



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Análisis de las propiedades de absorción de energía de un material compuesto de abacá - poliéster, mediante pruebas de impacto simulados y su incidencia en la seguridad del conductor de un autobús

GRACIELA INÉS GUIJARRO PAGUAY

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN DISEÑO MECÁNICO

Riobamba – Ecuador

Diciembre 2022

© 2022, Graciela Inés Guijarro Paguay

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.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, denominado Análisis de las propiedades de absorción de energía de un material compuesto de abacá - poliéster, mediante pruebas de impacto simulados y su incidencia en la seguridad del conductor de un autobús, de responsabilidad de la señorita Graciela Inés Guijarro Paguay, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Luis Eduardo Hidalgo Almeida; Ph. D.

PRESIDENTE



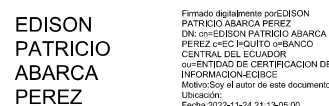
Ing. Santiago Alejandro López Ortiz, Mag.

DIRECTOR



Ing. Edison Patricio Abarca Pérez, Mag.

MIEMBRO



Ing. Edison Marcelo Castillo Cárdenas, Mag.

MIEMBRO



Riobamba, diciembre de 2022.

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Graciela Inés Guijarro Paguay, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

GRACIELA INÉS GUIJARRO PAGUAY

C.C. 0603615352

Yo, GRACIELA INÉS GUIJARRO PAGUAY, declaro que el presente **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

GRACIELA INÉS GUIJARRO PAGUAY

C.C. 0603615352

DEDICATORIA

A mi familia, que es el pilar fundamental de mi vida, quienes con su cariño y apoyo me animaron siempre a alcanzar tan anhelada meta. A mi esposo Javier Zavala quien con amor y paciencia me alentó a seguir adelante en este proyecto, y junto con él a mis hijos Jefferson y Farah. A mi padre Jorge Guijarro y a mis hermanas Sandra, Magda, Piedad y Martha.

Graciela Guijarro

AGRADECIMIENTO

Agradezco al Grupo de Diseño y Producción (GDP) de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por su patrocinio en el presente trabajo de investigación. En especial al Mag. Santiago Alejandro López Ortiz, quien con su paciencia y profesionalismo supo guiarme durante el desarrollo de la tesis.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a los excelentes profesionales que laboran en ella como docentes y administrativos, por haber contribuido a mi formación académica y personal, y así poder decir orgullosamente que he pertenecido a tan prestigiosa institución.

Graciela Guijarro

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.1.1. <i>Situación problemática</i>	1
1.1.2. <i>Formulación del problema</i>	2
1.2. Justificación de la investigación.....	2
1.3. Objetivos de la investigación.....	3
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Antecedentes de la investigación.....	4
2.2. Bases teóricas.....	6
2.2.1. <i>Carrocería de buses</i>	6
2.2.1.1. <i>Seguridad pasiva en carrocerías de buses</i>	6
2.2.2. <i>Normas para Vehículos</i>	7
2.2.2.1. <i>Norma Técnica Ecuatoriana</i>	7
2.2.2.2. <i>Reglamento ECE R29</i>	8
2.2.3. <i>Materiales compuestos</i>	9
2.2.3.1. <i>Componentes de un material compuesto</i>	9
2.2.4. <i>Propiedades mecánicas de un material compuesto</i>	14
2.2.4.1. <i>Propiedades mecánicas en la interfaz</i>	15
2.2.4.2. <i>Influencia de la orientación y cantidad de la fibra</i>	15
2.2.5. <i>Materiales compuestos matriz polimérica – refuerzo fibra vegetal</i>	18
2.2.6. <i>Propiedades mecánicas de las fibras vegetales</i>	19
2.2.7. <i>Resina poliéster</i>	21
2.2.7.1. <i>Propiedades de la resina poliéster</i>	21
2.2.7.2. <i>Curado</i>	22

2.2.8.	<i>Fibra de abacá</i>	23
2.2.9.	<i>Higroscopía en materiales compuestos reforzados con fibras naturales</i>	24
2.2.10.	<i>Regla de las mezclas en los compuestos reforzados con fibra</i>	25
2.2.10.1.	<i>Densidad del material compuesto</i>	25
2.2.10.2.	<i>Módulo de elasticidad</i>	25
2.2.11.	<i>Ensayos destructivos para la caracterización de un material compuesto</i>	26
2.2.11.1.	<i>Ensayo de tracción</i>	26
2.2.11.2.	<i>Ensayo de flexión</i>	27
2.2.11.3.	<i>Ensayo de impacto</i>	27
2.2.12.	<i>Modelación del comportamiento del material</i>	28
2.2.13.	<i>Método de elementos finitos (MEF)</i>	28
2.3.	Hipótesis	30
2.3.1.	<i>Hipótesis general</i>	30
2.3.2.	<i>Hipótesis específicas</i>	30
2.4.	Variables de la investigación	30

CAPÍTULO III

3.	METODOLOGÍA	31
3.1.	Tipo de investigación	31
3.2.	Población y muestra	31
3.2.1.	<i>Población</i>	31
3.2.2.	<i>Tamaño de la muestra</i>	32
3.3.	Operacionalización de variables	33
3.4.	Matriz de consistencia	34
3.5.	Plan para recolectar información	36
3.6.	Plan para procesamiento y análisis de datos	36
3.6.1.	<i>Adquisición de la materia prima</i>	36
3.6.2.	<i>Preparación de la fibra</i>	36
3.6.3.	<i>Selección de la variación de la mezcla</i>	38
3.6.4.	<i>Densidad del material compuesto</i>	39
3.6.4.1.	<i>Densidad de la matriz</i>	39
3.6.4.2.	<i>Densidad del refuerzo</i>	40
3.6.4.3.	<i>Densidad del material compuesto</i>	41
3.6.5.	<i>Elaboración del molde</i>	41

3.6.6.	<i>Determinación del volumen del molde</i>	42
3.6.7.	<i>Cálculo de la fracción másica</i>	43
3.6.8.	<i>Elaboración de las probetas</i>	43
3.6.9.	<i>Curado</i>	48
3.7.	Caracterización del elemento	48
3.7.1.	<i>Ensayo de tracción</i>	48
3.7.2.	<i>Ensayo de flexión</i>	50
3.8.	Resultados de las pruebas de Tracción y Flexión	56
3.8.1.	<i>Recolección de datos</i>	56
3.8.1.1.	<i>Resultados de las pruebas de tracción</i>	56
3.8.1.2.	<i>Resultados de las pruebas de flexión</i>	61

CAPÍTULO IV: ANALISIS Y RESULTADOS

4.	SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA PRUEBA DE IMPACTO EN UN AUTOBUS SEGÚN NORMA UNECE R-29	65
4.1.	Pasos para la obtención del modelo computacional.	65
4.1.1.	<i>Modelo CAD del autobús</i>	65
4.1.2.	<i>Modelo computacional para simulación de impacto</i>	67
4.1.3.	<i>Preparación de la geometría</i>	68
4.1.4.	<i>Mallado</i>	69
4.1.5.	<i>Asignación del material</i>	71
4.1.6.	<i>Asignación de condiciones de contorno y condiciones iniciales</i>	73
4.1.7.	<i>Velocidad inicial del péndulo</i>	74
4.1.8.	<i>Configuración de la simulación</i>	75
4.1.9.	<i>Resultados de la simulación de impacto</i>	75
4.2.	Análisis de la influencia del material compuesto en la seguridad del conductor. 77	
4.2.1.	<i>Características del modelo de material compuesto con fibra de abacá</i>	77
4.2.2.	<i>Verificación de los resultados</i>	79
4.2.3.	<i>Análisis e interpretación de resultados de los desplazamientos y deformaciones</i>	80
	CONCLUSIONES	82
	RECOMENDACIONES	83
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Principales causas de mortalidad general, año 2016 nacimientos y defunciones, lista corta de agrupamiento de causas de muerte.....	1
Tabla 1-2: Ventajas y desventajas del uso de fibras naturales como refuerzo en un material compuesto	19
Tabla 2-2: Comparación de cualidades entre fibras naturales y fibra de vidrio.....	20
Tabla 3-2: Propiedades de fibras vegetales vs. fibra de vidrio.....	20
Tabla 4-2: Clasificación taxonómica del abacá.	23
Tabla 1-3: Orientación de la fibra y cantidad de refuerzo en probetas	31
Tabla 2-3: Muestra de probetas para ensayos	32
Tabla 3-3: Variables de la investigación.....	33
Tabla 4-3: Matriz de consistencia para el análisis de las propiedades de absorción de energía de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras vegetales.....	34
Tabla 5-3: Características de la fibra de Abacá	36
Tabla 6-3: Resultados de prueba de mezclas para resina	39
Tabla 7-3: Determinación de la densidad de la matriz.....	40
Tabla 8-3: Determinación de la densidad del refuerzo	41
Tabla 9-3: Ficha técnica de ensayo de tracción del material compuesto poliéster-abacá con fibra discontinua al azar.....	57
Tabla 10-3: Ficha técnica de ensayo de tracción del material compuesto poliéster-abacá con fibra continua longitudinal.....	59
Tabla 11-3: Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto poliéster-abacá con fibra discontinua al azar.....	61
Tabla 12-3: Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto poliéster-abacá con fibra continua longitudinal.....	63
Tabla 1-4: Dimensiones del modelo de autobús	66
Tabla 2-4: Características del elemento finito solido.....	68
Tabla 3-4: Características del material asignado al modelo discreto	72
Tabla 4-4: Resultados de desplazamientos en la zona de supervivencia del conductor.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Partes de un automóvil Mercedes Benz elaboradas con fibras vegetales	5
Figura 2-2: Audi modelo A2.....	5
Figura 3-2: Carrocería tipo bus interprovincial	6
Figura 4-2: Cabina del conductor (disposición para vehículos con motor posterior).....	7
Figura 5-2: Ensayo de colisión frontal (ensayo A).....	8
Figura 6-2: Materiales compuestos naturales: (a) la madera y (b) los huesos.	9
Figura 7-2: Configuración base de un material compuesto	10
Figura 8-2: Componentes de un material compuesto	10
Figura 9-2: Imagen ampliada de la zona de fractura de un compuesto epoxi reforzado con fibras de vidrio	12
Figura 10-2: Formas de refuerzos para un material compuesto.....	14
Figura 11-2: Formas de orientación de la fibra.....	16
Figura 12-2: Influencia del ángulo de orientación de la fibra en la constante elástica de un material compuesto reforzado con fibra de vidrio continua.....	16
Figura 13-2: Gráficas esfuerzo vs. deformación entre la fibra y la matriz.	17
Figura 14-2: Comportamiento de la matriz al someter a tensión una fibra en un material compuesto	17
Figura 15-2: Efecto de la longitud de la fibra en su resistencia.....	18
Figura 16-2: Curvas esfuerzo - deformación de algunas fibras naturales (valores de resistencia relativos).....	21
Figura 17-2: Planta de abacá.....	23
Figura 18-2: Montaje para ensayo de flexión en tres puntos (ASTM)	27
Figura 19-2: Máquina para ensayo Charpy Tinius Olsen IT 504	27
Figura 20-2: Variaciones del ensayo IZOD (ASTM D256-10).....	28
Figura 21-2: Tipos de elementos (MEF).....	29
Figura 1-3: Proceso de extracción de la fibra de abacá	37
Figura 2-3: Descabezado y despuntado de la fibra	37
Figura 3-3: Secado de la fibra.....	38
Figura 4-3: Enfundado de la fibra tratada.....	38
Figura 5-3: Piezas de resina	40
Figura 6-3: Porción de fibra de abacá.....	40
Figura 7-3: Molde de madera sin tapa	42
Figura 8-3: Sección transversal de la probeta.....	42

Figura 9-3: Molde limpio y encerado	44
Figura 10-3: Elementos para probeta de fibra larga, ensayo de tracción.....	44
Figura 11-3: Colocación de acrílicos en los extremos	45
Figura 12-3: Distribución de la fibra larga en el molde.....	45
Figura 13-3: Medición en masa de los componentes de la resina.....	46
Figura 14-3: Moldes tapados	46
Figura 15-3: Desmoldado de la probeta.....	47
Figura 16-3: Probetas para ensayos destructivos	47
Figura 17-3: Sección transversal de la probeta.....	51
Figura 18-3: Esquema de fuerzas en el ensayo de flexión 3 puntos.	52
Figura 19-3: Corte para cálculo del momento flector.....	53
Figura 20-3: Condiciones de frontera, ensayo flexión 3 puntos	54
Figura 21-3: Radio de curvatura, ensayo flexión 3 puntos	55
Figura 1-4: Proceso para la obtención del modelo computacional	65
Figura 2-4: Modelo CAD de la estructura del autobús.....	66
Figura 3-4: Esquema de montaje para simulación de impacto (UNECE R29).....	67
Figura 4-4: Mallado para simulación de impacto	70
Figura 5-4: Control de calidad de mallado por Aspect Ratio	71
Figura 6-4: Diagrama Esfuerzo - Deformación del Acero ASTM A500.....	72
Figura 7-4: Montaje de maniquí para simulación	73
Figura 8-4: Desplazamientos de los elementos de la carrocería durante la simulación.....	75
Figura 9-4: Esfuerzos generados en la carrocería durante la simulación.....	76
Figura 10-4: Elementos estructurales con mayor deformación en la sección frontal del autobús ...	76
Figura 11-4: Curva Tensión – Deformación del material compuesto con fibra discontinua al azar	77
Figura 12-4: Curva Tensión – Deformación del material compuesto con fibra continua longitudinal	78
Figura 13-4: Curva Momento flector – Curvatura del material compuesto con fibra discontinua al azar	78
Figura 14-4: Curva Momento flector – Curvatura del material compuesto con fibra continua longitudinal	79
Figura 15-4: Gráfica de energías durante la simulación de impacto frontal.....	80
Figura 16-4: Elementos de la zona frontal del autobús durante simulación de impacto.....	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Ficha técnica de la resina poliéster

Anexo B: Imágenes en la hacienda Abacá - Ecuador

Anexo C: Ficha técnica madera Tipo Chuncho

Anexo D: Dimensiones de tubos estructurales cuadrados

Anexo E: Planos del molde de madera

RESUMEN

Este trabajo se enfoca en el análisis de las propiedades de absorción de energía de un material compuesto abacá – poliéster, como una alternativa que pueda sustituir o reforzar ciertos elementos de la estructura frontal del autobús para disminuir el riesgo de daños físicos en el conductor durante un choque frontal. Se estudia un material compuesto de matriz poliéster y refuerzo de fibras de abacá, ya que presenta buenas propiedades de absorción de energía, se toma un 30% de fracciones volumétrica de fibra y un 70% de matriz con dos configuraciones de refuerzo: fibra continua longitudinal y discontinua a azar de 10mm. Las probetas tienen la forma del elemento que se reemplazará en la estructura para la simulación de impacto, el cual es un tubo estructural cuadrado de 50x50x3mm, para dar esta forma a las probetas se elaboraron moldes de madera tipo Chunchu. El tipo de estratificación usada es moldeo con compresión. Para los ensayos se utilizó las máquinas y laboratorios de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para la caracterización del material, mediante pruebas de tracción y flexión. Con lo cual se determinó las características y se elaboraron las curvas de comportamiento del material, para posteriormente realizar la simulación de impacto frontal. La simulación se realiza primero con el material y estructura que se fabrica comúnmente, y en una segunda ocasión reemplazando el material de acero estructural por el material compuesto poliéster-abacá en sus dos configuraciones de fibra. Se evidencia una mejora con el uso del material compuesto con fibra continua longitudinal, ya que se obtiene un menor porcentaje de invasión de los elementos del sistema de dirección en la zona de supervivencia del conductor.

Palabras clave: ABACÁ (*Musa textiles*), POLIÉSTER, MATERIAL COMPUESTO, SEGURIDAD DEL CONDUCTOR, SIMULACIÓN DE IMPACTO FRONTAL.



Tomado electrónicamente por:
**LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**



16-09-2022

0126-DBRA-UPT-IPEC-2022

ABSTRACT

This work focuses on the analysis of the energy absorption properties of an abaca - polyester composite material, as an alternative to replace or reinforce certain elements of the frontal structure of the bus to reduce the risk of physical damage to the driver during a frontal collision. A composite material of polyester matrix and abaca fiber reinforcement is studied, since it presents good energy absorption properties, 30% of fiber volume fractions and 70% of matrix with two reinforcement configurations: continuous longitudinal and discontinuous fiber at 10mm random. The graduated cylinders are shaped as the element to be replaced in the structure for the impact simulation, which is a square structural tube of 50x50x3mm, to give this shape to the cylinders, wooden molds Chunchu type were elaborated. The type of stratification used is compression molding. For the tests, the machines and laboratories of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo were used to characterize the material by means of tensile and flexural tests. With which the characteristics were determined and the material behavior curves were elaborated, to later carry out the frontal impact simulation. The simulation is carried out first with the material and structure that is commonly manufactured, and on a second occasion replacing the structural steel material by the polyester-abaca composite material in its two fiber configurations. An improvement is evidenced with the use of the composite material with longitudinal continuous fiber, since a lower percentage of invasion of the elements of the steering system in the survival zone of the driver is obtained.

Key words: ABACÁ (Musa textiles), POLYESTER, COMPOSITE MATERIAL, DRIVER SAFETY, FRONTAL IMPACT SIMULATION.



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Situación problemática.

En el Ecuador la muerte por Accidentes de transporte terrestre ocupa el sexto puesto en las causas de mortalidad, con un 4.29%.

Tabla 1-1: Principales causas de mortalidad general, año 2016 nacimientos y defunciones, lista corta de agrupamiento de causas de muerte.

Cód. CIE-10 detallada	Causas de muerte	Total de defunciones ¹¹ Población estimada 2016		
		Número	%	Tasa
		67.506		
		16.528.730		
I20-I25	Enfermedades isquémicas del corazón	6.513	9,65%	39,40
E10-E14	Diabetes Mellitus	4.906	7,27%	29,68
I60-I69	Enfermedades cerebrovasculares	4.290	6,35%	25,95
I10-I15	Enfermedades hipertensivas	3.487	5,17%	21,10
J09-J18	Influenza y neumonía	3.435	5,09%	20,78
V00-V89	Accidentes de transporte terrestre	2.894	4,29%	17,51
K70-K76	Cirrosis y otras enfermedades del hígado	2.323	3,44%	14,05
N00-N39	Enfermedades del sistema urinario	1.841	2,73%	11,14
J40-J47	Enfermedades crónicas de las vías respiratorias inferiores	1.815	2,69%	10,98
C16	Neoplasia maligna del estómago	1.639	2,43%	9,92
P00-P96	Ciertas afecciones originadas en el período prenatal	1.562	2,31%	9,45
X60-X84	Lesiones autoinflingidas intencionalmente (Suicidio)	1.219	1,81%	7,38
C81-C96	Neoplasia maligna del tejido linfático, hematopoyético y afines	1.217	1,80%	7,36
Q00-Q99	Malformaciones congénitas, deformidades y anomalías cromosómicas	998	1,48%	6,04
C61	Neoplasia maligna de la próstata	967	1,43%	5,85
I50-I51	Insuficiencia cardíaca, complicaciones y enfermedades mal definidas	963	1,43%	5,83
X85-Y09	Agresiones (Homicidios)	919	1,36%	5,56
J80-J84	Edema pulmonar y otras enfermedades respiratorias que afectan al intersticio	818	1,21%	4,95
C18-C21	Neoplasia maligna del colon, sigmoide, recto y ano	811	1,20%	4,91
B20-B24	Enfermedad por virus de la inmunodeficiencia (VIH)	777	1,15%	4,70
C53-C55	Neoplasia maligna del útero	747	1,11%	4,52
C33, C34	Neoplasia maligna de la tráquea, bronquios y pulmón	728	1,08%	4,40
C22	Neoplasia maligna del hígado y de las vías biliares	695	1,03%	4,20
D50-D53, E40-E64	Desnutrición y anemias nutricionales	684	1,01%	4,14
C50	Neoplasia maligna de la mama	641	0,95%	3,88
	Resto de causas	15.723	23,29%	95,13
R00-R99	Causas mal definidas	4.894	7,25%	29,61

Fuente: Compendio estadístico INEC, 2016

Entre el 1 de enero y el 31 de julio de 2019 en Ecuador se registraron 1195 muertes en las vías, lo que equivale a 5.6 fallecidos por día en promedio. En esos siete meses hubo 14 111 accidentes de tránsito en el país, un promedio de 66.5 siniestros diarios, que además dejaron 11 231 heridos, según datos de la Agencia Nacional de Tránsito (ANT). Las provincias con mayor número de siniestros son Guayas, Pichincha y Manabí. Siendo Quito la ciudad con mayor número de muertes por accidentes de Tránsito, solo en 2018 murieron 255 personas. (El Comercio, 2019)

En gran parte de estos siniestros están involucrados los buses de transporte público, por lo que es imperativo realizar investigaciones que permitan disminuir el número de muertos y heridos.

La producción de buses en el País ha ido decreciendo desde el año 2016. Carrocerías Ibimco, en Ambato, armaba 50 buses al año para las cooperativas de transporte interprovincial y urbano, en el año 2018 se redujo a 20, únicamente de transporte urbano. Esto ha provocado el despido de 25 de los 40 trabajadores de la empresa.

Esto se debe a que la mayoría prefieren importar buses armados de China, Brasil, Perú o Colombia, por su menor costo. Pese a que las carrocerías armadas en el país cumplen con todas las normas de seguridad que exige la ANT.

La seguridad es los pasajeros es uno de los factores más importantes a la hora de diseñar un autobús, por ello se han diseñado e implementado elementos y sistemas como: cinturones de seguridad, ABS, sistema de estabilidad, etc. Sin embargo, estos elementos incrementan el peso del vehículo.

El CO₂ que producen los combustibles fósiles que utilizan los autobuses, aumentan los problemas medio ambientales, por ello se busca disminuir el peso del autobús. Mientras menor es la masa menor será el consumo de combustible.

1.1.2. Formulación del problema.

La configuración de la fibra de abacá en un material compuesto de matriz poliéster, usado en la estructura de impacto frontal de un autobús, influye en la seguridad del conductor.

1.2. Justificación de la investigación.

Justificación teórica: La presente investigación tiene un alto impacto, pues se busca mejorar las propiedades de los materiales estructurales en los autobuses para así disminuir los riesgos de lesiones o muerte en los ocupantes, en caso de un choque frontal.

Justificación técnica: Realizando el presente proyecto se espera conocer las propiedades de absorción de energía de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de abacá, además de sugerir mejoras en el diseño estructural de los autobuses. Para así disponer de información factible para la producción de autobuses más seguros. Beneficiando a la industria nacional de fabricación de autobuses y a las productoras de materiales de construcción para los mismos.

Justificación investigativa: Se espera que este trabajo de investigación, sea una base o fuente de información para empresas productoras de materiales estructurales y fabricantes de autobuses, así como para institutos tecnológicos e institutos de formación de postgrados, que tienen carreras afines al estudio.

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. *Objetivo general*

Analizar las propiedades de absorción de energía de un material compuesto de abacá - poliéster, mediante pruebas de impacto simulados y su incidencia en la seguridad del conductor de un autobús.

1.3.2. *Objetivos específicos*

- Revisar el estudio del arte para determinar las características adecuadas de absorción de energía en la estructura del autobús mediante un material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibras de abacá.
- Identificar la distribución de las fibras de abacá en un material compuesto de matriz poliéster, mediante pruebas de laboratorio con el fin de determinar la combinación óptima.
- Determinar el proceso de obtención del material compuesto utilizando técnicas de moldeo para aplicación en la industria automotriz.
- Utilizar un modelo base de Carrocería de autobús para realizar un ensayo de impacto frontal, siguiendo las recomendaciones de la norma UNECE R29 mediante simulación numérica.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

La provincia de Imbabura cuenta con diversas fibras naturales. Esto llevó a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, con su sede en esta provincia, a crear el “Centro Nacional de Información, Investigación y Desarrollo de Fibras Naturales de Ecuador”. En donde se realizan estudios y análisis con respecto al desarrollo de materiales compuestos. Año a año se realizan investigaciones usando fibras como: abacá, cabuya, totora, ceibo, paja toquilla, etc.; además de lana de animales como ovejas, conejos y alpacas. Se busca reciclar residuos agrícolas, que normalmente son desechados, para que formen parte del refuerzo de materiales compuestos. En este centro se han elaborado materiales con matrices poliméricas y diferentes tipos de fibra vegetal. Las áreas de aplicación, así como la variedad de las fibras naturales existentes en el Ecuador son muy extensas, algunas investigaciones a destacar son: tableros en matriz de pulpa de celulosa - urea formaldehído (Mera, 2012), mobiliario para sectores turísticos a base del pseudotallo de la planta de banano (Tinajero, 2018), entre muchas otras.

