestras deben estar libres de torsiones y sus caras opuestas deben ser paralelas y sus caras adyacentes deben ser perpendiculares. Todas las superficies y los bordes deben estar exentos de arañazos, huecos, rechupes y rebabas.

4.3.4 Número de muestras

4.3.4.1 Para la realización del ensayo deben emplearse como mínimo cinco muestras.

4.3.4.2 Los resultados obtenidos en las muestras que se rompen fuera del tercio central de la longitud entre apoyos deben rechazarse y deben ser reemplazadas por otras muestras.

4.3.4.3 Cuando el material presenta diferencias importantes de características de flexión en dos direcciones principales deben ensayarse separadamente estas dos direcciones.

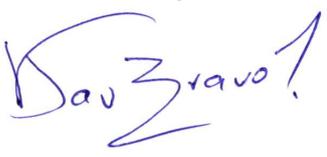
4.3.4.4 Si en su utilización el material va a estar sometido a un esfuerzo con una orientación diferente a alguna de las direcciones principales, se recomienda que se efectúe el ensayo según la citada orientación.

(Continúa)



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 08/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Kevin Steven Yáñez Villarreal
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
 Ing. Edison Patricio Abarca Pérez Director del Trabajo de Titulación  Ing. David Victor Bravo Morocho Asesor del Trabajo de Titulación