Empresas automotrices como Volkswagen, BMW, Ford, Mercedes-Benz, entre otras, incorporan partes de sus autos elaboradas a base de fibras naturales, principalmente en forma de paneles en puertas y tableros de instrumentos. Por ejemplo, Audi sacó en el 2000 el modelo A2 con cuerpo de aluminio, donde los paneles de las puertas fueron hechos de poliuretano reforzado con lino y sisal. Mercedes-Benz ha incorporado fibras naturales de coco y yute a sus vehículos. A continuación, se muestra un auto marca Mercedes Benz, con varios componentes, que tienen incorporadas fibras naturales. Volkswagen, también ha utilizado este tipo de materiales para reemplazar parte de uno de sus autos con un laminado de matriz poliéster, reforzado con fibras de hoja de banano. (Mohanty, 2009) citado por (Guerrero, 2011)



Figura 1-2: Partes de un automóvil Mercedes Benz elaboradas con fibras vegetales

Fuente: (Guerrero, 2011)



Figura 2-2: Audi modelo A2

Fuente: www.km77.com

Los proyectos de investigación a base de materiales compuestos con fibras naturales son diversos, especialmente el área automotriz. Se han diseñado estructuras reales de impacto a base de perfiles de material compuesto poliéster - madera, destacando algunas características como bajo peso, absorción de energía de impacto, bajo precio y reducción del daño medioambiental. Aritz Esnaola Arruti, en su Tesis desarrollada para la obtención del título de Doctor, denominada “Desarrollo de estructuras de impacto en materiales compuestos para vehículos ligeros”, realiza un amplio estudio de los materiales compuestos donde concluye que los mismos son aptos para fabricar elementos para las estructuras de impacto en automóviles. (Esnaola, 2016)

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Carrocería de buses

La carrocería es el esqueleto o armazón del bus, el cual está formado por vigas o perfiles y planchas metálicas unidas entre sí generando resistencia a la estructura, en cuyo interior se encuentra el habitáculo destinado a los ocupantes del vehículo. (Esmeraldas, 2016)

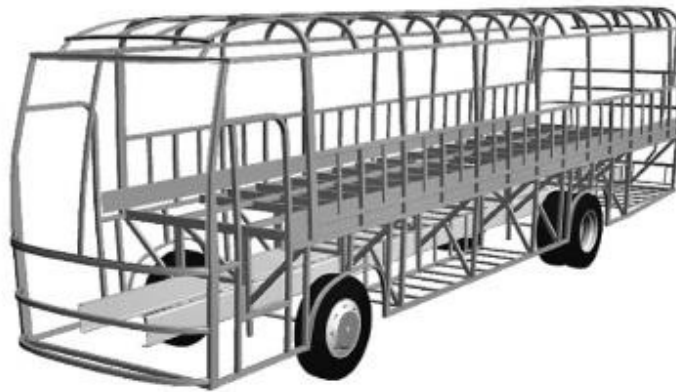


Figura 3-2: Carrocería tipo bus interprovincial
Fuente: (Esmeraldas, 2016)

2.2.1.1. Seguridad pasiva en carrocerías de buses

La carrocería es un módulo estructural importante en la conformación del vehículo, es de seguridad pasiva, ya que en caso de colisión absorbe la mayor cantidad de energía posible, es decir; la energía del impacto se transforma en energía de deformación amortiguando en gran medida el efecto del choque para proteger a los pasajeros. (Esmeraldas, 2016)

A. Zonas de absorción de impactos

La carrocería debe ser resistente y rígida de tal forma que el habitáculo no se vea afectado ante deformaciones provocadas por un impacto o colisión. (Esmeraldas, 2016)

- Zona Central: Esta zona es la correspondiente al habitáculo de los pasajeros, debe ser indeformable y la más rígida respecto de las otras zonas del bus.
- Zona Frontal y Posterior: Estas zonas deben poseer elementos estructurales de fácil deformación, la finalidad es no invadir la zona del habitáculo o zona de supervivencia y así

proteger a los ocupantes, transformando la energía cinética del impacto en energía de deformación.

2.2.2. Normas para Vehículos

2.2.2.1. Norma Técnica Ecuatoriana

En el Ecuador la norma NTE INEN 1668, primera revisión, establece los requisitos que deben cumplir los vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial con la finalidad de proteger la vida y la seguridad de las personas, el ambiente y la propiedad, y prevenir prácticas engañosas que puedan inducir a error a los fabricantes o usuarios finales. (INEN1668, 2015)

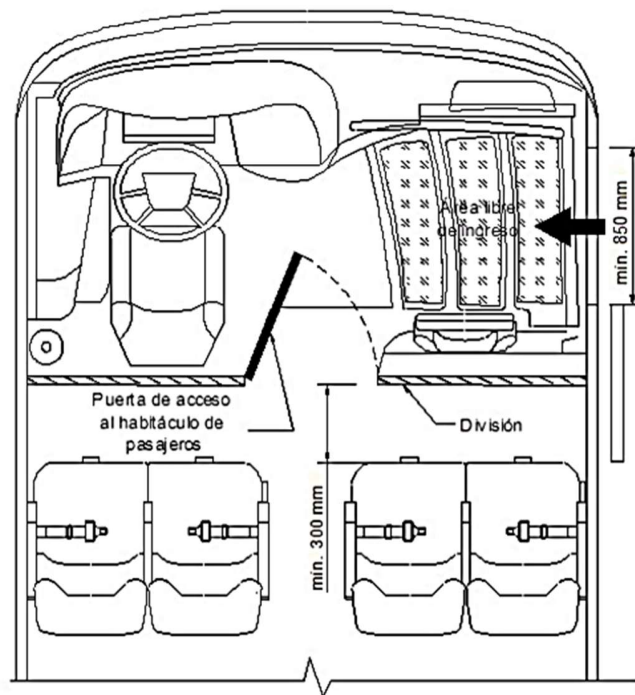


Figura 4-2: Cabina del conductor (disposición para vehículos con motor posterior)

Fuente: (INEN1668, 2015)

Para la carrocería, se especifica que los materiales de la estructura del vehículo deben ser perfiles y tubería estructural protegido contra la corrosión que cumplan con NTE INEN 2415 y la NTE INEN 1623. Las carrocerías de minibuses y buses de transporte mencionados en esta norma deben cumplir con los requisitos establecidos en la NTE INEN 1323.

Para el parachoques frontal y posterior, se detalla que no deben sobresalir de la carrocería en más de 300 mm y debe contar con elementos de sujeción que aseguren la absorción de impactos. La parte delantera inferior del parachoques delantero estará a una altura máxima de 500 mm desde la calzada y, la parte posterior inferior del parachoques posterior estará a una altura máxima de 600 mm desde la calzada. Además, se prohíbe el uso de elementos de defensa adicionales (tumbaburros, aumentos a parachoques originales, ganchos o bolas porta remolques no removibles que sobresalgan de la carrocería).

2.2.2.2. Reglamento ECE R29

El reglamento UNECE R29 o ECE R29, se aplica a vehículos con cabina separada, referente a la protección de los ocupantes de la cabina. Para lograr la homologación de un vehículo de este tipo, el mismo debe satisfacer los requisitos del reglamento, el cual básicamente indica el procedimiento para realizar ensayos de colisión frontal o vuelco. El requisito general es diseñar y fijar la cabina al vehículo de modo que se elimine en lo posible el riesgo de lesiones a sus ocupantes en el caso de un accidente, lo cual se evalúa en función del espacio de supervivencia de los ocupantes en la cabina. Para esta evaluación se usa un maniquí, el cual no debe entrar en contacto con partes sin resiliencia de dureza Shore igual o superior a 50. Para el impacto frontal se indica el uso de un péndulo que transferirá una energía de 55 kJ durante el choque, así como la posición que deberá tener respecto a la cabina. (CEPE, 2012)

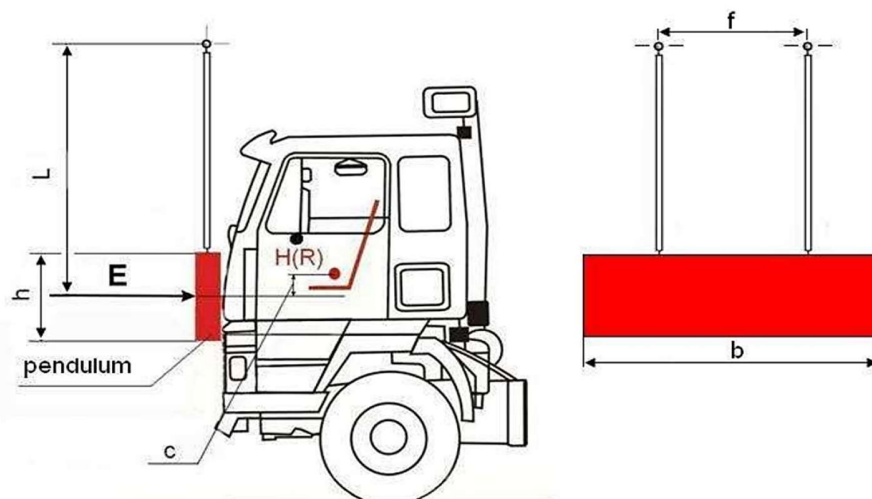
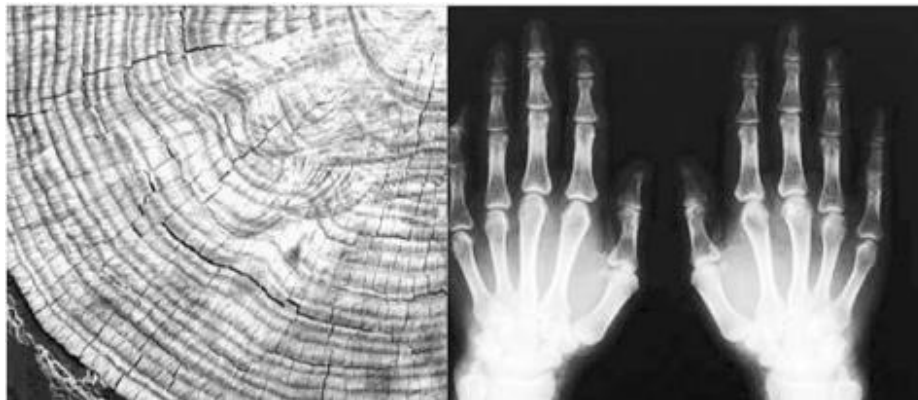


Figura 5-2: Ensayo de colisión frontal (ensayo A)
Fuente: (CEPE, 2012)

2.2.3. *Materiales compuestos*

El término “material compuesto” nace, como la propia palabra indica, de la posibilidad de combinar materiales monofásicos de distinta naturaleza para formar uno solo con características diferentes, en función de sus componentes. Entonces, un material compuesto es un material multifásico que adopta las propiedades de sus fases constituyentes, presentando mejoras en sus características y/o propiedades. (Avner, 1988).

En la actualidad los materiales compuestos tienen mucho auge y aceptación, son el material de seleccionado para muchas aplicaciones, principalmente de ingeniería. Es conocido, que la idea de material compuesto no es reciente, ni siquiera en nuestro país, ya que su definición y aplicaciones ha sido usado por el ser humano desde las primeras sociedades agrícolas. Como constancia de esto se tienen construcciones hechas con adobe, el cual está compuesto de una matriz de arcilla, con un refuerzo de fibras vegetales como la paja; este material compuesto ha sido utilizado en construcciones desde la época de los egipcios. Muchos de los materiales compuestos los muestra la misma naturaleza, nuestro cuerpo está conformado por este tipo de materiales. En la siguiente figura se muestran los ejemplos comunes de materiales compuestos creados por la naturaleza. (Guerrero, 2011)



Madera = Celulosa + Lignina

(b) Huesos = Colágeno + Hidroxiapatita

Figura 6-2: Materiales compuestos naturales: (a) la madera y (b) los huesos.

Fuente: (Guerrero, 2011)

2.2.3.1. *Componentes de un material compuesto*

Una vez definido el material compuesto, donde se comprende que es multifásico, se puede decir que es una combinación de materiales monofásicos, que a través de la combinación de sus características individuales proporcionan propiedades diferentes y en la mayoría de los casos mejoran las del

material compuesto. La configuración básica de un material compuesto, reforzado con fibras, se muestra en la siguiente figura. El material compuesto, al ser multifásico, muestra la importancia de la selección de cada una de sus fases constituyentes. Es decir, esta combinación de propiedades en busca de una mejora, debe ser adecuada al requerimiento. Teniendo como resultado un material de mejores características en forma significativa. (Mazumdar, 2003) citado por (Guerrero, 2011).

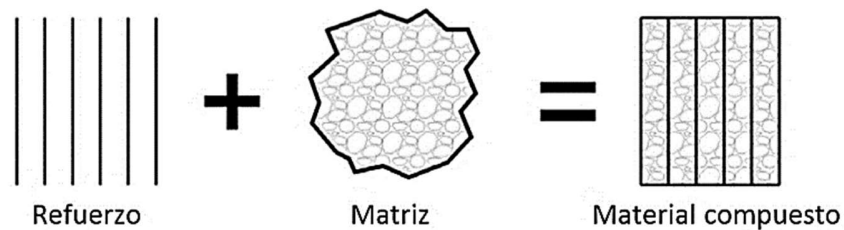


Figura 7-2: Configuración base de un material compuesto
Fuente: (Guerrero, 2011)

A los componentes de un material compuesto se los conoce como: matriz y refuerzo. Y a la superficie por medio de la cual quedan unidos o conectados se le denomina interfaz. También puede ser el caso, dependiendo de la naturaleza de sus componentes, que requieran sustancias para mejorar dicha conexión, los cuales pueden ser: agentes de acoplamiento, revestimientos o rellenos. El principal objetivo es mejorar las características de la interfaz en adherencia, de modo que las propiedades del material mejoren o se potencialicen en vez de verse afectadas. En la siguiente figura se ilustran los componentes de un material compuesto, con mayor detalle.

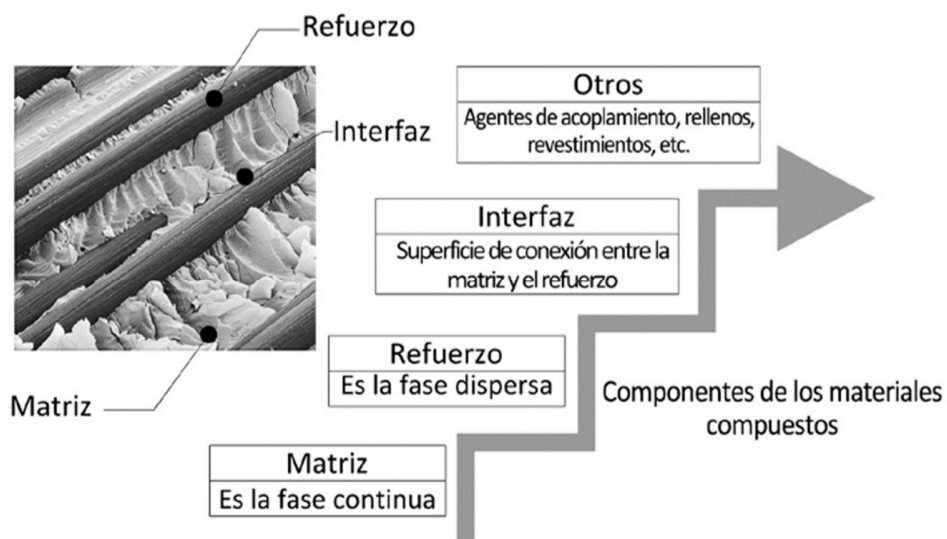


Figura 8-2: Componentes de un material compuesto
Fuente: (Guerrero, 2011)

2.2.3.1.1. Matrices y Refuerzos

La matriz, siendo el material de mayor proporción, tiene las siguientes funciones:

- Mantener unidos los refuerzos
- Transferir las cargas hacia los refuerzos
- Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica
- Actuar como barrera de protección de los refuerzos contra efectos del medio ambiente, como por ejemplo la humedad.
- Cuando el material de refuerzo sean fibras, la matriz actúa como soporte lateral, para evitar el pandeo bajo cargas de compresión.

El refuerzo tiene el papel principal de mejorar las características de la matriz. El refuerzo es el encargado de soportar las cargas, a las cuales pueda estar sometido el material compuesto, además puede adicionar otro tipo de propiedades al material compuesto, como, por ejemplo: conductividad eléctrica, aislamiento eléctrico, estabilidad térmica, hacerlo apto para aplicaciones estructurales, entre otros. Los refuerzos pueden ser tener forma de partículas, fibras o elementos estructurales. (Guerrero, 2011)

2.2.3.1.2. Papel de la Interfaz

La interfaz es la que garantiza una correcta adherencia entre los componentes del material, matriz y refuerzo, cuando están fuertemente unidos se dice que la interfaz es buena, y de esto dependen las características del material. Para esto, la matriz debe encontrarse en estado fluido para que pueda impregnarse adecuadamente sobre el esfuerzo. Entonces será la interfaz la que va a generar las propiedades del material dependiendo directamente de la capacidad de mojabilidad de la matriz. El papel de la interfaz es más importante en un material reforzado con fibras, ya que de ello dependen las propiedades mecánicas del compuesto. Cuando las cargas se transmiten desde la matriz hasta los refuerzos se dice que la unión es buena; de lo contrario, se obtiene una unión deficiente. (Espinoza, 2016)

2.2.3.1.3. Tipos de Matriz

La matriz puede ser de tres tipos:

- Metálica
- Cerámica

- Polimérica

Las principales propiedades del material compuesto, dependen del tipo de matriz. En esta investigación el estudio se enfoca en la matriz de tipo polimérica.

A. Matriz polimérica

Las principales características de la matriz polimérica son:

- Densidad baja
- Excelentes propiedades a temperatura ambiente
- Facilidad de modelado o conformado
- Costo bajo, en relación a otros materiales de igual uso.
- Los materiales de refuerzo pueden ser naturales o sintéticos

En la siguiente figura, se puede distinguir la matriz, la interfaz y el refuerzo, cerca de la zona de fractura.

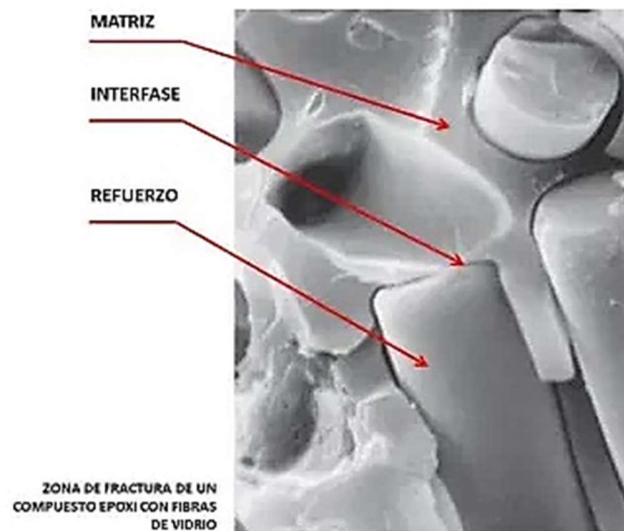


Figura 9-2: Imagen ampliada de la zona de fractura de un compuesto epoxi reforzado con fibras de vidrio

Fuente: <https://tecnologia3bunlp.wordpress.com>

Según (Guerrero, 2011), las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos:

a. Termoplásticas

Se presentan en estado sólido y requieren de calor para pasar al estado líquido. Este proceso es reversible, pasar del ablandamiento al endurecimiento y viceversa, hace que este tipo de material sea apto para el reciclaje, lo cual es una ventaja. Algunos ejemplos de este tipo de matrices son el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y polietilen-tereftalato (PET). Se pueden encontrar polímeros termoplásticos cuyo origen es natural, como el ácido poliláctico (PLA) o el polihidroxibutirato (PHB), que tienen propiedades semejantes los polímeros termoplásticos que se derivan del petróleo, como el polietileno, polipropileno y demás.

b. Termoestables

Su estructura está conformada por múltiples enlaces que se entrecruzan, creando una estructura de red tridimensional. La reacción química mediante la que son polimerizadas, generalmente no permite revertir el proceso de sólido a líquido, de modo que no son fáciles de reprocesar después que las reacciones de entrecruzamiento han tenido lugar; lo que dificulta su reciclaje. Los polímeros termoestables no se funden al calentarse, sino que tienen un proceso de degradación. Como ejemplos se tiene: resina poliéster, resina epoxi y resina fenólica.

c. Elastoméricas

Su zona elástica grande es grande, de modo que pueden llegar a cinco o seis veces el tamaño de su longitud original. Sin embargo, los módulos de elasticidad que poseen son bajos. Ya que tienen menos enlaces de reticulación entre cadenas en comparación con los polímeros termoestables. Un representante conocido de este tipo de polímeros es el caucho natural.

2.2.3.1.4. Tipos de refuerzo

Según (Guerrero, 2011), existen los siguientes tipos de refuerzos:

- Partículas
- Fibras
- Elementos estructurales

En esta investigación el enfoque se realiza en el tipo de refuerzo de fibras, las cuales son materiales policristalinos o amorfos cuyos diámetros son pequeños en relación a su longitud. Los refuerzos sintéticos comúnmente utilizados son de tipo polímero o cerámico, como, por ejemplo: fibra de vidrio, fibra de carbono, óxido de aluminio, entre otros. Como una opción más amigable con el medio ambiente se tienen a las fibras de origen natural como: abacá, lino, totora, cabuya, coco y muchos más, los cuales se pueden incorporar como elementos de refuerzo en una matriz polimérica, teniendo una excelente compatibilidad. Además del menor impacto medioambiental que tienen las fibras naturales, existen otras ventajas como la reducción de costo por manufactura y bajo peso. En la siguiente figura se pueden observar algunas formas de refuerzo para un material compuesto.

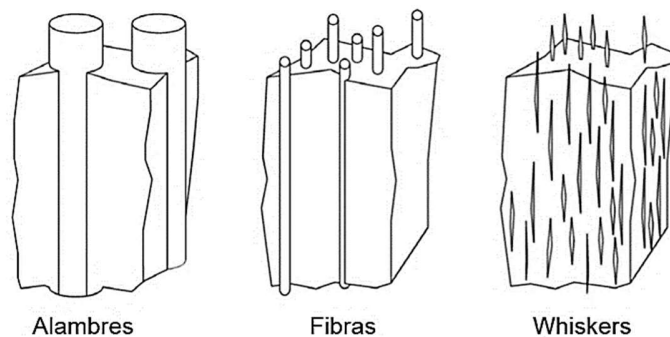


Figura 10-2: Formas de refuerzos para un material compuesto
Fuente: (Guerrero, 2011)

2.2.4. Propiedades mecánicas de un material compuesto

En el área de ingeniería estructural, existen elementos que están sometidos a cargas mecánicas y térmicas, lo que provoca al mismo tiempo esfuerzos y deformaciones. La aplicación de la mecánica de materiales, como ciencia se vuelve primordial en esta área. A muchos materiales se los considera homogéneos e isotrópicos, es decir, que sus propiedades no varían con el cambio en la dirección de la aplicación de las cargas. Los materiales compuestos reforzados con fibras, toman propiedades anisotrópicas, dependiendo de la configuración, tamaño y cantidad de refuerzo. Entonces, es necesario que se comprenda el comportamiento de los materiales compuestos a partir de las propiedades de los elementos que lo constituyen, sus proporciones, su distribución, etc. Con ello se pueden asignar usos y aplicaciones acordes a este tipo de materiales. (Callister W. , 2007) citado por (Guerrero, 2011)

2.2.4.1. *Propiedades mecánicas en la interfaz*

La interfaz es la superficie de conexión entre la matriz y el refuerzo. A un nivel microscópico, las propiedades mecánicas de esta zona son las que determinan las propiedades mecánicas del material compuesto. En esta área la matriz debe “mojar” al refuerzo, para garantizar una unión fuerte. Si es necesario, se pueden usar agentes químicos que mejoren el enlace o unión, para que mejore la mojabilidad y aumente la superficie de la interfaz, de modo que la carga aplicada se transfiera de manera efectiva de la matriz al refuerzo. Y de este modo se garantice un material con buenas propiedades mecánicas. (Guerrero, 2011)

2.2.4.2. *Influencia de la orientación y cantidad de la fibra.*

Los materiales compuestos reforzados con fibras generalmente presentan anisotropía, es decir, las propiedades del material varían en función del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron determinadas. En el caso de los materiales compuestos con fibras, se tiene la posibilidad de orientar el refuerzo en la dirección que soportará la mayor carga, lo cual aumenta la eficiencia del material y lo hace apto para muchas aplicaciones.

Las propiedades del material compuesto dependen de la orientación de la fibra, así como de la cantidad de la misma.

Para la alineación de las fibras se tienen las siguientes opciones:

- Distribución paralela al eje longitudinal de la pieza, ya sea con fibras continuas o discontinuas.
- Distribución al azar, sin un orden específico.

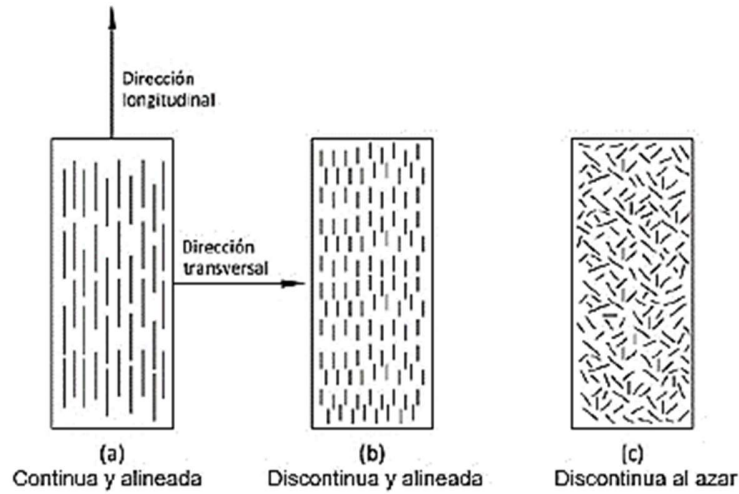


Figura 11-2: Formas de orientación de la fibra
 Fuente: (Callister W. , 2007).

En el caso de la orientación de la fibra en forma continua y alineada, las propiedades mecánicas están en función del ángulo que se forma entre la dirección en que se aplica la carga y la dirección de la fibra. En la siguiente figura se muestra la variación de las constantes elásticas que tendrá un material compuesto reforzado con fibra de vidrio, en función de dicho ángulo. (Mallick, 2008) citado por (Guerrero, 2011)

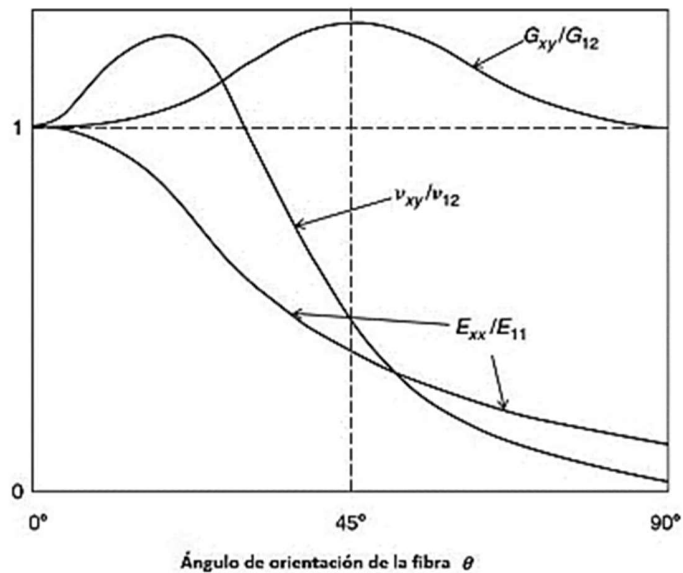


Figura 12-2: Influencia del ángulo de orientación de la fibra en la constante elástica de un material compuesto reforzado con fibra de vidrio continua.
 Fuente: (Mallick, 2008)

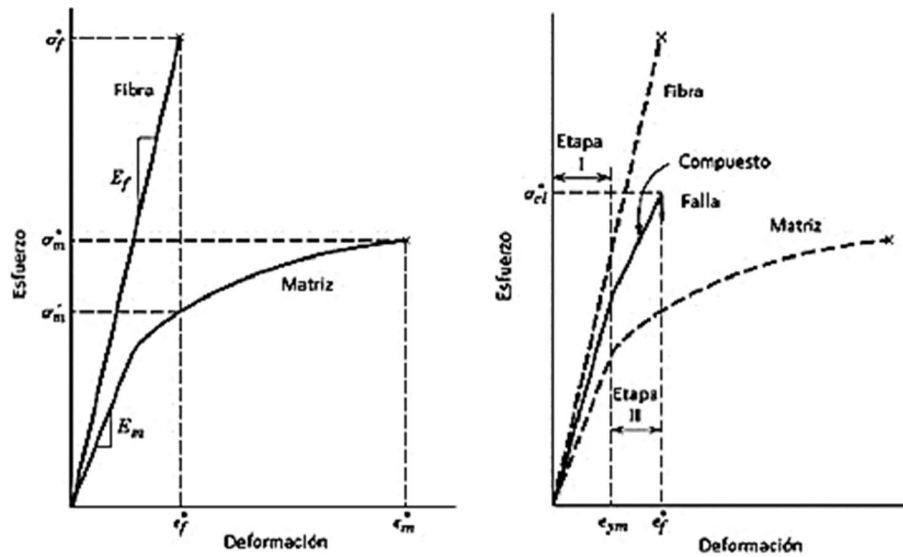


Figura 13-2: Gráficas esfuerzo vs. deformación entre la fibra y la matriz.
 Fuente: (Callister W. , 2007)

Las características mecánicas del material compuesto, están dadas por la capacidad que este tenga para transmitir la carga aplicada de la matriz a las fibras. Si la unión entre ellas es fuerte, la carga se transmite como un mecanismo de corte, como se muestra en la siguiente figura.

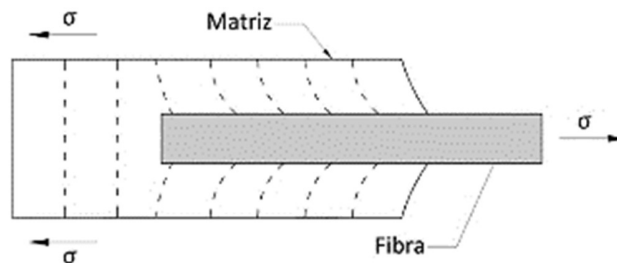


Figura 14-2: Comportamiento de la matriz al someter a tensión una fibra en un material compuesto
 Fuente: (Callister W. , 2007)

Como se puede observar la longitud de la fibra juega un papel importante en la transmisión de la carga hacia la matriz, en la zona donde se termina la fibra dentro de la matriz, esta deja de recibir el esfuerzo. Entones se pone en evidencia la necesidad de analizar la longitud mínima de la fibra para que los dos componentes compartan las cargas y esfuerzos, que es el objetivo de este tipo de materiales. La longitud mínima o crítica l_c depende del diámetro de la fibra d_f , de la resistencia a la tracción σ_f^* y del esfuerzo de corte τ_c que se da entre la fibra y la matriz. Si la longitud de fibra es menor a la crítica, el esfuerzo es menor al que es capaz de tolerar, es ese caso la interfaz puede llegar a fallar antes de que la fibra alcance su esfuerzo potencial. Mientras que, al tener una longitud de la

fibra mayor a la crítica, esta es capaz de alcanzar su valor máximo de esfuerzo. Este esfuerzo máximo se da en el punto medio de la fibra, pero para valores de longitud igual a la longitud crítica l_c , esto resulta poco efectivo. Para mejorar esta situación es mejor una longitud de la fibra mayor a la longitud crítica, de esa manera el esfuerzo se distribuye de mejor manera a lo largo de la fibra, lo cual se puede observar en la siguiente figura. (Espín, 2017)

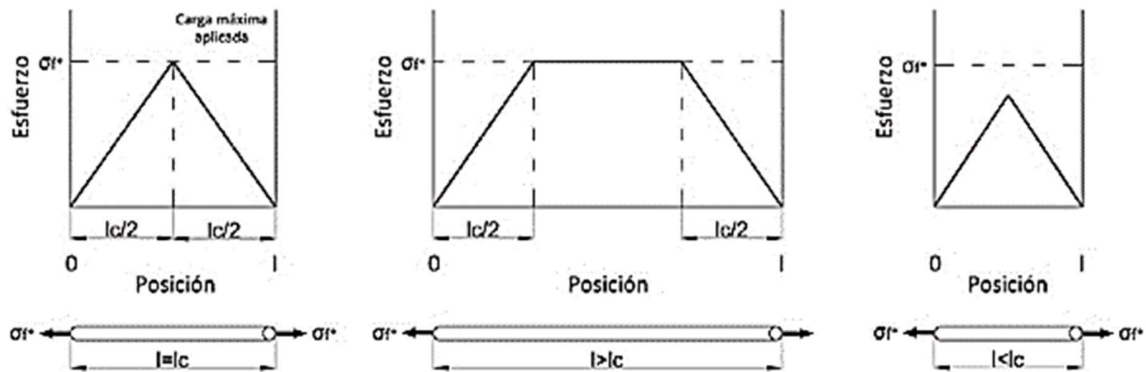


Figura 15-2: Efecto de la longitud de la fibra en su resistencia.

Fuente: (Callister W. , 2007)

Se sabe que las fibras cortas o discontinuas brindan una menor resistencia que las fibras largas. Sin embargo, las fibras cortas son de uso común en este tipo de materiales, ya que brindan beneficios como bajos costos de producción y facilidad en la formación de piezas.

2.2.5. *Materiales compuestos matriz polimérica – refuerzo fibra vegetal*

En el Ecuador existe una gran variedad de fibras vegetales con excelentes propiedades, además de las condiciones climáticas óptimas para su cultivo y producción. Sin embargo, la mayoría de empresas que se dedican a la producción de las mismas solo las exportan, ya que muchas de ellas pertenecen a empresas extranjeras, que aprovechan el gran potencial que este país ofrece para la producción de fibras naturales. En nuestro país se ve la necesidad de desarrollar nuevos materiales, aprovechando nuestros recursos, dando un mayor valor agregado no solo a la parte de los recursos naturales sino a la capacidad intelectual que se tiene. Muchas de las fibras que se producen en el país son consideradas desechos, y pasan a ser un problema medioambiental, ya que ni siquiera existen programas para deshacerse de ellas de manera adecuada. Algunas de las fibras de mejores propiedades como el abacá y la cabuya, son subutilizadas en productos artesanales. A otras, se las ve solo como un recurso alimenticio, sin considerar siquiera la utilización de la parte fibrosa de las mismas, como sucede con

el coco, cuya parte consumida como alimento corresponde únicamente a la quinta parte, mientras que la fibra es considerada un desecho sólido. Se conoce de algunas aplicaciones para la fibra de coco en paneles que se usan como aislantes térmicos y acústicos, pero se desarrollan lentamente en comparación con su gran potencial. Ventajosamente existen algunas universidades como la Pontificia Universidad Católica y la Escuela Politécnica nacional que tienen proyectos serios en este ámbito.

2.2.6. *Propiedades mecánicas de las fibras vegetales*

Las características mecánicas de las fibras dependen de su naturaleza, cada tipo tiene características que las distinguen, por lo que es común encontrar sus utilidades en función de estas propiedades según lo que puedan aportar al material compuesto, como resistencia a esfuerzos de tracción, flexión e impacto. También es importante tomar en cuenta las características que definen la facilidad y tiempo para su producción, la disponibilidad en el mercado, su rendimiento en función de la utilidad que se le dé, etc. En la siguiente tabla se indican las ventajas y desventajas de utilizarlas como refuerzo:

Tabla 1-2: Ventajas y desventajas del uso de fibras naturales como refuerzo en un material compuesto

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO ₂	Alta absorción de agua
Son biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos al quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flamabilidad

Fuente: (Baillie, 2004) citado por (Guerrero, 2011)

También se ha determinado que existen múltiples ventajas de las fibras vegetales sobre las fibras sintéticas tradicionalmente utilizadas, las principales se indican a continuación:

Tabla 2-2: Comparación de cualidades entre fibras naturales y fibra de vidrio

Cualidades	Fibras naturales "FN"	Fibra de vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
Abrasión a máquinas	No	Si
Riesgo a la inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

Fuente: (Wambua, 2003) citado por (Guerrero, 2011)

Las ventajas que las fibras naturales tienen sobre las sintéticas, justifican la actual tendencia del mercado en preferirlas para nuevas aplicaciones. A continuación, se compara las propiedades mecánicas de algunas fibras vegetales y sintéticas.

Tabla 3-2: Propiedades de fibras vegetales vs. fibra de vidrio.

Fibras	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de Humedad (%)
Vidrio - S	2,5	2000 - 3500	70	2,5	---
Vidrio - E	2,5	4570	86	2,8	---
Aramida	1,4	3000 - 3150	63 - 67	3,3 - 3,7	---
Carbón	1,4	4000	230 - 240	1,4 - 1,8	---
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393 - 773	26,5	1,5 - 1,8	12
Ramio	1,5	400 - 938	61,4 - 128	3,6 - 3,8	12 - 17
Coco	1,2	175 - 220	4 - 6	15 - 30	10
Sisal	1,5	511 - 635	9,4 - 22,0	2,0 - 2,5	11
Abacá	1,3	400 - 1289	45	2,7	8 - 10
Lino	1,5	345 - 1035	27,6	2,7 - 3,2	7
Algodón	1,5	393 - 773	26,5	7 - 8	8 - 25

Fuente: (Páez, 2007) citado por (Guerrero, 2011)

En la tabla anterior se nota la diferencia entre las propiedades mecánicas de las fibras naturales y la fibra de vidrio, teniendo esta última, propiedades superiores a las fibras vegetales. Pero si se toma en cuenta el peso, que en el caso de las fibras naturales es la mitad de la fibra de vidrio, corresponde asignarle una mayor eficiencia a las fibras naturales en aplicaciones donde se requieren materiales resistentes y livianos. La industria automotriz y la aeronáutica, son ejemplos de áreas donde estos

materiales encajan muy bien. Esto sin tomar en cuenta la extraordinaria ventaja de las fibras vegetales en impacto mínimo sobre el medio ambiente, y su bajo costo en relación con otros materiales que se usan en las mismas aplicaciones. A continuación, se puede observar las curvas esfuerzo deformación para las fibras vegetales más comunes. (Guerrero, 2011)

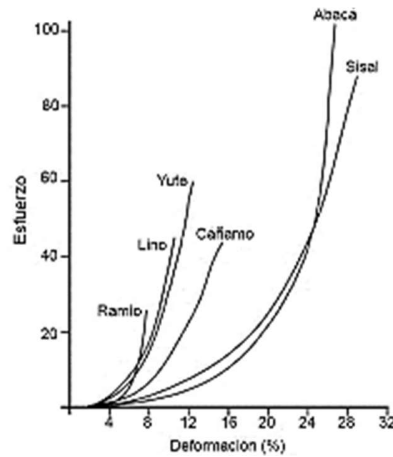


Figura 16-2: Curvas esfuerzo - deformación de algunas fibras naturales (valores de resistencia relativos)

Fuente: (Pickering, 2008) citado por (Guerrero, 2011)

2.2.7. Resina poliéster

Este tipo de resinas, en forma de plásticos termoestables, se presentan en estado líquido a temperatura ambiente, el proceso para llevarlas a estado sólido depende de su tipo y se lo realiza con la adición de compuestos químicos, como se detalla a continuación: (Espín, 2017)

- Resinas pre aceleradas + catalizador
- Resinas no pre aceleradas + acelerador + catalizador

Una vez producida la solidificación, el proceso no es reversible, a diferencia de los termoplásticos. Una ventaja de usar esta resina es que es un material popular, lo cual facilita su adquisición y los procesos de manejo son conocidos.

2.2.7.1. Propiedades de la resina poliéster

La resina poliéster que se usa como material de diseño tiene las siguientes propiedades:

- Aislante térmico

- Aislante eléctrico
- Anticorrosivo
- Buen grado de relación peso / resistencia.
- Resistencia al agua.
- Resistencia a los rayos ultravioletas.
- Los productos elaborados con este material son de fácil transporte, montaje y mantenimiento, lo cual se traduce en un beneficio económico. (Díaz, 2008)

Para conocer las propiedades específicas de una resina se debe consultar con el fabricante, y seguir todas las recomendaciones dadas por el mismo.

2.2.7.2. *Curado*

El proceso de curado, es aquel en que la resina se convierte de líquido a sólido, se lo conoce también como polimerización o endurecimiento y se acompaña de una reacción exotérmica (que emite calor). Este cambio se da en función del tiempo, se realiza de forma gradual, primero pasa de un estado líquido a gelatinoso, luego se solidifica. Para la resina poliéster el acelerante es el octoato de cobalto y el catalizador es metil-etil-cetona (MEK) peróxido, a mayor cantidad de ambos, menor es el tiempo de gelificación. (Espín, 2017)

Los factores a considerar durante el proceso de curado, respetando siempre las especificaciones del fabricante, son:

- Tipo de resina
- Temperatura ambiente
- Tipo y cantidad de acelerador.
- Tipo y cantidad de catalizador.
- Tipo y cantidad de cargas, si son elevadas, retrasan el curado.
- Humedad relativa, recomendado entre 40 y 54%.
- Exposición al sol.
- Temperatura durante el proceso.
- Espesor de laminado, cuyo aumento disminuye el tiempo de gelificación.

2.2.8. Fibra de abacá

Las condiciones climatológicas de Ecuador hacen posible el cultivo de Abacá, siendo el segundo productor a nivel mundial, después de Filipinas de donde es originaria. Se puede confundir a la planta de abacá con la de banano, sin embargo, su forma de cultivo, sus propiedades y usos son muy diferentes. Por ejemplo, su fruta no es apta para el consumo humano. Sin embargo, su fibra muestra características excepcionales, como fuerza y flexibilidad. A continuación, se puede observar su planta y su clasificación taxonómica.



Figura 17-2: Planta de abacá
Fuente: www.ecured.cu

Tabla 4-2: Clasificación taxonómica del abacá.

Característica	Descripción
Nombre científico	Musa textilis Nées
División	Magnoliófitos (angiospermas, fanerógamas)
Clase	Liliatas (liliópsidas, monocotiledóneas)
Orden	Zingiberales
Familia	Musáceas
Género	Musa
Especie	Musa textilis

Fuente: (Cerón, 2006)

Las principales variedades que se cultivan en Ecuador son: Bungalanón y Tangongón. El abacá es la fibra más importante dentro de los cordajes, pero su verdadera utilidad está en la elaboración de papel. (Cerón, 2006)

La fibra de abacá tiene forma de filamento cilíndrico cuya longitud puede llegar a más de tres metros, con un diámetro de 0.01 a 0.28 mm. Estas fibras vegetales son lignocelulósicas y está compuesta principalmente de celulosa, lignina y pectina. (Villacís, 2011). Las mejores clasificaciones de esta fibra son finas, brillantes de color habano claro y muy fuertes.

De acuerdo al Grupo Intergubernamental (GIG) de Fibras Duras de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés): “el abacá tiene muchas posibilidades de sustituir a las fibras de vidrio en múltiples partes de los automóviles”, por ello se le ha denominado una de las fibras del futuro. (FAO, 2020).

2.2.9. Higroscopía en materiales compuestos reforzados con fibras naturales

Según el diccionario de la Universidad de Oxford, la higroscopicidad es la: “Propiedad de algunos cuerpos inorgánicos, y de todos los orgánicos, de absorber la humedad”. Una de las desventajas que presentan las fibras naturales, al ser utilizadas en materiales compuestos, es su alta absorción de humedad, que deriva en la variación de las propiedades mecánicas.

En la investigación realizada por Velásquez (2016), se nombran diversos procesos químicos que buscan reducir la polaridad de las fibras, para reducir su higroscopicidad y mejorar la adhesión con la matriz, estos son:

- **Mercerización**
Consiste el someter a las fibras a una solución de hidróxido de sodio, lo cual tiene como efecto una hidrólisis básica en la lignina, de modo que aumenta su rugosidad superficial mejorando su adherencia mecánica.
- **Acetilación o propionilación**
En este proceso se genera una reacción de esterificación del grupo hidroxilo de las fibras, para lo cual se tratan con anhídrido acético o propiónico.
- **Silanización**
Para este proceso se emplean silanos, las moléculas de los silanos presentan un grupo terminal hidrofóbico en uno de los extremos, que puede producir una interacción del tipo van der

Waals con la matriz del compuesto; y en el otro extremo un grupo hidrofílico que puede reaccionar con los grupos OH de la fibra, formando así un puente entre la fibra y la matriz.

2.2.10. Regla de las mezclas en los compuestos reforzados con fibra

2.2.10.1. Densidad del material compuesto

Con la regla de las mezclas se obtiene la densidad de los materiales compuestos. La siguiente ecuación permite calcular la densidad de un compuesto con refuerzo de fibra:

$$d_c = f_m \cdot d_m + f_f \cdot d_f$$

Dónde;

d_c = Densidad del compuesto

f_m = Fracción volumétrica de la matriz y es igual a $(1 - f_f)$

d_m = Densidad de la matriz

f_f = Fracción volumétrica del refuerzo

d_f = Densidad del refuerzo

2.2.10.2. Módulo de elasticidad

Para el cálculo del módulo de elasticidad, se aplica la regla de las mezclas cuando las fibras son continuas y longitudinales, medido paralelamente a las fibras. A continuación, se presenta la fórmula:

$$E_c = f_m \cdot E_m + f_f \cdot E_f$$

Dónde;

E_c = Módulo de elasticidad del compuesto

f_m = Fracción volumétrica de la matriz, es igual a $(1 - f_f)$

E_m = Módulo de elasticidad de la matriz

f_f = Fracción volumétrica del refuerzo

E_f = Módulo de elasticidad del refuerzo

Cuando el esfuerzo aplicado en el material compuesto es muy grande, la gráfica esfuerzo deformación no se comporta de manera lineal y la matriz se deforma, dejando de contribuir a la rigidez del material. Entonces es la fibra quien asume todo el esfuerzo, por lo que se utiliza la siguiente ecuación para estimar el módulo de elasticidad:

$$E_c = f_f \cdot E_f$$

En el caso de que la carga sea aplicada en dirección perpendicular a la disposición de las fibras, la matriz y el refuerzo actúan en forma independiente, y el módulo de elasticidad se puede calcular con la fórmula:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_f}{E_f}$$

2.2.11. Ensayos destructivos para la caracterización de un material compuesto

La caracterización de un material compuesto se hace a través de ensayos destructivos, ya que estos permiten conocer el comportamiento durante la aplicación de cargas y los límites de tolerancia de los mismos. Este proceso debe estar basado en normas, para conocer la cantidad adecuada de muestras, los equipos correctos y seguir una metodología, lo cual garantiza la validez de los resultados. La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM), tiene definidas las normas para el ensayo de materiales compuestos. En la actualidad existen muchos trabajos de investigación que han sido realizados para materiales de diferentes composiciones, que sirven han servido como guía para el presente proyecto, En esta investigación se realizarán ensayos de tracción y flexión. Para ello se hace uso de los laboratorios y equipos con los que cuenta la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

2.2.11.1. Ensayo de tracción

Es uno de los ensayos que se realizan comúnmente, consiste en aplicar una carga en forma uniaxial, a lo largo del eje longitudinal, tirando de los extremos de la probeta en forma gradual que se deforma hasta la rotura. Para los materiales compuestos reforzados con fibras, el ensayo de tracción se lleva a cabo bajo las indicaciones de la norma D3039/D3039M-08, con la ayuda de una máquina universal y asegurando que la probeta esté bien sujeta de modo que el deslizamiento sea mínimo (ASTM I. , Designation: D 3039/D 3039M-00. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2002).

2.2.11.2. Ensayo de flexión

Este ensayo fue realizado con base en la norma D 7264/D 7264M - 07, con el cual se determina la rigidez a la flexión y las propiedades de resistencia de un material compuesto. El proceso consiste en aplicar una carga en el centro superior de la probeta, vista en forma longitudinal. La probeta se apoya en dos puntos por debajo, que son apoyos simples sin sujeción. La norma indica que se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo. (ASTM I. , 2002)

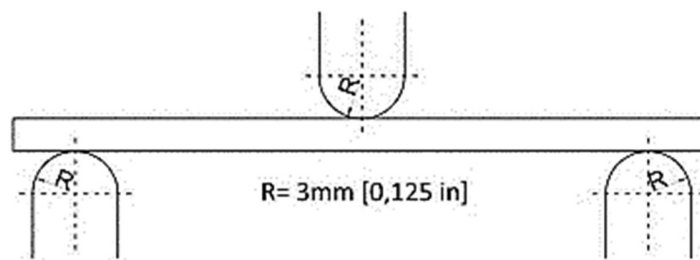


Figura 18-2: Montaje para ensayo de flexión en tres puntos (ASTM)
Fuente: (Guerrero, 2011)

2.2.11.3. Ensayo de impacto

El ensayo de resistencia al impacto IZOD mediante un péndulo Charpy, define el proceso para determinar la resistencia al impacto de materiales plásticos. La máquina que se utiliza en este ensayo usa la caída de un martillo que se mueve en forma pendular, que romperá la probeta en el impacto y registra la energía empleada para esta rotura. Los lineamientos están bajo la norma ASTM D256-10. (ASTM I. , Designation: D256 - 10. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics., 2015)

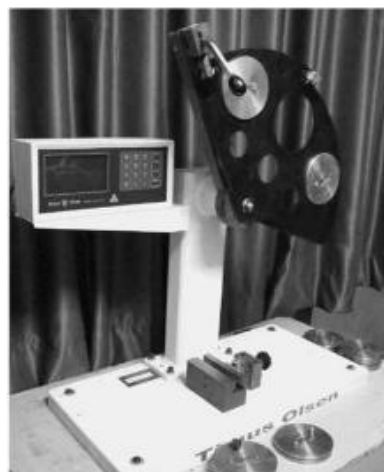


Figura 19-2: Máquina para ensayo Charpy Tinius Olsen IT 504
Fuente: (Guerrero, 2011)

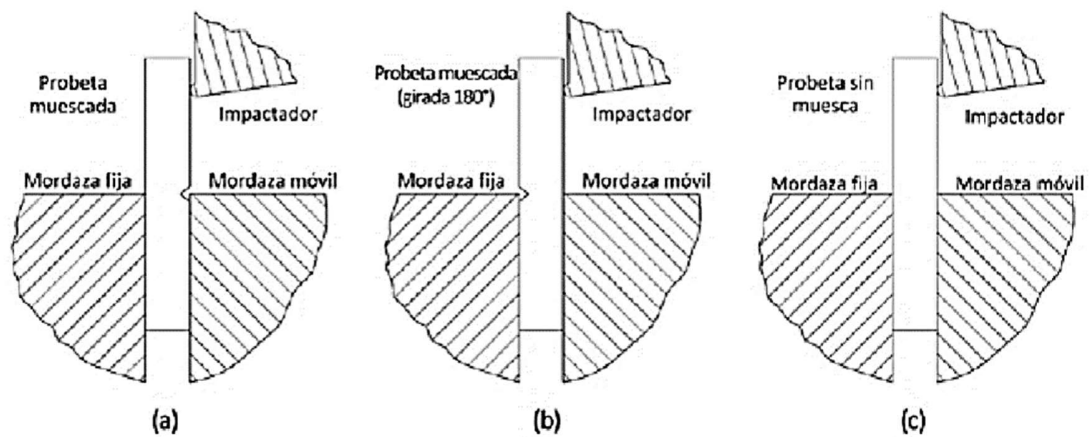


Figura 20-2: Variaciones del ensayo IZOD (ASTM D256-10)
Fuente: (Guerrero, 2011)

2.2.12. Modelación del comportamiento del material

El uso de materiales compuestos en la actualidad ha aumentado y se están realizando diversos estudios para su uso en estructuras y aeronaves. Para que puedan ser usados en programas computacionales es necesario conocer con precisión el comportamiento de dichos materiales, para lo cual se realizan investigaciones con el fin de proponer modelos que reproduzcan eficientemente los fenómenos físicos a los cuales estará expuesto. (Luccioni, 2014). La obtención de las propiedades de un material se puede alcanzar por medio de ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto. Con esos resultados se construye las curvas de comportamiento del material, que se usa en programas computacionales como ANSYS LS DYNA para el caso de choques, y de esta manera evaluar la respuesta del material a cortos períodos de carga severa. Los modelos de comportamiento del material brindan información de límites de proporcionalidad, elasticidad y fluencia.

2.2.13. Método de elementos finitos (MEF)

En análisis por elementos finitos tienen una gran relevancia, ya que permite resolver problemas de alta complejidad, por lo cual se ha constituido un procedimiento habitual de modelación y simulación. El estudio del comportamiento de nuevos materiales, sistemas o estructuras, pueden ser probados antes de su fabricación, lo cual representa una ventaja en cuestión de tiempo y economía. Este método

tiene aplicación en diversas áreas como: transferencia de calor, mecánica de fluidos, electromagnetismo, etc. (Zienkiewicz, 1994).

El MEF se ha desarrollado como consecuencia del desarrollo tecnológico que ha surgido en las últimas décadas. Sin embargo, este método data del antiguo Egipto donde se ha encontrado evidencias de este tipo de cálculos para obtener el volumen de las pirámides. El primer trabajo publicado de este tema fue en 1956. Y su desarrollo se ha dado principalmente por la presión de resolver problemas de la industria, su uso se extendió hacia finales de los años sesenta debido a la aparición de los primeros programas comerciales. En el área de la ciencia e ingeniería de materiales, el MEF se ha venido utilizando para el análisis de nuevos materiales, como por ejemplo los materiales compuestos. (Alfonso, 2015)

Este método consiste en dividir la estructura en elementos que están unidos mediante nodos, para obtener una solución aproximada que se evalúa en función de los movimientos nodales, que definen la solución en cada elemento y en consecuencia la solución de la estructura. La geometría de estos elementos se puede definir, según el programa utilizado, los cuales pueden ser lineales, superficiales o sólidos. En la siguiente gráfica se muestran unos ejemplos:

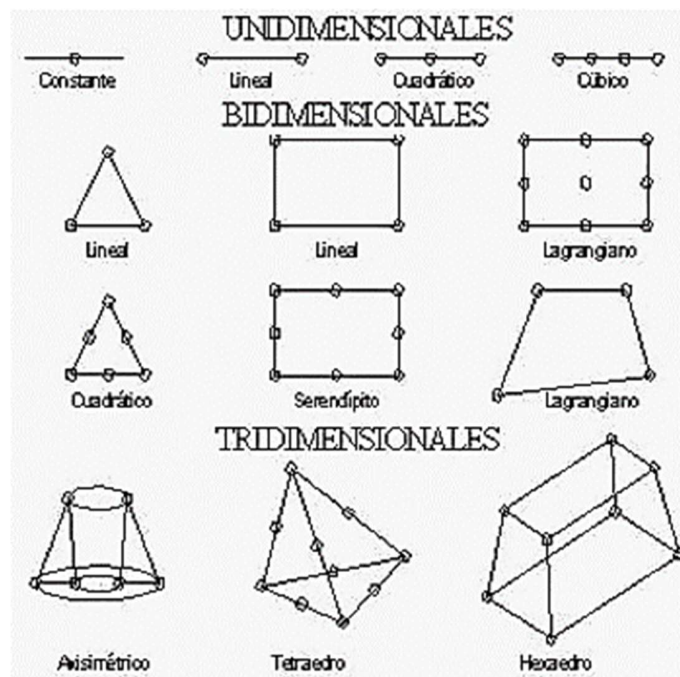


Figura 21-2: Tipos de elementos (MEF)
Fuente: (Medina, 2005)

La elección de un modelo para el MEF asegura una solución aproximada del problema. El modelo o estructura estará compuesto de los elementos independientes, que son los elementos finitos o también denominados discretos. El tiempo del análisis computacional depende de la cantidad y geometría de los elementos finitos, el cual debe ser suficiente y necesario para obtener resultados exactos, lo cual se asocia al conocimiento y experiencia del analista. (Cortez, 2007)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

El uso de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de abacá en la estructura frontal de un autobús incrementa la seguridad de conductor en un impacto frontal.

2.3.2. Hipótesis específicas

El material compuesto poliéster – abacá tiene las características requeridas de absorción de energía de impacto.

El volumen y la orientación de las fibras de abacá determinan las propiedades del material compuesto de matriz poliéster.

El ensayo de impacto frontal mediante simulación numérica permite predecir el comportamiento del material compuesto poliéster – abacá.

El modelo base de Carrocería de autobús para realizar un ensayo de impacto frontal, se adapta a la realidad del entorno.

2.4. Variables de la investigación

VARIABLES INDEPENDIENTES:

- Composición de la mezcla del material compuesto abacá – poliéster
- Orientación de las fibras como refuerzo

VARIABLE DEPENDIENTE:

- Seguridad del ocupante de un autobús en un impacto frontal.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Tipo de investigación

La presente fue una investigación experimental, debido a que se realizaron ensayos de tracción y flexión para determinar las propiedades del material compuesto, basado en normas. Además, se reconocieron variables investigativas como longitud de la fibra y orientación de la misma. De esta manera se pudo probar el material compuesto en la simulación de impacto en la estructura frontal de un autobús.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

La población consistió en un conjunto de probetas de material compuesto de matriz poliéster y refuerzo de fibra de abacá, las cuales se obtuvieron por moldeo con compresión en un molde de madera. Para determinar las características mecánicas del material se realizó pruebas de tracción, flexión e impacto en base a normas. La orientación de la fibra y la cantidad de refuerzo se detallan a continuación:

Tabla 1-3: Orientación de la fibra y cantidad de refuerzo en probetas

Fracción volumétrica		Orientación de la fibra	Configuración del refuerzo
Matriz	Refuerzo		
70%	30%	Discontinua	Al azar
70%	30%	Continua	Longitudinal

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.2.2. *Tamaño de la muestra*

La selección de la muestra de las probetas para los distintos ensayos se realizará en base a normas ASTM, como se detalla a continuación:

Tabla 2-3: Muestra de probetas para ensayos

Tipo de ensayo	Norma ASTM	Número de probetas
Tracción	D3039-00	8
Flexión	D7264-07	6
<i>Total</i>		14

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.3. Operacionalización de variables

Tabla 3-3: Variables de la investigación

VARIABLES	TIPO	DEFINICIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTOS
Composición de la mezcla del material compuesto abacá – poliéster	Independiente	Por análisis de propiedades de materiales compuestos en diferentes fibras naturales	% V de fibra % V de matriz	Moldeo Control de componentes Control dimensional	Probetas graduadas Vasos de precipitación Balanza digital
Orientación de las fibras	Independiente	Por análisis de propiedades de materiales compuestos con diferentes orientaciones de la fibra	Adhesión entre matriz fibra	Ensayos destructivos	Máquina Universal Péndulo
Seguridad del ocupante de un autobús en un impacto frontal	Dependiente	Invasión de cualquier componente de la estructura del autobús en el espacio de supervivencia del conductor	UNECE R29	Ensayo de impacto mediante péndulo	Simulación por el método de elementos finitos

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.4. Matriz de consistencia.

Tabla 4-3: Matriz de consistencia para el análisis de las propiedades de absorción de energía de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras vegetales

	PREGUNTA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES Y SUBVARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
G	¿Cómo influyen las propiedades del material compuesto en la seguridad del conductor de un autobús en un impacto frontal?	Analizar las propiedades de absorción de energía de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de abacá, mediante pruebas de impacto, y su incidencia en la seguridad del conductor de un autobús.	El uso de un material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de abacá en la estructura frontal de un autobús incrementa la seguridad de conductor en un impacto frontal.	Composición de la mezcla del material compuesto abacá – poliéster Orientación de las fibras continuas Seguridad del conductor de un autobús en un impacto frontal	% V de fibra % V de matriz Presencia de vacíos Adhesión entre matriz fibra Norma UNECE R29	METODOLOGÍA Observación. Toma de datos. Ensayo de impacto (péndulo)
	PREGUNTAS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES Y SUBVARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS A USAR
E1	¿Qué características debe tener el material compuesto?	Revisar el estudio del arte para determinar las características adecuadas de absorción de energía en la estructura del autobús mediante un material compuesto de matriz de poliéster reforzado con fibras de abacá.	El material compuesto poliéster – abacá tiene las características requeridas de absorción de energía de impacto.	Variable independiente: Tipo de material compuesto Variable dependiente: Tipo de refuerzo	Características mecánicas del material y sus componentes	Probetas graduadas Vasos de precipitados Balanza digital Software Software AutoCAD
E2	¿Cuáles es la orientación de las fibras de abacá que brinda mejores características de absorción de energía al material compuesto seleccionado?	Identificar la distribución de las fibras de abacá en un material compuesto de matriz poliéster, mediante pruebas de laboratorio con el fin de determinar la combinación optima,	La orientación de las fibras de abacá determina las propiedades del material compuesto de matriz poliéster.	Variable independiente: - Composición de la mezcla - Orientación de las fibras Variable dependiente: - Propiedades mecánicas del material compuesto	Ensayos de tracción, flexión e impacto	Software SolidWorks Software LS DYNA Simulación por el método de elementos finitos Péndulo

	PREGUNTAS ESPECÍFICAS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES Y SUBVARIABLES	INDICADORES
E3	¿Cuál es el proceso para moldear el material compuesto abacá - poliéster?	Determinar el proceso de obtención del material compuesto utilizando técnicas de moldeo para aplicación en la industria automotriz.	El proceso de moldeo del material compuesto influye en las características mecánicas.	Variable independiente: - Porcentaje y disposición del refuerzo Variable dependiente: - Proceso de moldeo.	Forma y dimensiones de las probetas. Características mecánicas del material.
E4	¿Se puede determinar el comportamiento del material durante un choque frontal mediante simulación numérica?	Utilizar un modelo base de carrocería de autobús para realizar un ensayo de impacto frontal, siguiendo las recomendaciones de la norma UNECE R29 mediante simulación numérica.	El ensayo de impacto frontal mediante simulación numérica permite determinar el comportamiento del material compuesto poliéster – abacá.	Variables independientes: - Características del choque frontal. - Modelo de carrocería. Variable dependiente: - Seguridad del conductor del autobús.	Norma UNECE R29

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.5. Plan para recolectar información

En el desarrollo de la investigación se utilizó la observación como principal técnica de recolección de información, además de la entrevista.

Se tomó nota de toda la información relevante para la investigación, la cual fue encontrada durante la revisión bibliográfica y en las entrevistas con profesionales con experiencia en el tema de investigación, con lo cual se concreta una base de información para realizar el proyecto.

La revisión bibliográfica se realizó en libros, artículos científicos, revistas, videos, proyectos experimentales (tesis) y pruebas de laboratorio.

3.6. Plan para procesamiento y análisis de datos

3.6.1. Adquisición de la materia prima

Para la matriz se utilizó resina de la serie Polylite 33200, es una resina poliéster no saturada, tixotrópica, de reactividad y viscosidad media, preacelerada; la ficha técnica del fabricante se encuentra en el Anexo A.

La fibra fue adquirida en la hacienda Abacá Ecuador, ubicada en el Km 10 de la vía Santo Domingo – Quevedo, las fotografías se pueden apreciar en el Anexo B.

3.6.2. Preparación de la fibra

El refuerzo que se utilizó fue fibra de abacá, de las de las cinco calidades de fibra disponibles, se seleccionó la de Grado 3, ya que presenta mejor uniformidad y su espesor permite la fluidez de la resina. Las propiedades fueron determinadas mediante un proceso gravimétrico. Las características de la fibra de abacá son:

Tabla 5-3: Características de la fibra de Abacá

Característica	Descripción
Nombre científico	Musa textilis Nees
Variedad	Tangongón rojo
Tipo de tallo	Tango
Grado de calidad	3

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

En la hacienda abacá Ecuador se observa el proceso manual para la obtención de la fibra, que consiste en:

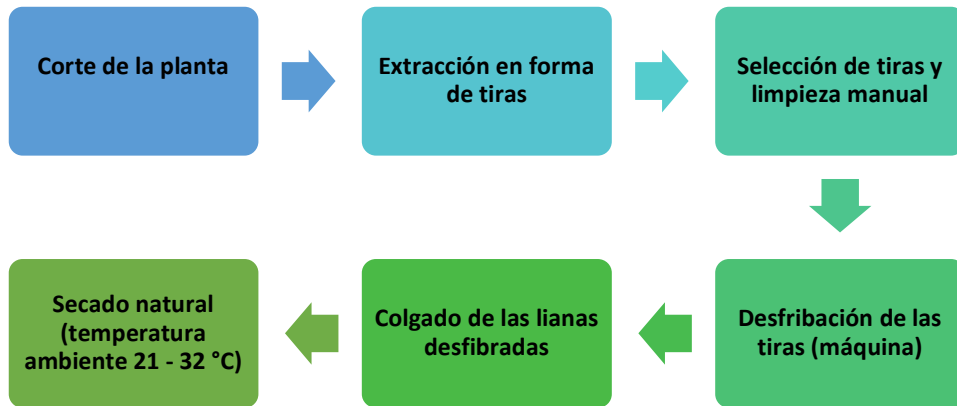


Figura 1-3: Proceso de extracción de la fibra de abacá
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

Luego de adquirida la fibra en bruto, es transportada a Riobamba para realizar el tratamiento que consistió en:

- Descabezado y despuntado de los tramos de fibra



Figura 2-3: Descabezado y despuntado de la fibra
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Selección de las fibras de mayor uniformidad en su largo, mejor continuidad y mayor diámetro.
- Mercerizado: Lavado de la fibra en una solución de 30 gramos de jabón artesanal (hidróxido de sodio al 50%) en 3 litros de agua alcalina al 5% de carbonato de calcio, durante 5 minutos por cada 500 gramos de fibra. En este paso es importante no doblar ni exprimir la fibra.

- Enjuague con agua potable.
- Enjuague con agua destilada, para evitar los minerales disueltos en el agua potable.
- Colgado de la fibra por 24 horas a temperatura ambiente (8 – 19 °C) para que seque.
- Ingreso en la cámara de secado durante 2 horas a una temperatura de 80°C.



Figura 3-3: Secado de la fibra
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Enfundado hermético de la fibra para su posterior utilización.



Figura 4-3: Enfundado de la fibra tratada
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.6.3. Selección de la variación de la mezcla

Para asegurar el mejor anclaje fibra – matriz y obtener una buena fluidez durante el colado de las probetas, se realizó una prueba de mezclas, la cual consistió en variar la cantidad de catalizador mek (metil-etil-cetona) en 5 mezclas. Los parámetros a evaluar fueron el tiempo de curado de la mezcla y el nivel de adhesión fibra-matriz, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 6-3: Resultados de prueba de mezclas para resina

Componentes de la mezcla	Característica de fluidez	Resultados
1.0 % mek Fibra de abacá	Alta	Tiempo de curado: alto Adhesión fibra-matriz: buena
1.5 % mek Fibra de abacá	Media	Tiempo de curado: medio Adhesión fibra-matriz: buena
2 % mek Fibra de abacá	Media	Tiempo de curado: bajo Adhesión fibra-matriz: regular

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

Se confirma que a mayor cantidad de catalizador menor tiempo de curado, se selecciona la cantidad de 1.5% de catalizador, ya que la fluidez de la resina permite una adecuada mojabilidad de la fibra y el tiempo de curado es de aproximadamente 6 horas. El valor de 1.5% de catalizador, también es el recomendado por el técnico de la empresa donde se adquirió la resina, el cual es doctor en química, con experiencia en materiales compuestos.

3.6.4. Densidad del material compuesto

La obtención de la densidad de los componentes del material compuesto se hace por análisis gravimétrico para la matriz y el refuerzo. Se aplica la regla de las mezclas para determinar la densidad del material compuesto.

3.6.4.1. Densidad de la matriz

Para determinar la densidad de la matriz, se sumerge en agua tres piezas hechas de la resina poliéster en un recipiente graduado con medición volumétrica y se mide la diferencia de volúmenes. Por medio de una balanza se obtiene la masa de la misma pieza y se calcula la densidad con la siguiente ecuación:

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

Dónde;

$$d_m = \text{Densidad [g/cm}^3\text{]}$$

$m = \text{Masa [g]}$

$d = \text{Volumen [cm}^3\text{]}$



Figura 5-3: Piezas de resina
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

Los datos y cálculos obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 7-3: Determinación de la densidad de la matriz

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

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.6.4.2. Densidad del refuerzo

Para determinar la densidad del refuerzo, se sumerge en agua una porción de la fibra tratada (limpieza + secado) en un recipiente graduado con medición volumétrica y se mide la diferencia de volúmenes. Por medio de una balanza se obtiene la masa de las porciones de fibra. Este proceso se realiza con 3 muestras de fibra, y se promedian los valores obtenidos.



Figura 6-3: Porción de fibra de abacá
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

Los datos se muestran a continuación:

Tabla 8-3: 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

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.6.4.3. Densidad del material compuesto

Se aplica la regla de las mezclas:

$$d_c = f_m \cdot d_m + f_f \cdot d_f$$

Dónde;

d_c = Densidad del compuesto

f_m = Fracción volumétrica de la matriz y es igual a $(1 - f_f)$

d_m = Densidad de la matriz

f_f = Fracción volumétrica del refuerzo

d_f = Densidad del refuerzo

$$d_c = (0,70)(1,25 \text{ g/cm}^3) + (0,30)(0,68 \text{ g/cm}^3)$$

$$d_c = 1.08 \text{ g/cm}^3$$

3.6.5. Elaboración del molde

El material con el que se obtuvo mejores resultados para el molde es Madera tipo Chuncho, debido a su capacidad como aislante térmico, lo cual es una ventaja debido a la temperatura ambiente en Riobamba. En este molde, con el uso de cera desmoldante, no se presentó adhesión a la resina poliéster. Las características de la madera se encuentran en el Anexo C.

El diseño se realizó en un programa CAD en función de las medidas de un perfil metálico cuadrado 50x50x3mm, los detalles del perfil se pueden observar en el Anexo D. El molde diseñado, consiste en dos partes: exterior e interior. La parte exterior tiene la forma tubular cuadrada con una abertura superior para el colado de la resina, y se cubre con una tapa. Se elaboró de modo que sea completamente desarmable, para evitar la aplicación de esfuerzos en las probetas durante el desmolde. Se elaboraron 3 moldes. Los planos del molde se encuentran en el Anexo E.

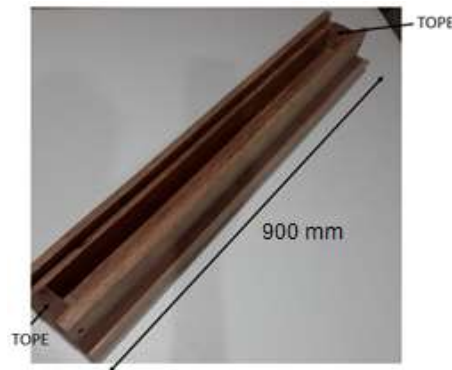


Figura 7-3: Molde de madera sin tapa
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.6.6. Determinación del volumen del molde

Para el cálculo del volumen se toma el área la sección transversal y se multiplica por la longitud, teniendo en cuenta que tiene las siguientes medidas:

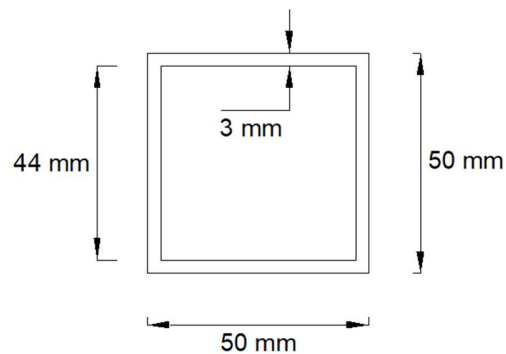


Figura 8-3: Sección transversal de la probeta
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

Del programa CAD se obtiene un valor del área de la sección transversal de 5,64 cm², con lo cual se realiza el cálculo del volumen:

$$V = A \cdot l$$

Dónde;

V = Volumen del molde [cm^3]

A = Área de la sección transversal [cm^2]

l = Longitud de la probeta [cm]

$$V = (5,64 \text{ cm}^2) \cdot (80 \text{ cm})$$

$$V = 451,2 \text{ cm}^3$$

3.6.7. Cálculo de la fracción másica

Para la elaboración de las probetas se requiere cuantificar la cantidad de masa del refuerzo por cada probeta, para lo cual calculamos la fracción del volumen correspondiente:

$$V_f = f_f \cdot V$$

$$V_f = (0,30)(451,2 \text{ cm}^3)$$

$$V_f = 135,36 \text{ cm}^3$$

Despejando la masa en la ecuación de la densidad se calcula la masa de fibra por probeta:

$$m_f = d_f \cdot V_f$$

$$m_f = (0,68 \text{ g/cm}^3)(135,36 \text{ cm}^3)$$

$$m_f = 92,04 \text{ g}$$

3.6.8. Elaboración de las probetas

Para la elaboración de las probetas se tiene previamente medida la masa de la fibra de abacá en sus dos configuraciones: continua longitudinal y corta de 10mm de largo. Estas cantidades se guardan en bolsas herméticas para no afectar su grado de humedad y evitar la contaminación con agentes externos.

Antes de manipular los químicos, colocarse equipo de protección personal como: mandil, guantes mascarilla.

A continuación, se detallan los pasos:

- Limpiar meticulosamente el molde, especialmente a partir de la segunda probeta, para evitar dejar residuos de la anterior probeta.



Figura 9-3: Molde limpio y encerado
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Preparar los elementos que formarán la probeta, ya que una vez preparada la resina esta gelificará entre 15 y 20 minutos. En el caso de las probetas para los ensayos de tracción, fueron fundidas con los tarugos.



Figura 10-3: Elementos para probeta de fibra larga, ensayo de tracción
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Preparar una solución de 100 gramos de resina más 1.5 gramos de catalizador (PMEK) y colocar una capa en todo el molde con la ayuda de una brocha, para disminuir la formación de poros en la superficie de la probeta y aislar la fibra de las paredes exteriores de la probeta.
- Colocar piezas acrílicas de 3mm de espesor cortadas a laser, en los cuatro lados de los extremos de las probetas, para asegurar un espesor uniforme. Las medidas de los acrílicos son:

Acrílicos en la parte inferior y superior: 50x20x3 mm

Acrílicos en los laterales: 44x20x3 mm



Figura 11-3: Colocación de acrílicos en los extremos

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Distribuir la fibra en el molde. En el caso de la fibra continua se lo hace con la ayuda del tope del molde, para tensarla y asegurar que tengan la dirección longitudinal.



Figura 12-3: Distribución de la fibra larga en el molde

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Para preparar la resina, verter 600 gramos de resina poliéster en un recipiente cuidadosamente, agregar 9 gramos de PMEK (Peróxido de metil etil cetona) y revolver con un agitador (varilla) lentamente durante 5 minutos, evitando la formación de burbujas.



Figura 13-3: Medición en masa de los componentes de la resina
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Se coloca la mezcla en el molde distribuyéndola con cuidado y de forma constante. Para darle la forma de tubo hueco, se coloca en el centro de la probeta espuma flex de alta densidad cortada a laser, recubierta de 2 capas de cinta adhesiva. Luego se coloca la tapa a presión con la ayuda de tornillos.



Figura 14-3: Moldes tapados
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- Se desmolda después de 24 horas retirando la tapa y los toques en los extremos. Se debe tener cuidado de no aplicar fuerza sobre la probeta durante el desmolde, para evitar dañarla.

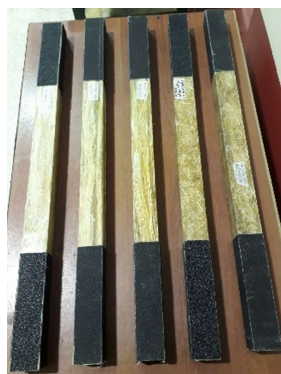


Figura 15-3: Desmoldado de la probeta
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

- En el caso de las probetas para el ensayo de flexión se lija la superficie para retirar residuos. Para las probetas que servirán para el ensayo de tracción se pega en los extremos lija gruesa con cemento de contacto, la cual se deja secar por al menos 48 horas.



a) Flexión



b) Tracción

Figura 16-3: Probetas para ensayos destructivos
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

3.6.9. Curado

Para el proceso de curado, según las indicaciones del fabricante, se deja a temperatura ambiente durante 24 horas. El tiempo de curado la probeta permaneció en el molde de madera. Posterior a esto se almacenan a temperatura ambiente en un lugar limpio y seco.

3.7. Caracterización del elemento

Para determinar las características del material se realizan las pruebas de Tracción, Flexión e Impacto. Estas pruebas fueron realizadas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.7.1. Ensayo de tracción

A continuación, se detallan las características de la probeta para el ensayo a tracción:

- | | |
|--|---------------------------------|
| - Material de la matriz: | Resina poliéster |
| - Material del refuerzo: | Fibra de abacá |
| - Dimensiones de la sección transversal de la probeta: | 50x50x3 mm |
| - Longitud de la probeta: | 800mm |
| - Tipo de estratificación: | Moldeo con compresión |
| - Tiempo de curado: | 24 horas a temperatura ambiente |

Se analizaron 4 probetas con fibra corta y 4 probetas con fibra larga, con el fin de obtener el esfuerzo máximo a la rotura, el grado de deformación y el módulo de elasticidad.

Esfuerzo máximo de tracción:

El proceso consiste en la aplicación de una carga a velocidad constante hasta que se dé la ruptura de la probeta, posteriormente se mide el espesor (menor al espesor inicial) en esta zona para calcular la sección transversal. Con estos datos se determina el esfuerzo máximo a la tracción por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A}$$

Dónde;

σ_{max} = Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)

F = Carga máxima en el momento de la fractura (N)

A = Área de la sección transversal probeta (mm^2)

Porcentaje de deformación

El porcentaje de deformación esta dado por la relación entre la elongación y la longitud inicial. La elongación corresponde a la diferencia entre la longitud final de la probeta (después de la fractura) y la longitud inicial (antes del ensayo). Se aplica la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \cdot 100$$

Dónde;

ε = Porcentaje de elongación

l_f = Longitud final (mm)

l_i = Longitud inicial (mm)

Módulo de elasticidad

El módulo de Young o módulo de elasticidad corresponde a la pendiente de la curva esfuerzo (σ) – deformación (ε), es su sección lineal, se determina siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D3039:

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon}$$

Dónde;

E = Módulo de Young

σ_{max} = Esfuerzo a la tracción, máximo (MPa)

ε = Elongación

3.7.2. Ensayo de flexión

Este ensayo se realizó con base en la norma ASTM D7264-07. A continuación, se detallan las características:

- | | |
|--|---------------------------------|
| - Material de la matriz: | Resina poliéster |
| - Material del refuerzo: | Fibra de abacá |
| - Dimensiones de la sección transversal de la probeta: | 50x50x3 mm |
| - Longitud de la probeta: | 800mm |
| - Tipo de estratificación: | Moldeo con compresión |
| - Tiempo de curado: | 24 horas a temperatura ambiente |

Se realiza el ensayo con 3 probetas con fibra corta y 3 probetas con fibra larga, con el fin de obtener el esfuerzo máximo de flexión y el módulo de flexión.

Esfuerzo máximo a la flexión

Basado en la norma, se aplicó la carga en la mitad de la longitud de la probeta ($L/2$) con una velocidad constante, midiendo la deflexión y el ángulo. Debido a que la probeta tiene una forma tubular cuadrada se parte de la ecuación del esfuerzo máximo para flexión y se toma en cuenta la fórmula de la inercia para este tipo de perfil:

$$\sigma_{max} = \frac{M \cdot y}{I}$$

Dónde;

σ_{max} = Esfuerzo máximo a la flexión (MPa)

M = Momento flector (N)

y = Distancia desde el eje neutro (mm)

I = Inercia (mm^3)

Momento flector:

La carga es puntual y se sitúa en el centro de la viga, de modo que el momento flector está dado por:

$$M = \frac{P \cdot L}{4}$$

Dónde;

P = Carga aplicada en el centro longitudinal de la probeta (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

Inercia para una sección tubular cuadrada:

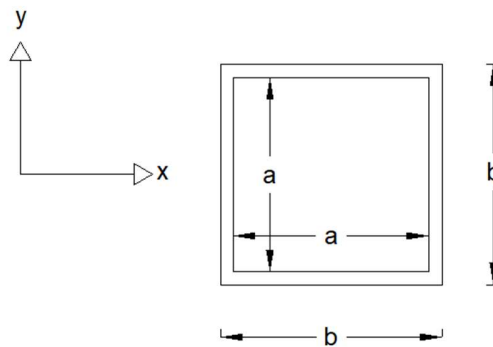


Figura 17-3: Sección transversal de la probeta
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

$$I_{xx} = \frac{b^4 - a^4}{12}$$

Distancia desde el eje neutro:

$$c = \frac{b}{2}$$

De modo que la fórmula para el cálculo del esfuerzo máximo a la flexión es:

$$\sigma_{max} = \frac{3PbL}{2(b^4 - a^4)}$$

Módulo de flexión

Para el cálculo del módulo de flexión se requiere del valor de la deflexión de la probeta, la cual se obtiene midiendo los ángulos que la probeta se dobla mientras se aplica la carga durante el ensayo, para ello se usó un inclinómetro digital. Además, se usó un extensómetro para medir la deformación. Para obtener el módulo de flexión se aplica la siguiente fórmula:

$$E_f = \frac{P \cdot L^3}{48 I \cdot \delta}$$

Dónde;

E_f = Módulo de ruptura a la flexión

P = Carga aplicada en el centro longitudinal de la probeta (N)

L = Longitud entre apoyos (mm)

I = Inercia (mm⁴)

δ = Deflexión (mm)

Reemplazando la fórmula de la inercia para una sección cuadrada, se tiene:

$$E_f = \frac{P \cdot L^3}{4 \cdot \delta (b^4 - a^4)}$$

Flecha teórica

Para el cálculo de la flecha teórica se usa el método de la doble integración:

$$E \cdot I \cdot y'' = M_f$$

Dónde;

E = Módulo de flexión (MPa)

I = Inercia (mm⁴)

y = Flecha (mm)

M_f = Momento flector (N.mm)

Se plantea la ecuación del momento flector en función de la distancia (x) al punto A (apoyo):

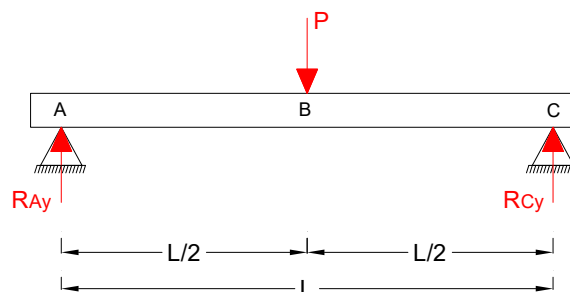


Figura 18-3: Esquema de fuerzas en el ensayo de flexión 3 puntos.
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

Se aplica sumatoria de fuerzas y sumatoria de momentos, de donde se obtiene:

$$R_{Ay} = R_{Cy} = \frac{P}{2}$$

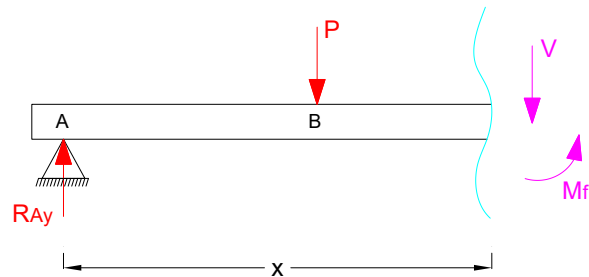


Figura 19-3: Corte para cálculo del momento flector
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

Se calcula el momento flector:

$$M_f = R_{Ay} \cdot x - P \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)$$

$$M_f = \frac{P}{2} \cdot x - P \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)$$

Se reemplaza la expresión obtenida en la ecuación de la doble integración:

$$E \cdot I \cdot y'' = \frac{P}{2} \cdot x - P \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)$$

Primera integración:

$$E \cdot I \cdot y' = \frac{P}{4} \cdot x^2 - \frac{P}{2} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)^2 + C_1$$

Segunda integración:

$$E \cdot I \cdot y = \frac{P}{12} \cdot x^3 - \frac{P}{6} \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right)^3 + C_1 \cdot x + C_2$$

Tomando en cuenta las condiciones de contorno, se hallan los valores de las constantes de integración:

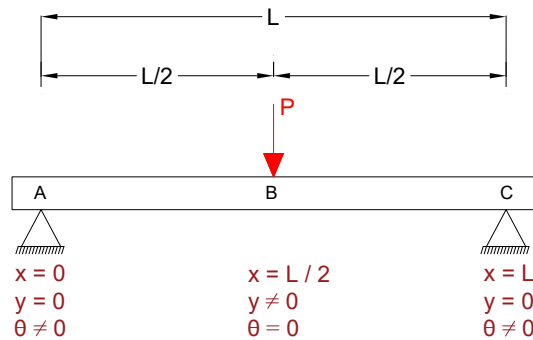


Figura 20-3: Condiciones de frontera, ensayo flexión 3 puntos
 Realizado por: Guijarro, Graciela. 2020.

$$x = 0 \quad y = 0 \quad \rightarrow \quad C_2 = 0$$

$$x = L \quad y = 0 \quad \rightarrow \quad C_1 = -\frac{P \cdot L^2}{16}$$

Se determina la ecuación de la flecha, su primera y segunda derivadas:

$$y = \frac{-P \cdot (4x^3 - 12x^2L + 9xL^2 - L^3)}{48 \cdot E \cdot I}$$

$$y' = \frac{-P \cdot (4x^2 - 8xL + 3L^2)}{16 \cdot E \cdot I}$$

$$y'' = \frac{P \cdot (L - x)}{2 \cdot E \cdot I}$$

Se plantea la ecuación del radio de curvatura, en función de las derivadas de la flecha, para un valor de $x = L/2$:

$$k = \frac{1}{R} = \frac{y''}{[1 + (y')^2]^{3/2}}$$

$$R = \frac{[1 + (y')^2]^{3/2}}{y''}$$

Siendo;

k = Curvatura (1/mm)

R = Radio de curvatura (mm)

y' = Primera derivada de la flecha

y'' = Segunda derivada de la flecha

Deformación, tensión y radio de curvatura

Partiendo de que la deformación es la relación entre la variación de la longitud y la longitud inicial, se plantea:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

Se deduce la relación en base a la geometría que presenta el elemento al ser sometido a flexión:

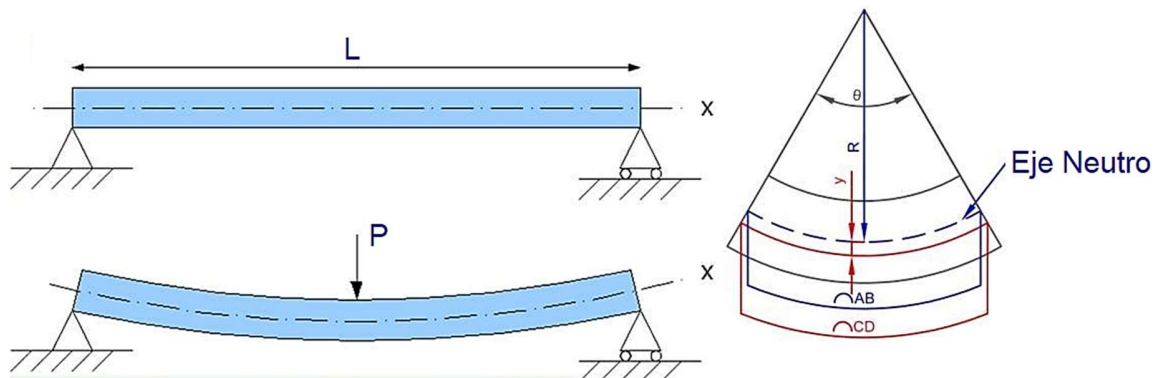


Figura 21-3: Radio de curvatura, ensayo flexión 3 puntos

Fuente: www.eurocoded.com

Siendo: $\widehat{AB} = R \cdot \theta$

$$\widehat{CD} = (R + y) \cdot \theta$$

$$L = \widehat{AB}$$

$$\Delta L = \widehat{CD} - \widehat{AB}$$

$$\varepsilon = \frac{CD - AB}{AB}$$

$$\varepsilon = \frac{(R + y) \cdot \theta - R \cdot \theta}{R \cdot \theta}$$

Se obtiene que la deformación es igual a la razón entre la flecha y el radio de curvatura:

$$\varepsilon = \frac{y}{R}$$

Además, se determina la relación entre deformación, tensión y radio de curvatura:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

$$E = \frac{\sigma}{\frac{y}{R}}$$

$$\frac{E}{R} = \frac{\sigma}{y}$$

3.8. Resultados de las pruebas de Tracción y Flexión

Para referencias durante el análisis se denomina de la siguiente manera a las probetas del material compuesto:

- P7030DA: Material compuesto: 70% poliéster – 30% fibra de abacá
Configuración del refuerzo: Discontinua al Azar
Tamaño: 10mm
- P7030CL: Material compuesto: 70% poliéster – 30% fibra de abacá
Configuración del refuerzo: Continua Longitudinal
Tamaño: longitud de la probeta

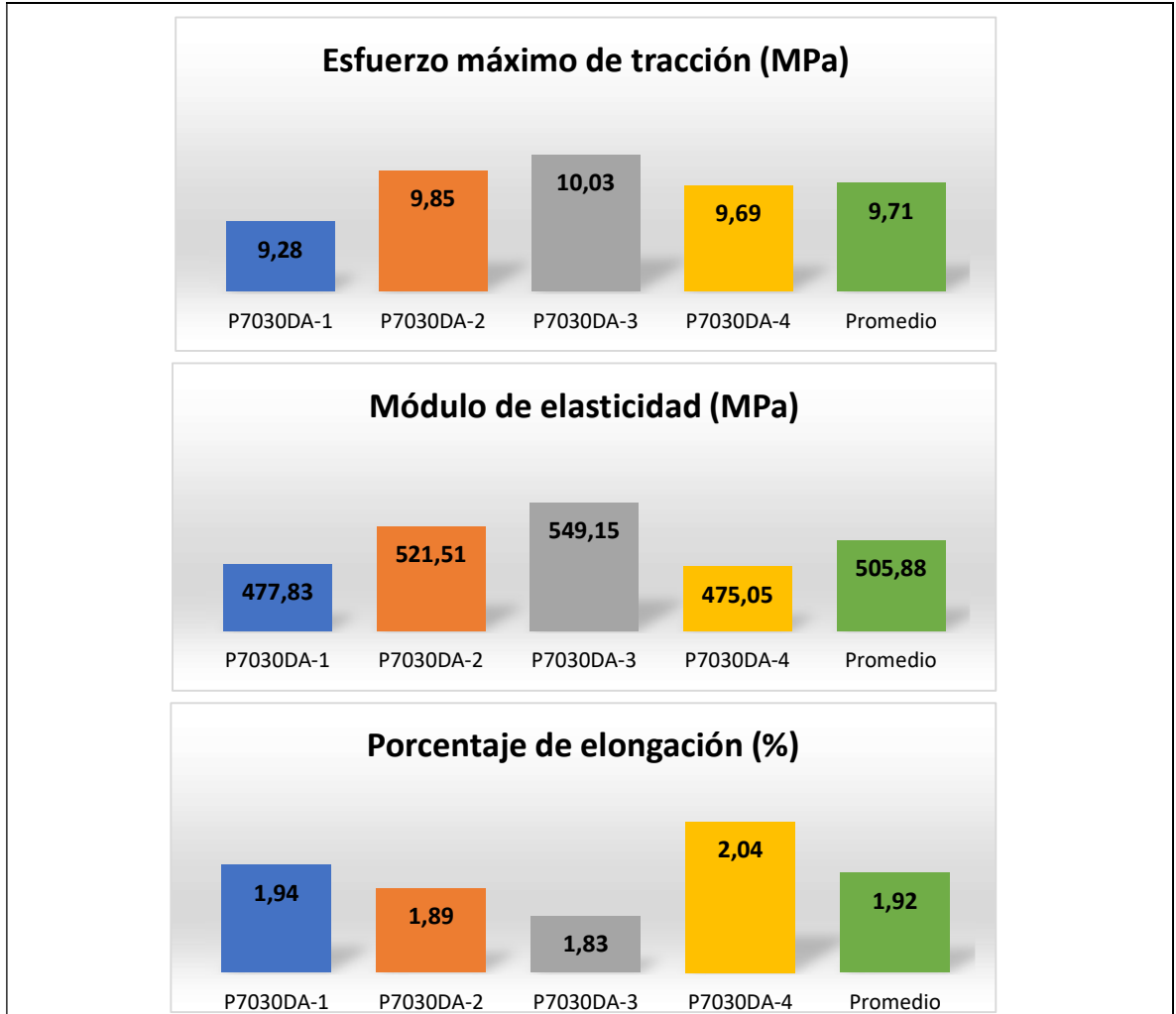
3.8.1. Recolección de datos

3.8.1.1. Resultados de las pruebas de tracción

En base a las especificaciones de la NORMA ASTM D3039-00 se realiza la tabulación de los resultados obtenidos de las pruebas de tracción de las probetas de material compuesto poliéster-abacá.

Tabla 9-3: Ficha técnica de ensayo de tracción del material compuesto poliéster-abacá con fibra discontinua al azar.

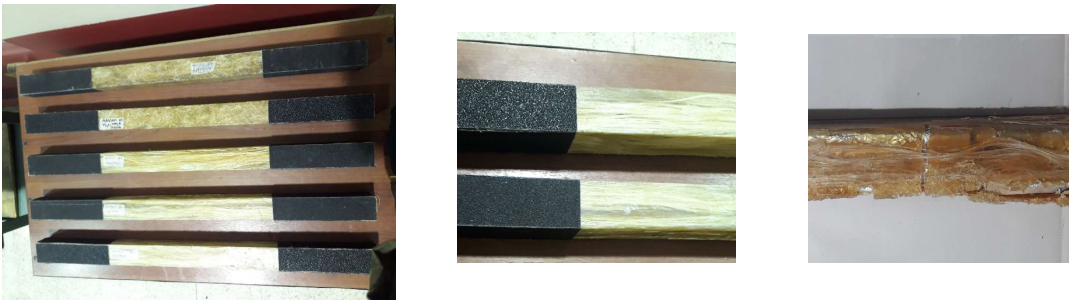
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA TÉCNICA PARA ENSAYO A TRACCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ					
Norma base:	ASTM D3039-00	Porcentaje por volumen de la matriz:	70		
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen	Porcentaje por volumen del refuerzo:	30		
Laboratorio:	Resistencia de Materiales	Dimensiones de la sección transversal:	50 x 50 x 3 mm		
Matriz:	Poliéster	Espesor promedio:	3,75 mm		
Refuerzo:	Abacá	Configuración del refuerzo:	Discontinua al Azar		
Imágenes de las probetas					
					
Resultados del ensayo					
Nº. Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de Falla
P7030DA-1	6170,96	9,28	477,83	1,94	LGM
P7030DA-2	6414,56	9,85	521,51	1,89	LGM
P7030DA-3	6532,09	10,03	549,15	1,83	LAT
P7030DA-4	6307,42	9,69	475,05	2,04	LAT
Promedio	6356,26	9,71	505,88	1,92	
Gráficas de los resultados					

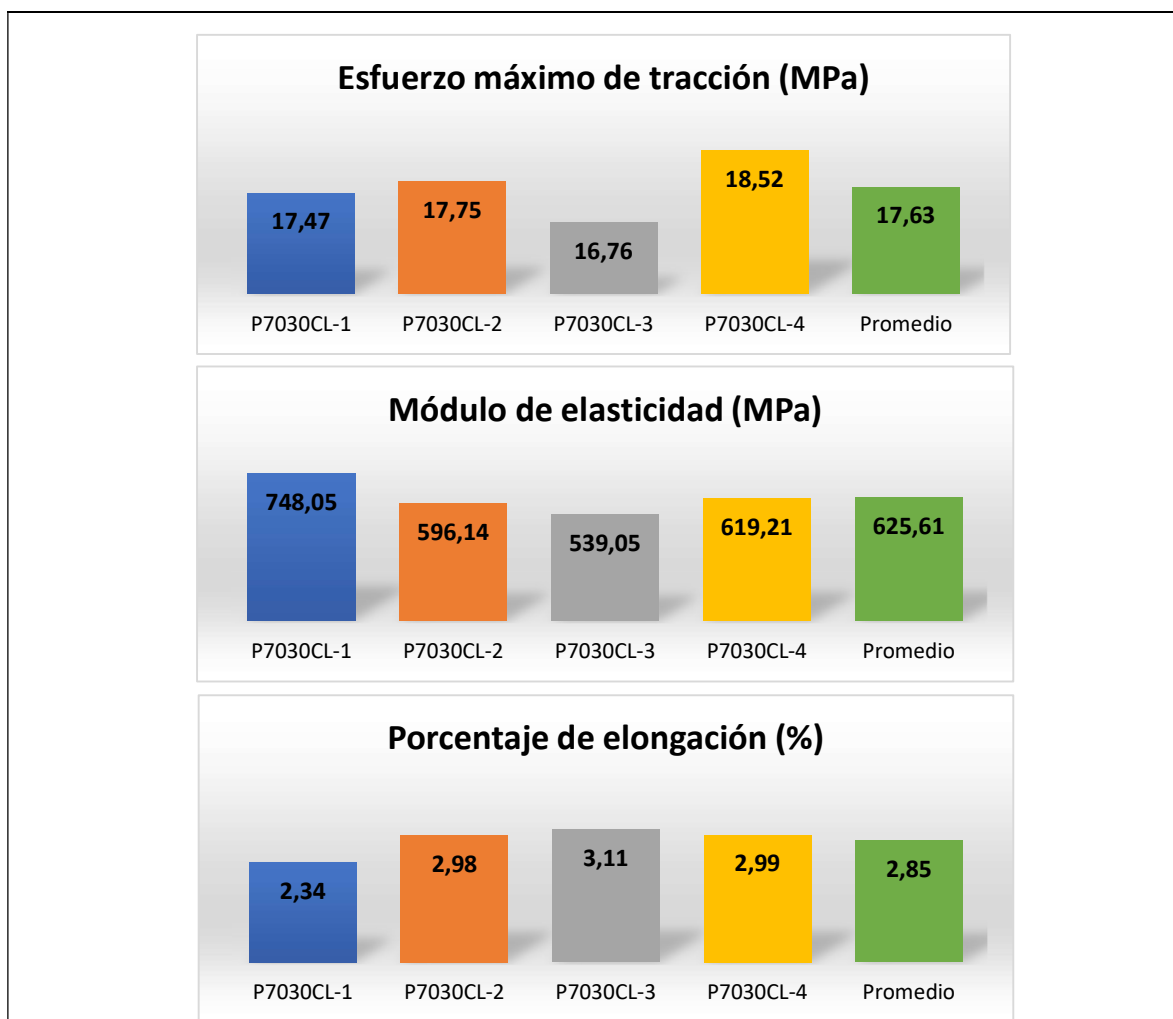


Observaciones		Evaluaciones	
Tipos de falla: - LGM: Fallo lateral en el área de calibración de la probeta. - LAT: Fallo lateral en la mordaza y parte superior de la probeta.		- Esfuerzo máximo de tracción promedio: 9,71 MPa - Módulo de elasticidad promedio: 505,88 Mpa - Porcentaje de elongación promedio: 1,92	
Elaborado:	Ing. Graciela Guijarro Paguay		
Revisado:	Mgs. Santiago López Ortiz		

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Tabla 10-3: Ficha técnica de ensayo de tracción del material compuesto poliéster-abacá con fibra continua longitudinal.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA TÉCNICA PARA ENSAYO A TRACCIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ					
Norma base:	ASTM D3039-00	Porcentaje por volumen de la matriz:	70		
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen	Porcentaje por volumen del refuerzo:	30		
Laboratorio:	Resistencia de Materiales	Dimensiones de la sección transversal:	50 x 50 x 3 mm		
Matriz:	Poliéster	Espesor promedio:	3,8 mm		
Refuerzo:	Abacá	Configuración del refuerzo:	Continua Longitudinal		
Imágenes de las probetas					
					
Resultados del ensayo					
Nº. Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Porcentaje de elongación (%)	Tipo de Falla
P7030CL-1	11619,18	17,47	748,05	2,34	LMV
P7030CL-2	13030,88	17,75	596,14	2,98	LMV
P7030CL-3	12401,82	16,76	539,05	3,11	LMV
P7030CL-4	13634,19	18,52	619,21	2,99	LMV
Promedio	12671,52	17,63	625,61	2,85	
Graficas de los resultados					



Observaciones		Evaluaciones	
Tipos de falla: - LMV: Fallo lateral en múltiples áreas de la probeta.		- Esfuerzo máximo de tracción promedio: 17,63 MPa - Módulo de elasticidad promedio: 625,61 MPa - Porcentaje de elongación promedio: 2,85	
Elaborado:	Ing. Graciela Guijarro Paguay		
Revisado:	Mgs. Santiago López Ortiz		

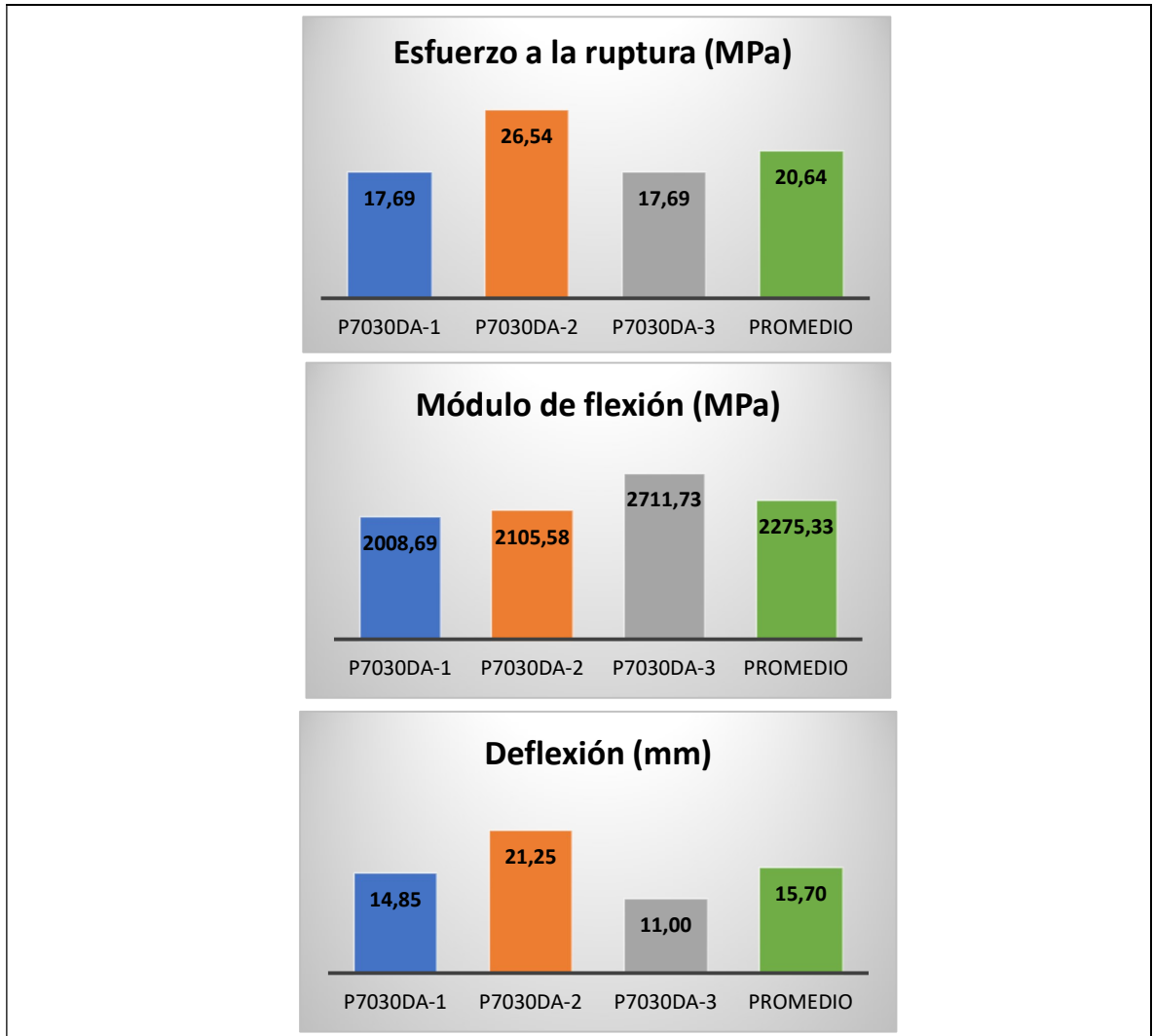
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

3.8.1.2. Resultados de las pruebas de flexión

En base a las especificaciones de la NORMA ASTM D7264-07 se realiza la tabulación de los resultados obtenidos de las pruebas de flexión de las probetas de material compuesto poliéster-abacá.

Tabla 11-3: Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto poliéster-abacá con fibra discontinua al azar.


ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA TÉCNICA PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ					
Norma base:	ASTM D7264-07	Porcentaje por volumen de la matriz:	70		
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen	Porcentaje por volumen del refuerzo:	30		
Laboratorio:	Resistencia de Materiales	Dimensiones de la sección transversal:	50 x 50 x 3 mm		
Matriz:	Poliéster	Espesor promedio:	3,7 mm		
Refuerzo:	Abacá	Configuración del refuerzo:	Discontinua al Azar		
Imágenes de las probetas					
					
Resultados del ensayo					
Nº. Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
P7030DA-1	980,67	17,69	2008,69	14,85	OLB
P7030DA-2	1471,01	26,54	2105,58	21,25	OLB
P7030DA-3	980,67	17,69	2711,73	11,00	OLB
Promedio	1144,12	20,64	2275,33	15,70	
Gráficas de los resultados					

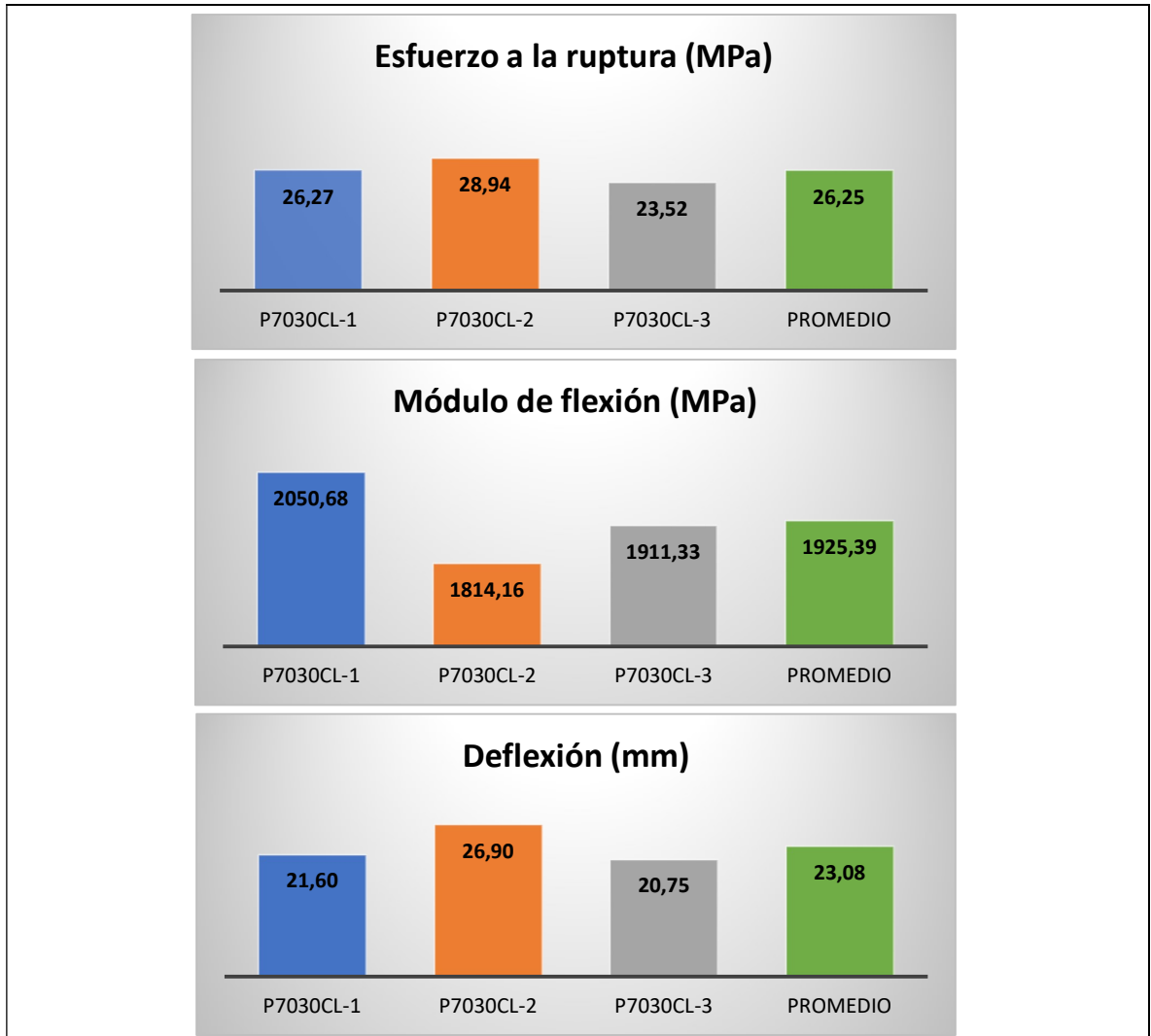


Observaciones		Evaluaciones
Tipos de falla: - OLB: El área de falla está entre la carga y el punto de apoyo y se localiza en el fondo de la probeta.		- Esfuerzo a la ruptura promedio: 20,64 MPa - Módulo de flexión promedio: 2275,33 MPa - Deflexión promedio: 15,7 mm
Elaborado:	Ing. Graciela Guijarro Paguay	
Revisado:	Mgs. Santiago López Ortiz	

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Tabla 12-3: Ficha técnica de ensayo a flexión del material compuesto poliéster-abacá con fibra continua longitudinal.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA TÉCNICA PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER Y REFUERZO DE FIBRA DE ABACÁ					
Norma base:	ASTM D7264-07	Porcentaje por volumen de la matriz:	70		
Máquina:	Máquina Universal Tinius Olsen	Porcentaje por volumen del refuerzo:	30		
Laboratorio:	Resistencia de Materiales	Dimensiones de la sección transversal:	50 x 50 x 3 mm		
Matriz:	Poliéster	Espesor promedio:	3,8 mm		
Refuerzo:	Abacá	Configuración del refuerzo:	Continua Longitudinal		
Imágenes de las probetas					
					
Resultados del ensayo					
Nº. Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo a la ruptura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de Falla
P7030CL-1	1486,50	26,27	2050,68	21,60	---
P7030CL-2	1637,72	28,94	1814,16	26,90	---
P7030CL-3	1330,97	23,52	1911,33	20,75	---
Promedio	1485,06	26,25	1925,39	23,08	
Graficas de los resultados					



Observaciones	Evaluaciones
	- Esfuerzo a la ruptura promedio: 26,25 MPa - Módulo de flexión promedio: 1925,39 MPa - Deflexión promedio: 23,08 mm
Elaborado:	Ing. Graciela Guijarro Paguay
Revisado:	Mgs. Santiago López Ortiz

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

CAPÍTULO IV

4. SIMULACIÓN NUMÉRICA DE LA PRUEBA DE IMPACTO EN UN AUTOBUS SEGÚN NORMA UNECE R-29

En el presente capítulo se aplica un procedimiento específico para conseguir el modelo computacional que permita evaluar la seguridad del conductor mediante una prueba de impacto en un modelo de autobús interprovincial y considerando las recomendaciones propuestas en la norma internacional UNECE R-29.

4.1. Pasos para la obtención del modelo computacional.

A continuación, se muestra el diagrama del proceso aplicado para la obtención del modelo computacional, para evaluar la influencia del material compuesto en la seguridad del conductor de un autobús:

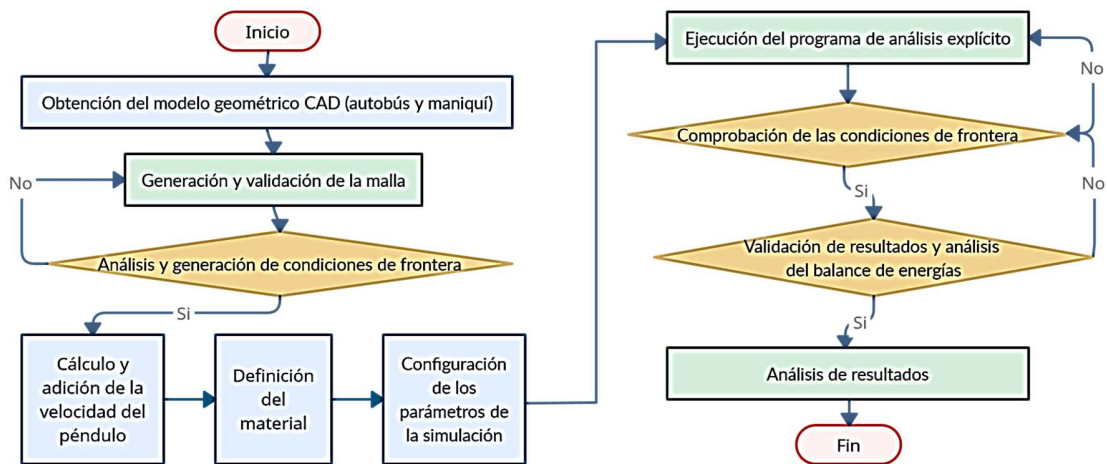


Figura 1-4: Proceso para la obtención del modelo computacional
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

4.1.1. Modelo CAD del autobús

En cuanto a los tipos de modelos de autobuses fabricados nacionalmente, se conoce que están diseñados para propósitos distintos, entre ellos, se conoce que el modelo para viajes de largas distancias es el más propenso a sufrir accidentes con mayor afectación al conductor, resultando en

graves lesiones o incluso la muerte. Por esta razón se asume como modelo base para la generación del modelo computacional todas las propiedades y características de este autobús. El modelo CAD fue proporcionado por el Grupo de Diseño y Producción (GDP) de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Las medidas se principales se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 1-4: Dimensiones del modelo de autobús

Detalle	Medida	Unidad
Distancia entre ejes	5800	mm
Ancho total	2600	mm
Altura total	3700	mm
Voladizo delantero	2350	mm
Voladizo posterior	3390	mm

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Este modelo CAD fue obtenido en base a las dimensiones de un autobús interprovincial, a pesar que el vehículo está compuesto de una gran cantidad de piezas, muchas de ellas no cumplen funciones de resistencia estructural o aportan seguridad a un impacto frontal, por ello solo se modelan los sistemas principales tales como: la carrocería o superestructura, chasis, sistema de dirección, las ruedas, el piso de la cabina, el asiento del conductor y el conductor. Estos componentes están modelados con superficies y líneas tal como se observa en la siguiente figura.

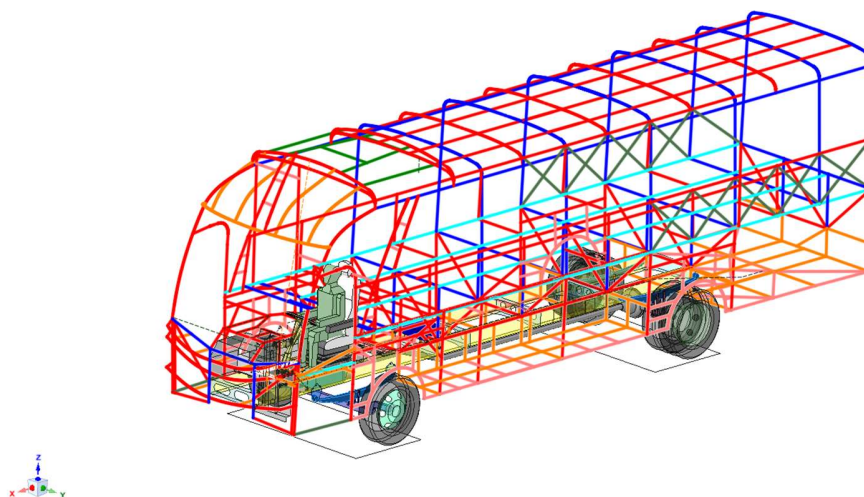


Figura 2-4: Modelo CAD de la estructura del autobus
Fuente: GDP-FM-ESPOCH

4.1.2. Modelo computacional para simulación de impacto

Con el objetivo de investigar el comportamiento de la estructura del autobús, en base al reglamento UNECE R 29, se utiliza un modelo tridimensional que permita determinar la resistencia del mismo y de ser el caso, las modificaciones necesarias para el cumplimiento de dicho reglamento. El modelo tridimensional se compone de tres partes principales:

- La estructura del autobús
- El maniquí de prueba
- El péndulo de impacto

En las siguientes condiciones:

- Ubicar el péndulo de manera que la distancia entre su centro de gravedad (H) y el centro de gravedad del maniquí (R) sea de $50 \pm 5\text{mm}$.
- El péndulo se ubica en forma vertical y su cara de impacto estará en contacto con la parte más saliente del autobús.

En la siguiente figura se muestra el esquema de montaje:

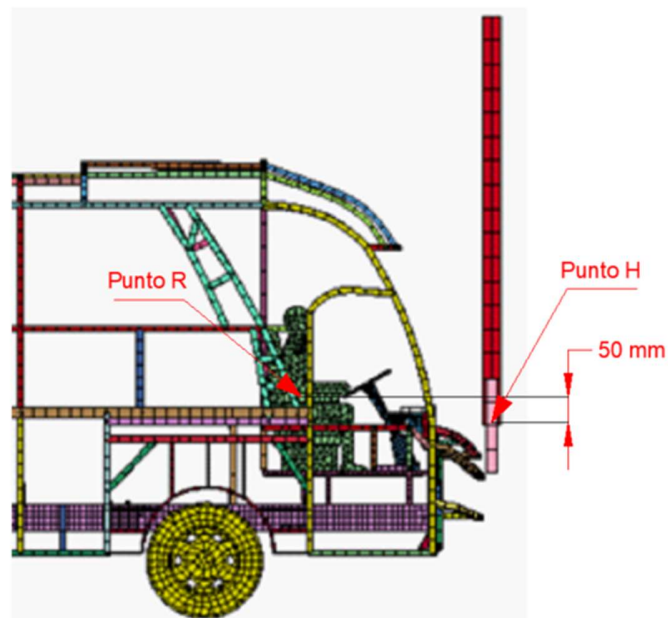


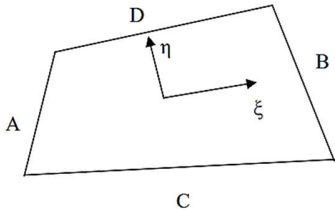
Figura 3-4: Esquema de montaje para simulación de impacto (UNECE R29)
Fuente: GDP-FM-ESPOCH

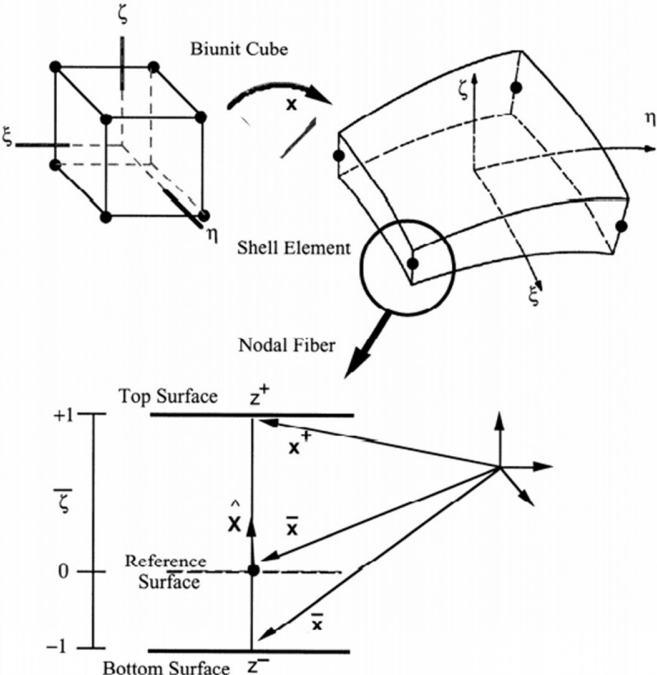
4.1.3. Preparación de la geometría

Se realiza la preparación y corrección del modelo mediante el software utilizado en la generación de la geometría, la cual está formada por elementos tipo BEAM (sólidos) y tipo SHELL (casarón), siendo el tipo SHELL el que predomina. Los elementos tipo BEAM consisten en vigas tubulares de sección rectangular hueca, al usar este tipo de elementos se logra reducir la complejidad del cálculo y en consecuencia el tiempo y los recursos necesarios para su ejecución. Mientras que los elementos tipo SHELL se aplican a partes de la estructura donde la geometría es más compleja o se requiere de resultados más precisos, en este caso principalmente son: las ruedas, el chasis, el sistema de dirección, placas de sujeción, el asiento y el maniquí.

El detalle de estos componentes se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2-4: Características del elemento finito solido

Característica	Descripción
Elemento Shell	
Formulación	<p>ELFORM 16 (completamente integrado)</p> <p>Presenta dos de sus dimensiones muy superiores a la tercera, la dimensión reducida es el espesor. Con posible comportamiento axial y cortante en el plano, de flexión en dos planos y torsión. Los esfuerzos se dan por unidad de longitud, siendo el tipo lámina el que puede soportar los esfuerzos mencionados. Con sólo 3 puntos de integración se utiliza para elementos de caparazón.</p> <p>Utiliza un sistema de coordenadas de elementos locales que gira con el material para tener en cuenta el movimiento del cuerpo rígido. El sistema de coordenadas del elemento local es similar al utilizado para el elemento Belytschko-Tsay, donde los dos primeros vectores base son tangentes a la superficie media del caparazón en el centro del elemento, y el tercer vector base está en la dirección normal a esta superficie, e inicialmente coincidente con los vectores de fibra.</p>

<p>Elemento Beam</p>	
<p>Formulación</p>	<p style="text-align: center;">ELFORM 1 (Hughes-Liu)</p> <p>Es un elemento lineal con posible comportamiento de flexión y torsión cuando está definido en el espacio 3D. La distribución tensional no es constante a lo largo de la sección. Las cargas y desplazamientos pueden darse tanto en dirección longitudinal como en dirección transversal, dando lugar a tensiones normales y tangenciales a la sección.</p> <p>El elemento de viga Hughes-Liu se basa en la degeneración del elemento solido isoparamétrico de 8 nodos. Esta capacidad es útil en varias situaciones prácticas que involucran superficies de contacto, conexión de elementos de vigas a elementos sólidos y elementos de compensación, como refuerzos en vigas.</p>

Realizado por: Autor

Fuentes: LS-DYNA Theory Manual, 2006, (Delgado, 2016)

4.1.4. Mallado

El modelo está mallado con 4323 elementos lineales tipo “BEAM” que conforman toda la carrocería del autobús y 14412 elementos 2-D tipo “SHELL” que conforman el resto de componentes del modelo incluyendo el péndulo impactador tal como se observa en la imagen siguiente. Además, se realizó el control de malla con el fin de verificar que los elementos finitos cumplan con criterios muy utilizados como es el caso de Aspect Ratio, para lo cual se evalúa la razón entre el lado más corto y el lado más largo de los elementos, que debe acercarse o ser igual a 1 para garantizar los mejores resultados. Visualmente se traduce en una homogeneidad de color.

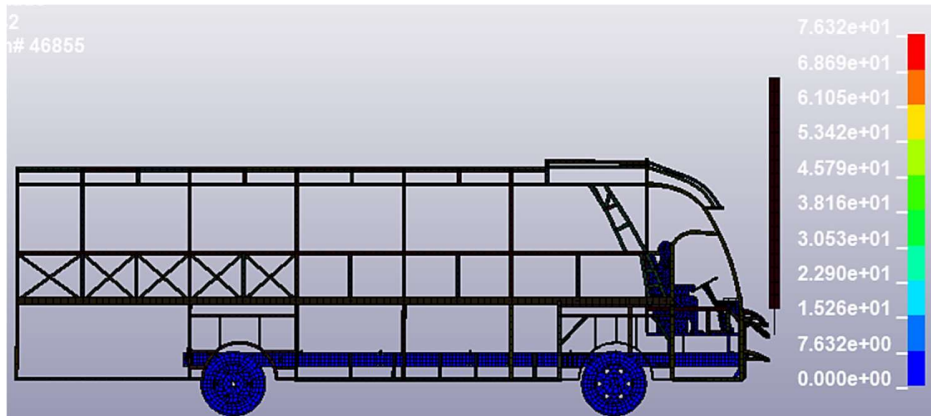


Figura 4-4: Mallado para simulación de impacto
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Para la comprobación del modelo, se utiliza los resultados del control de calidad de mallado, que se muestra en la imagen a continuación. Se observa que 57 de los elementos no cumplen con el criterio de Aspect Ratio, lo cual representa un pequeño porcentaje de 0.396%, indicando que la calidad del mallado es alta.

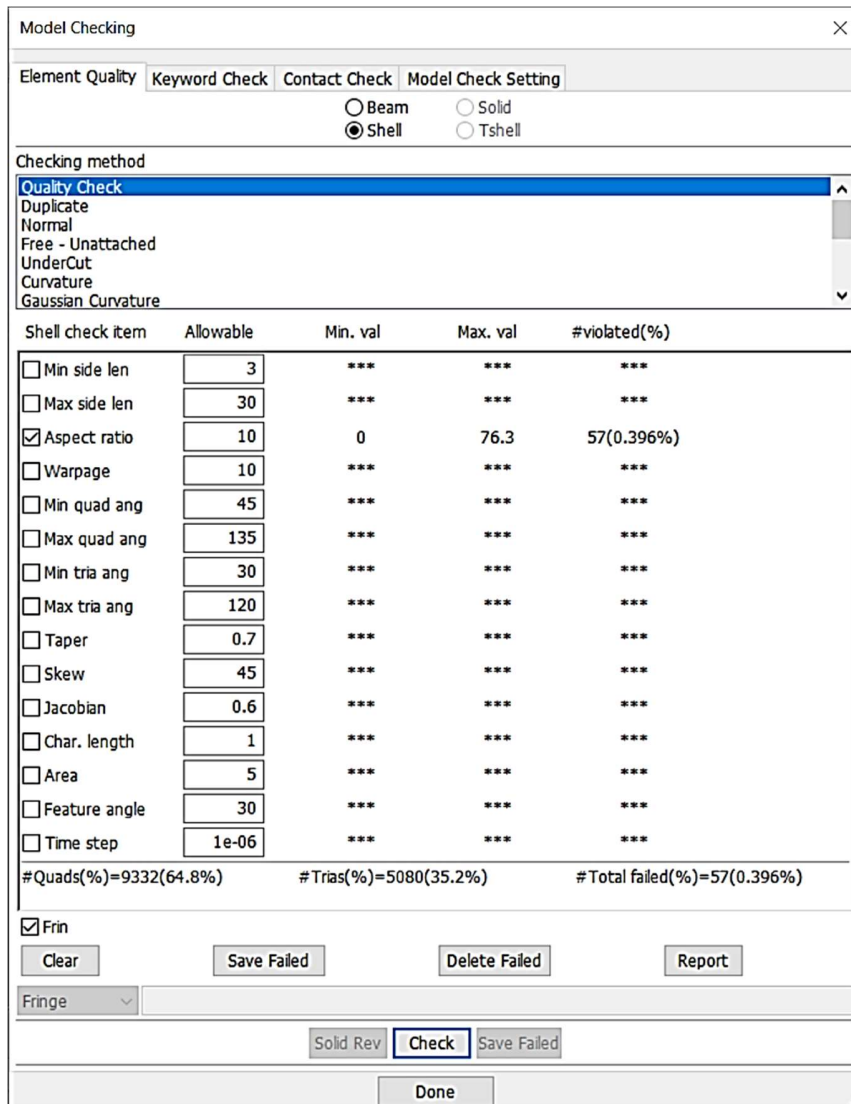


Figura 5-4: Control de calidad de mallado por Aspect Ratio
 Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

4.1.5. Asignación del material

En la fabricación de carrocerías es ampliamente utilizado el acero estructural de designación ASTM A 500, cuyas características de comportamiento y resistencia mecánica se muestran en la siguiente gráfica. Estos valores han sido obtenidos en trabajos similares que utilizan la simulación numérica para estudios de resistencia al vuelco o choques (Arroba, 2013).

A continuación, se muestra la gráfica esfuerzo - deformación unitaria del material.



Figura 6-4: Diagrama Esfuerzo - Deformación del Acero ASTM A500
Fuente: (López S. , 2016)

La mayoría de los materiales existentes en el programa solicitan datos de: densidad, módulo elástico y el módulo de Poisson, así como una curva de carga, lo cual define su comportamiento en variables como esfuerzo de fluencia y deformación plástica. (Gutierrez, 2007) En la siguiente tabla se indica otras propiedades necesarias para establecer el modelo del material elasto-plástico que en el software se designa como Material 003, cuyo propósito es:

Este es el tipo de material 3. Este modelo es adecuado para modelar la plasticidad de endurecimiento cinemático e isotrópico con la opción de incluir efectos de velocidad. Es un modelo muy rentable y está disponible para vigas (Hughes-Liu), concha y elementos sólidos. (ANSYS, 2019)

Tabla 3-4: Características del material asignado al modelo discreto

Característica	Valor / Unidad
Densidad de masa	7850 kg/m ³
Módulo de Young	250 MPa
Modulo Cortante	280 MPa
Radio de Poisson	0.3

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

4.1.6. Asignación de condiciones de contorno y condiciones iniciales

En el Anexo 3 – Apéndice 1, de la norma UNECE R29 se encuentran las instrucciones para fijar los vehículos al banco de pruebas, donde se indica que es recomendable fijar la estructura del autobús por medio del uso de cadenas o cuerdas para descartar los desplazamientos longitudinales del chasis. Así mismo, respecto a los desplazamientos verticales, se considera utilizar bloques de madera debajo del chasis. En el programa se usan sujeciones fijas para evitar estos desplazamientos.

En el Apéndice 2 de la misma sección de la norma, se hallan las indicaciones respecto al maniquí que debe utilizarse para verificar el espacio de supervivencia. La ubicación del maniquí, debido a que el asiento tiene un recorrido longitudinal ajustable, se coloca en una posición media. En la siguiente figura se muestran las dimensiones C_1 , C_2 y C_3 , que se toman en cuenta en el espacio de supervivencia:

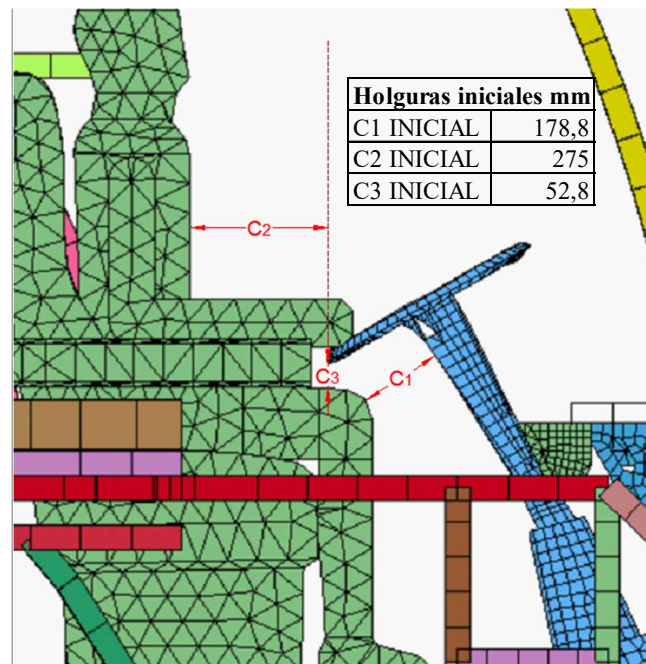


Figura 7-4: Montaje de maniquí para simulación
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

En la simulación se busca recrear el evento en condiciones cercanas a la realidad, para evaluar las implicaciones que el impacto tendrá en la seguridad del conductor del autobús se analiza la interacción de los componentes y el contacto entre las superficies, donde se considera un coeficiente de fricción nulo, con el objetivo de simplificar el problema y así disminuir el tiempo y costo del proceso computacional.

4.1.7. Velocidad inicial del péndulo

En el cálculo de la velocidad del péndulo se toma como punto de partida el valor de la energía cinética que produce el impactador, que para el caso del autobús interprovincial es de 55 KJ según la norma UNECE R 29. Se aplica la fórmula de energía de impacto que toma en cuenta la inercia y la velocidad angular:

$$E = \frac{1}{2} I_{xx} \cdot \omega^2$$

Dónde;

E = Energía de impacto

I_{xx} = Momento de inercia respecto al eje x , eje de rotación

ω = Velocidad angular

De esta fórmula se despeja la velocidad angular, para su posterior cálculo:

$$\omega = \sqrt{\frac{2E}{I_{xx}}}$$

Se utiliza el Teorema de Steiner para calcular el momento de inercia del péndulo respecto al eje de rotación, cuya ecuación es:

$$I_{xx} = I_{xC} + m \cdot L^2$$

Dónde;

I_{xC} = Momento de inercia respecto al centro de gravedad del péndulo

m = Masa del péndulo

L = Longitud: centro de gravedad del péndulo – centro de rotación

Se procede al cálculo del momento de inercia con los siguientes datos:

$$I_{xC} = 117,65 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

$$m = 2509 \text{ kg}$$

$$L = 3,48 \text{ m}$$

$$I_{xx} = 117,65 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2 + (2506 \text{ Kg})(3,48 \text{ m})^2$$

$$I_{xx} = 30502,64 \text{ Kg} \cdot \text{m}^2$$

Se calcula la velocidad angular:

$$\omega = \sqrt{\frac{2(55\,000\text{ J})}{30502,64\text{ Kg}\cdot\text{m}^2}}$$

$$\omega = 1,9\text{ rad/s}$$

4.1.8. Configuración de la simulación

El análisis se realiza considerando un tiempo de duración del choque de 0,24 s, desde que el péndulo choca la carrocería del autobús hasta el momento en que retorna a su posición inicial, siendo un tiempo suficiente para estudiar el comportamiento del vehículo y el criterio de seguridad del conductor. En este lapso de tiempo se observa el desplazamiento y esfuerzos a los que están expuestos los componentes de la estructura, como resultado de su deformación y fallo.

4.1.9. Resultados de la simulación de impacto

Como resultado de la simulación de impacto se determinan las deformaciones por las que pasa la carrocería durante y después del choque, observando que el volante ingresa en la zona de supervivencia del autobús, por lo que no se cumple con el reglamento especificado UNECE R 29.

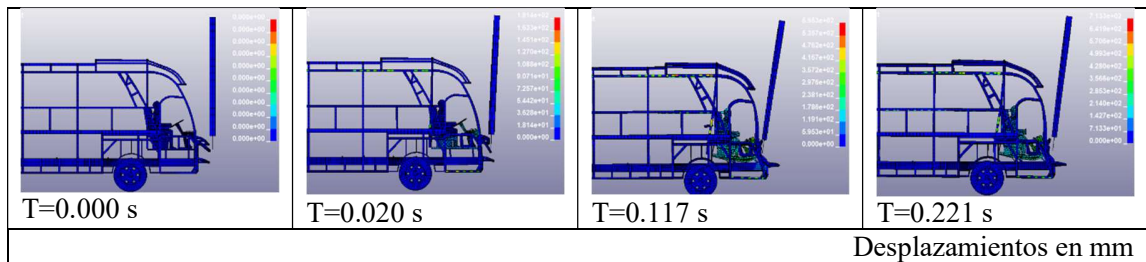


Figura 8-4: Desplazamientos de los elementos de la carrocería durante la simulación

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Se obtiene también los esfuerzos que se generan en los distintos elementos de la estructura del autobús, distinguiendo aquellos que están en situaciones críticas, con lo cual se determina los que sufren mayor afectación con el fin de ser estudiados.

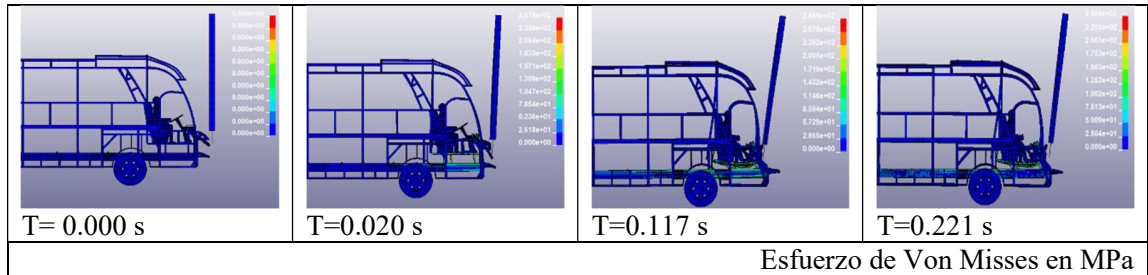


Figura 9-4: Esfuerzos generados en la carrocería durante la simulación

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Durante la simulación de impacto frontal que se realizó con los materiales reales con que se fabrica la estructura del autobús, se observa que existen elementos que absorben más energía y están sometidos a mayores esfuerzos, por lo tanto, sufren mayores deformaciones. Considerando esto se toman estos elementos como base del análisis, observando su configuración y dimensiones, los cuales se indican en la siguiente figura.

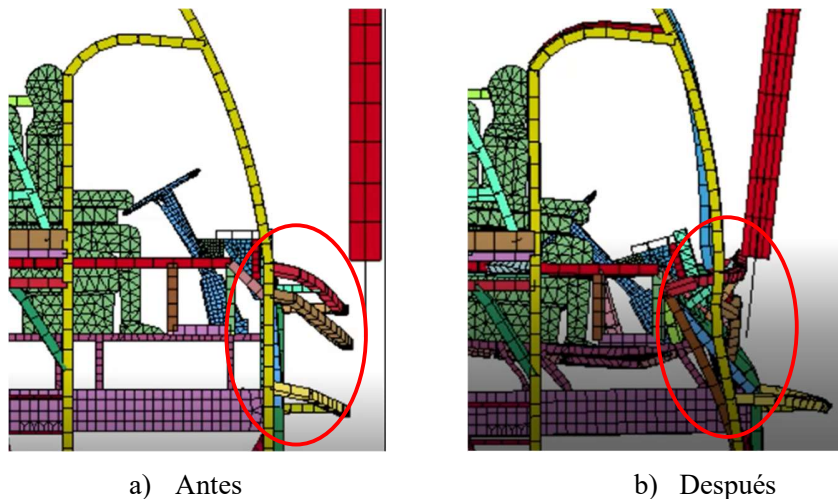


Figura 10-4: Elementos estructurales con mayor deformación en la sección frontal del autobús

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Los elementos seleccionados para el analizar son perfiles estructurales de sección cuadrada que están orientadas en forma perpendicular al impactador, para continuar con el análisis se procede a cambiar el material de Acero ASTM A500 Grado B al material compuesto abacá poliéster en sus dos configuraciones, con el propósito de mejorar la capacidad de absorción de energía de la estructura y conseguir que cumpla con la normativa.

4.2. Análisis de la influencia del material compuesto en la seguridad del conductor del autobús

4.2.1. Características del modelo de material compuesto con fibra de abacá

Como parte de la modelación del material, se obtienen las curvas Tensión vs Deformación y Momento flector vs Curvatura, en base a los datos obtenidos en los ensayos destructivos de tracción y flexión. Estas curvas junto con los datos de Densidad y Módulo de elasticidad marcan el comportamiento del material compuesto durante la simulación. A continuación, se muestran las gráficas:

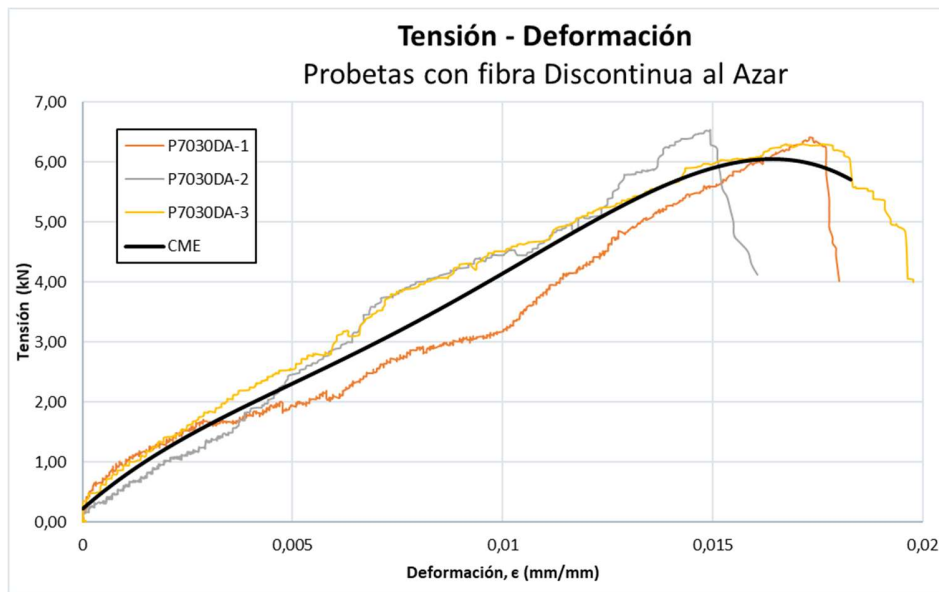


Figura 11-4: Curva Tensión – Deformación del material compuesto con fibra discontinua al azar
Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

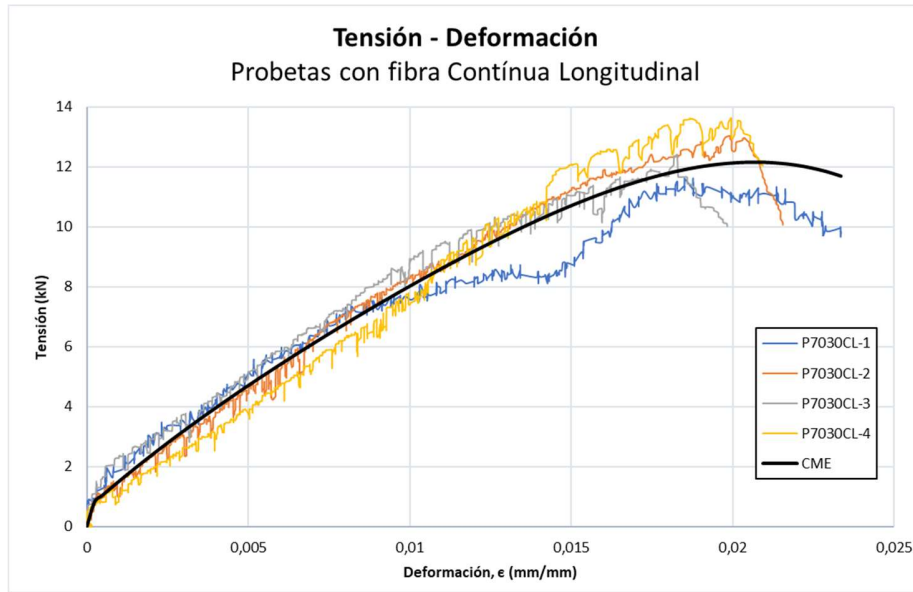


Figura 12-4: Curva Tensión – Deformación del material compuesto con fibra continua longitudinal
 Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

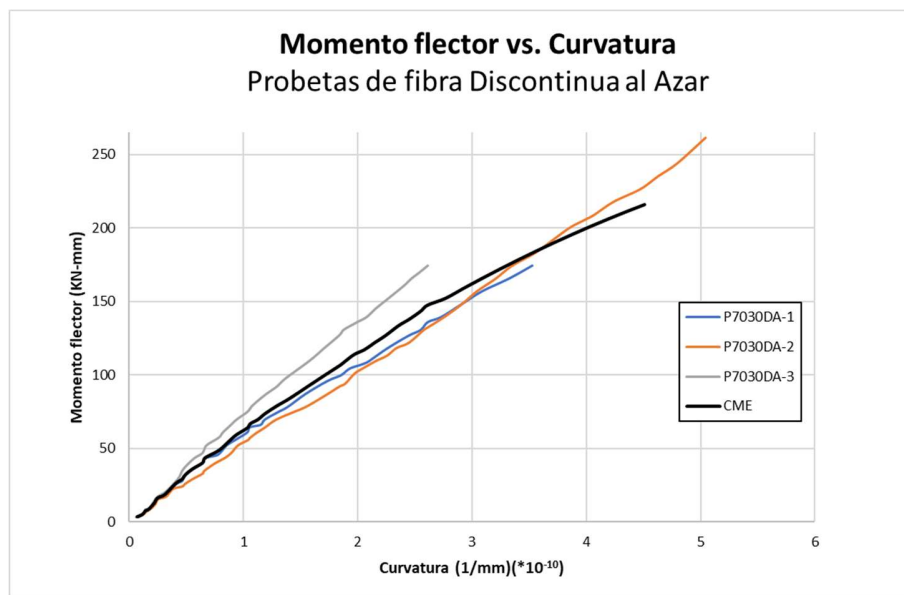


Figura 13-4: Curva Momento flector – Curvatura del material compuesto con fibra discontinua al azar
 Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

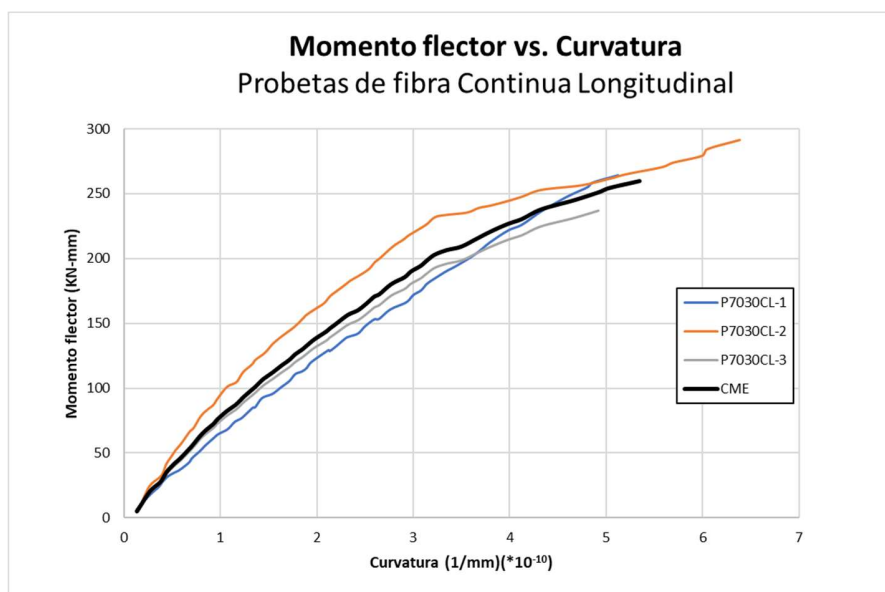


Figura 14-4: Curva Momento flector – Curvatura del material compuesto con fibra continua longitudinal

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

4.2.2. Verificación de los resultados

Mediante un análisis de energías, se determina si las condiciones de la simulación arrojan resultados válidos. Para ello se toma en cuenta el principio de conservación de la energía, con lo que se determina si las condiciones de la simulación son válidas, partiendo del hecho de que la energía cinética del péndulo al impactarse con el autobús se transforma en la energía absorbida durante el impacto por los elementos de la estructura del autobús. Según la norma el valor de la energía hourglass y la energía de fricción no debe superar el 10%, si este valor se supera generalmente se debe a interferencias entre las superficies, lo cual es provocado por penetraciones de los nodos de un componente dentro de la malla de otro componente, por lo que las fuerzas internas se incrementan. La simulación cumple con el rango recomendado, por lo que se aprueba los datos obtenidos.

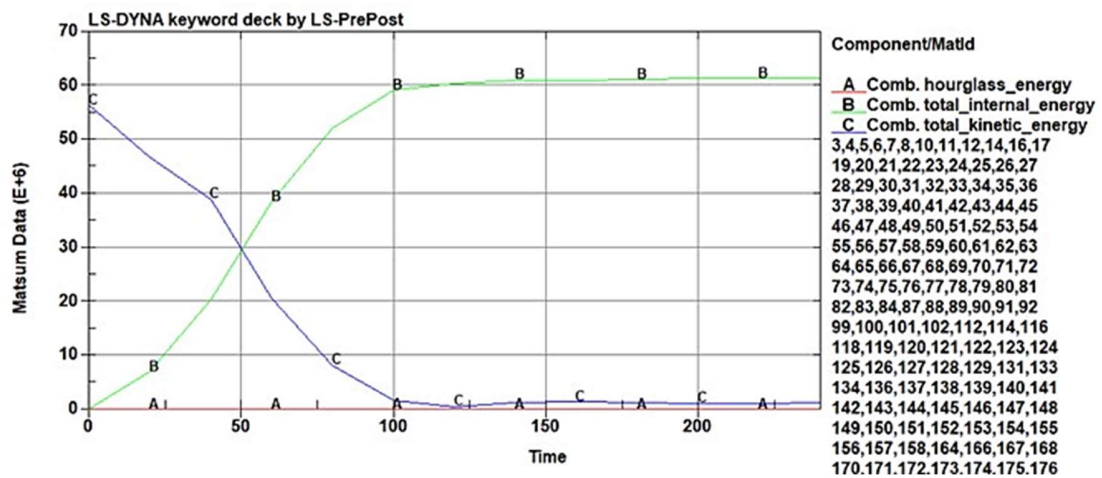


Figura 15-4: Gráfica de energías durante la simulación de impacto frontal
 Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

4.2.3. Análisis e interpretación de resultados de los desplazamientos y deformaciones

La evaluación de la influencia del material compuesto en la seguridad del conductor del autobús se realiza en función del grado de invasión de los elementos de la estructura en el espacio de supervivencia. Para lo cual se analiza los valores de C₁, C₂ y C₃, que fueron medidos inicialmente entre el volante y el maniquí. Se realizó el proceso de simulación con tres modelos, el primero con el material común, el segundo con el material compuesto con fibra discontinua al azar y el último con el material compuesto con fibra continua longitudinal. Los resultados se muestran a continuación:

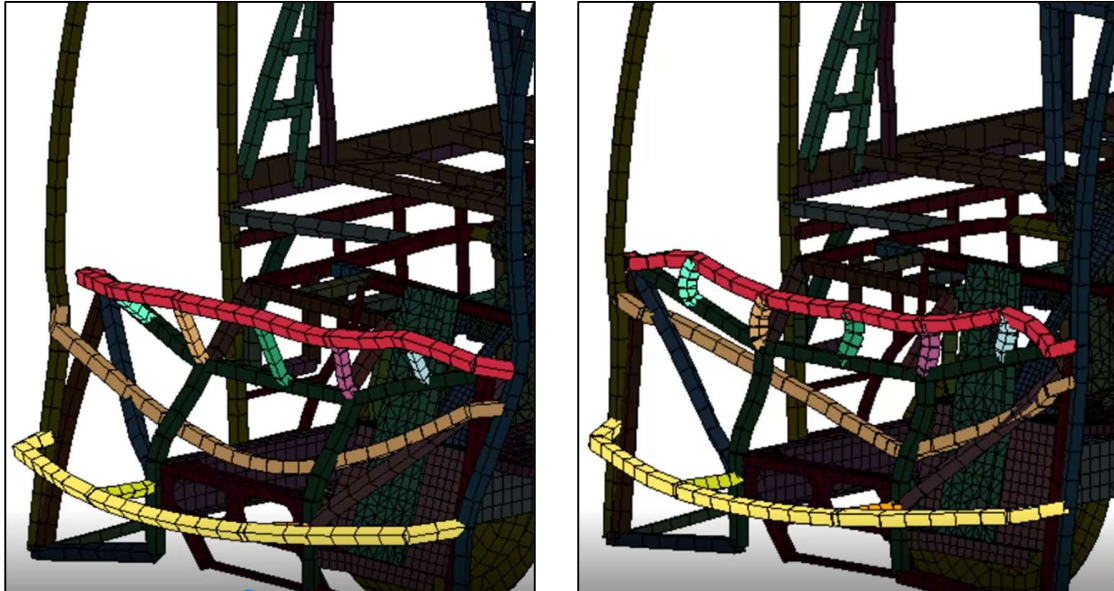
Tabla 4-4: Resultados de desplazamientos en la zona de supervivencia del conductor

Materiales	Holguras finales entre el sistema de dirección y el conductor			Porcentaje de reducción en relación al Tubo estructural galvanizado ASTM A500 Grado B		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3
Tubo estructural galvanizado ASTM A500 grado B	-51,26	38,6	-135	---	---	---
Material compuesto fibra discontinua al azar	-40,22	39,1	-78,5	-21,5%	-0,2%	-41,9%
Material compuesto fibra continua longitudinal	-35,09	66,4	-67,8	-31,5%	-11,8%	-49,8%

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

Con el material compuesto de fibra continua longitudinal se obtienen los mayores porcentajes de reducción en la intrusión de los elementos de la estructura en la zona de supervivencia, con -31,5%

en C₁, -11,8% en C₂ y -49,8% en C₃. Siendo el más notable el valor C₃, que es el punto más cercano al cuerpo del conductor, que se reduce casi a la mitad; lo cual no elimina totalmente el riesgo, pero lo disminuye en forma significativa. A continuación, se muestra la zona de los elementos analizados en la estructura, durante la simulación de impacto con el acero y el material compuesto:



a) Material: Acero ASTM A500 Grado B b) Material compuesto abacá - poliéster

Figura 16-4: Elementos de la zona frontal del autobús durante simulación de impacto

Realizado por: Guijarro, Graciela. 2021.

El avance al utilizar el material compuesto en la simulación también se evidencia en forma visual, al observar el comportamiento en la deformación de los elementos respecto a la rigidez que muestra el acero en el primer modelo. Al desfigurarse los elementos que se modificaron al material compuesto, absorbe parte de la energía del impacto, evitando así que esta se transfiera al resto de la estructura y afecte la seguridad del conductor.

CONCLUSIONES

- Mediante la revisión del estado del arte se determinó que el material con mejores características de absorción de energía es un material compuesto conformado por 70% de matriz resina poliéster y 30% de refuerzo de fibra de abacá. Para la configuración de la fibra se tomó en cuenta dos tipos: (1) continua al eje longitudinal y (2) corta discontinua al azar de 10cm de largo. A través de las pruebas de laboratorio de tracción y flexión, se determinó que el material compuesto con fibra larga en dirección longitudinal presenta mejores propiedades mecánicas.
- La utilización de moldes de madera tipo Chunchu pulido con dos capas de cera desmoldante dio como resultado que las probetas del material compuesto tuviesen buena uniformidad. Con respecto a la parte central de la probeta, que es la parte hueca, se utilizó espuma Flex cortada con láser y recubierta de cinta adhesiva. El tratamiento de la fibra fue un proceso clave, pues de ello dependía en gran manera la adecuada adherencia entre la matriz y la fibra, lo que permitió definir una adecuada fluidez de la resina en el momento de elaborar las probetas. De esta manera, se estuvo seguro de que por medio de la interfaz los componentes estuviesen fuertemente unidos y se pudiesen transferir los esfuerzos a toda la pieza.
- El modelo utilizado de carrocería de autobús para realizar el ensayo de impacto frontal, siguiendo las recomendaciones de la norma ECE R29, fue el de un modelo interprovincial ya que los modelos son actualizados y tienen mayor producción, lo cual es una ventaja por la información disponible. Mediante la simulación, se pudo comprobar que existe una disminución en las medidas de invasión del volante que abarca el espacio de supervivencia del conductor. Con la utilización del material compuesto de fibra larga en dirección longitudinal, se obtienen los mejores resultados.

RECOMENDACIONES

Las características y el estado de la fibra de abacá deben ser revisados meticulosamente antes de la elaboración de las probetas, para asegurar una buena interfaz en el material compuesto. Además, posterior a su tratamiento de limpieza y secado, debe ser guardado en fundas o recipientes herméticos para evitar variaciones en el grado de humedad y la impregnación de impurezas.

Para el ensayo de tracción se debe colocar una monta en los extremos, la cual puede ser de lija con un buen pegamento, para evitar que la probeta resbale de las muelas de la máquina en el momento de realizar el ensayo.

Una vez concluida la tesis, se pone a consideración del lector y la comunidad educativa investigar sobre otros aspectos relacionados con:

- El estudio de un método de unión del material compuesto abacá – poliéster con el acero, a través de adhesivos estructurales.
- Extender el estudio con fibra de calidad 2 (más delgada) y 4 (más gruesa), para evaluar la influencia del espesor en las propiedades mecánicas del material compuesto.
- Incorporar a las variables de estudio diferentes geometrías de los elementos a reemplazar con el material compuesto. Por ejemplo: elementos tubulares de sección transversal circular y geometría tipo panel.
- Ampliar el estudio de esta tesis, reemplazando otros elementos de la estructura del autobús con el material compuesto abacá-poliéster.

GLOSARIO

A

Abacá: Planta de la familia de las musáceas, de unos tres metros de altura, originaria de Filipinas, y de cuyo tronco se saca un filamento textil.

Acrílico: Dicho de una fibra o de un material plástico: Que se obtiene por polimerización del ácido acrílico o de sus derivados.

C

Catalizador: Dicho de una sustancia: Que, en pequeña cantidad, incrementa la velocidad de una reacción química y se recupera sin cambios esenciales al final de la reacción.

Curado: Endurecido, seco, fortalecido o curtido.

F

Fibra vegetal: Las fibras de origen vegetal son conjuntos de células de gran resistencia mecánica, cuyo contenido es esencialmente lignina y celulosa por lo que están asociadas principalmente a funciones de sostén de las plantas.

G

Gravimetría: Análisis cuantitativo de una sustancia por medio de la pesada.

M

Material compuesto: Es aquel formado por dos o más componentes, de forma que las propiedades del material final sean superiores que las de los componentes por separado.

Mercerizar: Tratar los hilos y tejidos de algodón con una solución de sosa cáustica para que resulten brillantes.

Moldeo: Proceso por el que se obtienen piezas echando materiales fundidos en un molde.

P

Poliéster: Resina obtenida por polimerización del estireno y otros productos químicos, que se endurece a la temperatura ordinaria, es muy resistente a la humedad, a los productos químicos y a las fuerzas mecánicas, y se usa en la fabricación de fibras, recubrimientos de láminas, etc.

R

Resina: Sustancia sólida o de consistencia pastosa, insoluble en el agua, soluble en el alcohol y en los aceites esenciales, y capaz de arder en contacto con el aire, obtenida naturalmente como producto que fluye de varias plantas.

S

Simulación numérica: La simulación numérica integra las herramientas matemáticas que permiten modelar, simular, o predecir el comportamiento de dispositivos, productos y procesos de la ingeniería y de las ciencias aplicadas.

T

Tixotropía: Propiedad que presentan determinados fluidos, como la gelatina o la miel, que tienden a licuarse cuando se agitan y a solidificarse en estado de reposo.

V

Viscosidad: Propiedad de los fluidos que caracteriza su resistencia a fluir, debida al rozamiento entre sus moléculas.

BIBLIOGRAFÍA

Ashby, Michael. *Materials and the Environment Eco-Informed Material Choice*, Elsevier, 978-1-85617-608-8, Oxford, 2009.

Alfonso, I. R. (2015). Potencialidades computacionales del Método de los Elementos Finitos para la modelación y simulación de materiales compuestos: revisión. *Matéria*, 20(2), 293-303. Obtenido de SciELO: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620150002.0030>

ANSYS. (09 de abril de 2019). *Selector de materiales para LS-DYNA*. Obtenido de <http://www.lstc.com/dynamat/>

Arroba, C. (2013). *Estudio del comportamiento mecánico de una sección de la superestructura del autobus interprovincial marca miral infiniti en chasis hino ak sometida a volccadura, mediante los programas ansys ls-dyna y su incidencia en el espacio de supervivencia*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

ASHBY, M. (2009). *Materials and the Environment Eco-Informed Material Choice*. Oxford: Elsevier.

ASTM, I. (2002). *Designation: D 3039/D 3039M-00. Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. United States.

ASTM, I. (2002). *Designation: D 7264/D 7264M – 07. Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials*. United States.

ASTM, I. (2015). *Designation: D256 - 10. Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*. United States.

Avner, S. (1988). *Introducción a la Metalurgia Física*. México: McGraw-Hill.

Baillie, C. (2004). *Green composites. Polymer Composites and the Environment*. Estados Unidos: Woodhead Publishing Limited.

Callister, W. (2005). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Barcelona: Reverté.

- Callister, W. (2007). *Materials Science and Engineering: An introduction*. Estados Unidos : Jhon Wiley & Sons, Inc.
- CEPE. (2012). *Reglamento no 29 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) - Prescripciones uniformes sobre la homologación de vehículos en lo relativo a la protección de los ocupantes de la cabina de un vehículo comercial*. Diario oficial de la Unión Europea.
- Cerón, A. (2006). *Estudio de factibilidad para implementar una empresa de exportación de fibra de abacá*. Quito.: Escuela Politécnica Nacional.
- Cortez, O. &. (2007). *Aplicación del método de elementos finitos y programas computacionales en el diseño de estructuras de un galpón para el taller de la empresa Procopet S.A*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Delgado, B. (2016). *Análisis mediante el MEF de la protección de los conductores en autobuses*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Díaz, A. (2008). *Introducción a la resina poliéster como material compuesto*. Colombia, Medellín.: Suin S.A.
- Esmeraldas, C. A. (2016). *Análisis estructural basado en simulación por el método de elementos finitos de una carrocería de bus interprovincial sometida a prueba de impacto lateral para determinar la geometría y materiales aplicables que garanticen la seguridad de los pasajeros*. Latacunga: ESPE.
- Eснаоla, A. (2016). *Desarrollo de estructuras de impacto en materiales compuestos para vehículos ligeros*. Mondragon: Universidad Mondragon.
- Espín, C. (2017). *Obtención de un material compuesto de matriz poliéster y lana de oveja para evaluar el comportamiento mecánico*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Espinoza, G. &. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplace tipo fórmula SAE*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
- FAO. (2020). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/abaca0/es/>

- Guerrero, V. G. (2011). *Nuevos materiales. Aplicaciones estructurales e industriales.* . Quito: Imprefepp.
- Gutierrez, S. (2007). *Análisis de choques en materiales compuestos.* Medellín: Universidad EAFIT.
- INEN1668. (2015). *Vehículos de transporte público de pasajeros intrarregional, interprovincial e intraprovincial.* Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- López, J. (1987). *Materiales: Metrología I.* Madrid: Thema.
- López, S. (2016). *Determinación de configuraciones estructurales de un frente de autobús interprovincial y su incidencia en la resistencia al impacto frontal mediante el método de elementos finitos.* Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Luccioni, B. (2014). *Universidad Nacional de Tucumán.* Obtenido de Modelación de nuevos materiales compuestos (CIUNT 26/E520): <https://www.facet.unt.edu.ar/iest/proyectos/modelacion-de-nuevos-materiales-compuestos-ciunt-26-e520/>
- Mallick, P. (2008). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design.* Estados Unidos: CRC Press.
- Marangon, E. (2011). *Caracterização material e estrutural de concretos autoadensáveis reforçados com fibras de aço.* Rio de Janeiro, Brazil: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Martín, J. (2009). *Simulación mediante LS DYNA del ensayo de choque de un todoterreno.* Leganés: Universidad Carlos III de Madrid.
- Mazumdar, S. (2003). *Composites manufacturing: Materials, product and process engineering.* Estados Unidos: CRC Press.
- Medina, R. S. (2005). Análisis de estructuras navales mediante el método de elementos finitos. *Síntesis Tecnológica. V.2 N° 1*, Págs. 27-36.
- Mera, M. (2012). Ensayo de tableros de partícula fina en una matriz de pulpa de celulosa y urea formaldehído. *Axioma, 1(8)*, 11-17.

- Mohanty, A. M. (2009). *Natural fibers, biopolymers and biocomposites*. Estados Unidos: Taylo & Francis Group.
- Páez, J. (2007). *Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión*. Quito - Ecuador: EPN Tesis.
- Pickering, K. (2008). *Properties and performance of natural-fibre composites*. Estados Unidos: CRC Press.
- SHIGLEY, E. (2011). En *Diseño en Ingeniería Mecánica*. Michigan: Mc Graw - Hill.
- Tinajero, A. (2018). *Diseño experimental de mobiliario para el sector ecoturismo empleando los desechos del pseudotallo del banano de las plantaciones de Mindo*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Velásquez, S. P. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador técnico*, 80 (1): Páginas 77-86.
- Villacís, H. (2011). *Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Wambua, P. I. (2003). "Natural fibres", can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Composites Science and Technology*.
- Zienkiewicz, O. &. (1994). *El Método de los Elementos Finitos*. McGraw-Hill.

ANEXOS

Anexo A: Ficha técnica de la resina poliéster



Serie PolyLite® 33200

Resina Poliéster DCPD-Híbrida

DESCRIPCION

PolyLite® 33200 comprende una serie de resinas resina poliéster base DCPD-Híbrida no saturadas. Estas resinas son rígidas, tixotrópicas, de reactividad y viscosidad media y están preaceleradas, para gelado y curado a temperatura ambiente con la adición de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50%. PolyLite 33200-25 es recomendada para trabajar en lugares de altas temperaturas ambientales.

APLICACIONES SUGERIDAS

- Fabricación de partes automotrices de plástico reforzado con fibra de vidrio.
- Fabricación de embarcaciones marinas pequeñas.
- Aplicación con pistola de aspersion, o por moldeo manual (picado).
- En general, fabricación de partes reforzadas con fibra de vidrio.

CARACTERISTICAS PRINCIPALES

- Excelente humectación de la fibra de vidrio.
- Excelente resistencia hidrolítica
- Muy buena aceptación de cargas minerales.
- Exotermia moderada
- Sin pegajosidad (tack) residual, con muy buena adherencia entre laminados
- Resistencia superior en temperaturas moderadamente altas comparada contra resinas convencionales de usos generales
- Se obtienen laminados con muy buen acabado superficial, minimizando el fotografiado de la fibra de vidrio sobre el gel coat.
- Rápidos ciclos de curado.
- Cumple la norma FMVSS 302 de inflamabilidad para vehículos y autobuses de pasajeros. ¹⁾

Nota: Estas resinas son tixotrópicas por lo que deben agitarse antes de usarlas.

¹⁾ Prueba efectuada en laminado reforzado con 35% de fibra de vidrio y con espesor de 3.5 mm

La información contenida en el presente, es para ayudar a nuestros clientes a determinar si nuestros productos son apropiados para sus aplicaciones. Nuestros productos están diseñados para su venta a clientes industriales y comerciales. Antes de descargar o utilizar nuestros productos, le solicitamos realice los análisis que considere pertinentes para determinar la conveniencia del producto para su aplicación específica. Garantizamos que nuestros productos cumplen con nuestras especificaciones indicadas en el Certificado de Análisis, y que además son evaluados bajo los métodos de prueba de Reichhold; las pruebas se realizan durante el TIEMPO DE CONSUMO PREFERENTE (término definido más adelante), por lo que REICHOLD no se hace responsable de reclamaciones realizadas fuera de dicho tiempo. En caso de requerir información adicional sobre lo aquí estipulado, acérquese a su agente de ventas. Nada de lo que se encuentra aquí expresado, constituye una garantía expresa o implícita, incluyendo cualquier garantía comercial o convenida. Todos los derechos de patente están registrados. La reparación de las posibles reclamaciones aceptadas, será la únicamente reposición de nuestros productos y en ningún momento será motivo de aceptación de daños especiales, incidentales o consecuenciales.

PROPIEDADES

PROPIEDADES TÍPICAS DE RESINA LIQUIDA @ 25°C

Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	58 – 63	RQMPEA 0041
Número ácido en solución (máximo)	mg KOH / g muestra	25	RQMPEA 0026
Viscosidad Brookfield, LVF, 3/60	cPs	300 – 400	RQMPEA 0002
Índice de tixotropía (3/6) / (3/60) (mínimo)	s/u	2.7	RQMPEA 0006
Estabilidad @ 105°C	Horas	4	RQMPEA 0118

Propiedades	Unidades	Especificaciones			Métodos de Análisis
		Polylite 33200-01	Polylite 33200-12	Polylite 33200-25	
Color resina líquida	s/u	N.A.	N.A.	Gris-azul oscuro	RQMPEA 0019
Tiempo de gel *	minutos	15 – 18	9 – 12	20 – 30	RQMPEA 0066
Temperatura de exotermia	°C	140 – 170	140 – 170	Registro	RQMPEA 0066
Tiempo de curado	minutos	21 – 35	Registro	Registro	RQMPEA 0066

* 100 g de resina + 1.0 g de MEKP (Butanox M-50) @ 25°C

PROPIEDADES FÍSICAS TÍPICAS

Vaciado sin carga ni refuerzo (clear casting) ²⁾

Propiedades	Unidades	Valor Típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	36 - 40	ASTM D-2583-07
HDT	°C	74.0	ASTM D-648-07
Absorción de agua 2hrs @ 212°F (100°C)	%	0.77	ASTM D-570-10
24hrs @ 73°F (23°C)	%	0.16	
Resistencia a la flexión	Psi	13245	ASTM D-790-10
Módulo de flexión	Psi x 10 ³	575	ASTM D-790-10
Resistencia a la tensión	Psi	6091	ASTM D-638-10
Módulo de tensión	Psi x 10 ³	507	ASTM D-638-10
Elongación hasta ruptura	%	1.3	ASTM D-638-10

²⁾ Pruebas realizada a una placa de 4 mm de espesor

Laminado reforzado con fibra de vidrio ³⁾

Propiedades	Unidades	Valor típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	50 - 55	ASTM D-2583-07
Absorción de agua 2hrs @ 212°F (100°C)	%	0.52	ASTM D-570-10
24hrs @ 73°F (23°C)	%	0.13	
Contenido de: Resina / Fibra de vidrio	%	68.0 / 32.0	ASTM D 2584-08
Resistencia a la flexión	Psi	27337	ASTM D-790-10
Módulo de flexión	Psi x 10 ³	1248	ASTM D-790-10
Resistencia a la tensión	Psi	13426	ASTM D-638-10
Módulo de tensión	Psi x 10 ³	1242	ASTM D-638-10
Elongación hasta ruptura	%	1.57	ASTM D-638-10
Resistencia a la compresión (Carga Maxima)	Psi	24798	ASTM D-695-10
Resistencia al impacto (Izod)	Ft-lb/in	10.4	ASTM D-256-10
Tipo "A", Tipo de falla:		100% parcial	

³⁾ Construcción del laminado: 3 capas de Colchoneta 450 g/m²

CONDICIONES DE CURADO

Los paneles fueron curados con la adición de 1% de Peróxido de Metil Etil Cetona (Butanox M-50) por cada 100 g de resina. Curado a temperatura ambiente durante la noche y posteriormente un post-curado de 4 horas a 60°C.

Guía de Uso

Las resinas PolyLite® 33200 son promovidas, la adición de un iniciador de MEKP (peróxido de metil etil cetona) hará que la resina gele y cure. Como con todos los poliésteres, el tiempo y el grado de curado están en función de la cantidad de iniciador y de la temperatura. La resina y el área de trabajo deben estar entre 20°C y 35°C para asegurar resultados satisfactorios. Los niveles de iniciador deben mantenerse dentro de un rango del 1.0% al 2.5% en peso, basado en el peso de resina. El uso de niveles fuera de este rango puede resultar en un curado inadecuado, lo cual no es recomendado. Si se requieren tiempos de gel de diferentes, comuníquese con su representante de Reichhold para determinar productos alternativos disponibles para requerimientos especiales.

Se requieren ciertas precauciones para garantizar un adecuado enlace secundario. La Unión secundaria se verá afectada negativamente en zonas ricas de resina o laminados que han sido expuestos a calor o luz solar directa durante un período largo de tiempo. Contaminación del laminado primario (p. ej., molienda polvo, aceite, humedad, ceras o liberación de agentes, etc.) también afectará el desempeño de enlace secundario. Si cualquiera de estas situaciones ocurre o si han transcurrido más de 48 horas, se recomienda lijado y limpieza de sustrato antes de la aplicación de laminado secundario. El tipo de refuerzo de vidrio utilizado también puede afectar el desempeño del enlace secundario.

Las propiedades físicas y de desempeño de las piezas de plástico reforzado con fibra de vidrio están influenciadas por muchos factores que están bajo el control del fabricante, tales como: temperatura, tipo y cantidad de: iniciador (peróxido), pigmentos, aditivos, refuerzos y cargas, así como espesor de la pieza terminada, configuración de la pieza, secuencia de construcción del laminado, tipo y espesor del gelcoat, tipo de proceso de moldeo utilizado, condiciones del equipo, etc.

El fabricante debe seleccionar cuidadosamente todos estos factores y posteriormente evaluar todo el sistema para determinar si son adecuados para la aplicación final de la pieza

Estas resinas son tixotrópicas por lo que deben agitarse antes de usarlas.

ALMACENAMIENTO

Para asegurar la máxima estabilidad y mantener las propiedades óptimas de la resina, ésta debe ser almacenada en el envase original cerrado a temperatura por debajo de 25°C (77°F) y lejos de fuentes de ignición, calor y de la luz solar. La resina debe estar al menos a 18°C (65°F) antes de usarse con el fin de asegurar el curado y manejo adecuado. Después de un almacenamiento prolongado, se recomienda una agitación moderada sobre todo en el caso de resinas tixotrópicas. Evitar la contaminación del producto con agua. Evitar el almacenar a la intemperie. Mantenga los recipientes cerrados para evitar la absorción de humedad y la pérdida de monómeros. Los niveles de inventario deberán guardar un mínimo razonable, con una política de inventarios de primeras entradas - primeras salidas. Todas las zonas de almacenamiento y los tanques contenedores deberán cumplir con los códigos de incendio y de construcción locales. Se debe evitar usar tanques contenedores hechos a base de cobre o de sus aleaciones. Almacenar la resina separada de materiales oxidantes, peróxidos y sales metálicas. Mantener los recipientes cerrados cuando no estén en uso.

TIEMPO DE CONSUMO PREFERENTE

Bajo condiciones recomendadas de almacenamiento, el tiempo de consumo preferente de esta resina es de 3 meses a partir de la fecha de fabricación.

PRESENTACION

Tambor metálico no retornable de 230 Kg de peso neto y a granel en carro tanque.

SEGURIDAD**LEA Y ENTIENDA LA HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL MATERIAL ANTES DE USAR ESTE PRODUCTO**

Obtenga una copia de la Hoja de Datos de Seguridad del Material (HDS) antes de usarlo. Las HDS están disponibles con su representante de ventas en Reichhold. Tal información debe ser solicitada a todos sus proveedores de materiales y entendida antes de usarlos.

ADVERTENCIA: se debe tener precaución para evitar el mezclado directo de cualquier peróxido orgánico con jabones metálicos, aminas o cualquier otro tipo de acelerador o promotor, ya que puede ocurrir una descomposición violenta y explosiva.

INFORMACION GENERAL

Para información especial sobre esta resina le recomendamos ponerse en contacto con nuestros representantes de ventas o llamar a nuestro departamento de Soporte Técnico al teléfono (01) 712 122 95 22 en Atlacomulco, Edo. de México.

Anexo B: Imágenes en la hacienda Abacá - Ecuador



Anexo C: Ficha técnica madera Tipo Chuncho



DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

Familia. Mimosaceae

Nombre Científico. *Cedrelinga cateniformis* D. Duke

Nombre Común. Chuncho

Nombres comunes relacionados. Seique, Tornillo, Mara macho, Cedrorana.

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.

Árbol que alcanza hasta 40 m de altura y 65 – 150 cm de DAP.

Tronco recto y cilíndrico con raíces tablares grandes.

Corteza externa café agrietada verticalmente; corteza interna rosado-cremosa, fibrosa y de sabor dulce.

Copa amplia y redondeada, de gran tamaño.

Hojas compuestas, alternas, con uno o dos pares de pinnas, con 3 pares de folíolos oblicuo-ovado, glabros, pecíolo cilíndrico con una glándula en el ápice.

Flores verde-amarillentas, en inflorescencias terminales.

Fruto vaina o legumbre con una constricción que encierra a cada semilla como cadena.

USOS DE LA MADERA.



Se lo puede emplear en construcción estructural: columnas, vigas, viguetas, cerchas; pisos y mangos de escaleras; chapas y tableros contrachapados, puertas, ventanas, cielos rasos; molduras, cajonerías de calidad, encofrado y construcción de embarcaciones.

PROPIEDADES DE LA MADERA

Organolépticas.

Color la albura rosado-amarillenta, con transición gradual a duramen rojizo claro.

Veteado en forma de jaspe, producido por las líneas vasculares pronunciadas y oscuras.

Grano recto a entrecruzado, a veces ondulado.

Textura gruesa.

Olor característico, urticante

Sabor ausente o no distintivo

Brillo mediano a alto

Durabilidad. - Es resistente a altamente resistente, la albura es susceptible al ataque de hongos e insectos, por lo que requiere preservación con la utilización del método vacío presión, presenta absorción alta (235 kg/m³) con penetración total.

Trabajabilidad. - De fácil trabajabilidad, obteniéndose buenos resultados con excepción del moldurado; fácil de aserrar, se desenrolla sin dificultad; no ofrece resistencia a la penetración de clavos.

Secado rápido, sin deformaciones o rajaduras de consideración.

Propiedades físicas y mecánicas.

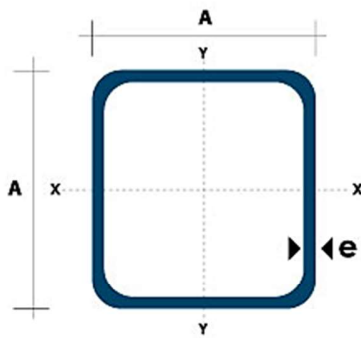
Peso específico básico: 0,55 g/cm³.

Contracción Radial (%):	3,2
Contracción Tangencial (%):	6,9
Módulo de Elasticidad:	99 x 100
Módulo de Rotura:	693
E.R. Compresión Paralela (Kg/cm ²):	413
Corte Radial (Kg/cm ²):	87



Investigación: Ing. Marco Vinuesa/ Ecuador Forestal

Anexo D: Dimensiones de tubos estructurales cuadrados



Dimensiones			Área	Ejes X-Xe Y-Y		
A mm	Espesor mm (e)	Peso Kg/m	Área cm ²	I cm ⁴	W cm ³	I cm ³
20	1.2	0.72	0.90	0.53	0.53	0.77
20	1.5	0.88	1.05	0.58	0.58	0.74
20	2.0	1.15	1.34	0.69	0.69	0.72
25	1.2	0.90	1.14	1.08	0.87	0.97
25	1.5	1.12	1.35	1.21	0.97	0.95
25	2.0	1.47	1.74	1.48	1.18	0.92
30	1.2	1.09	1.38	1.91	1.28	1.18
30	1.5	1.35	1.65	2.19	1.46	1.15
30	2.0	1.78	2.14	2.71	1.81	1.13
40	1.2	1.47	1.80	4.38	2.19	1.25
40	1.5	1.82	2.25	5.48	2.74	1.56
40	2.0	2.41	2.94	6.93	3.46	1.54
40	3.0	3.54	4.44	10.20	5.10	1.52
50	1.5	2.29	2.85	11.06	4.42	1.97
50	2.0	3.03	3.74	14.13	5.65	1.94
50	3.0	4.48	5.61	21.20	4.48	1.91
60	2.0	3.66	3.74	21.26	7.09	2.39
60	3.0	5.42	6.61	35.06	11.69	2.34
75	2.0	4.52	5.74	50.47	13.46	2.97
75	3.0	6.71	8.41	71.54	19.08	2.92
75	4.0	8.59	10.95	89.98	24.00	2.87
100	2.0	6.17	7.74	122.99	24.60	3.99
100	3.0	9.17	11.41	176.95	35.39	3.94
100	4.0	12.13	14.95	226.09	45.22	3.89
100	5.0	14.40	18.36	270.57	54.11	3.84



1

2

3

4

Anexo E: Planos del molde de madera

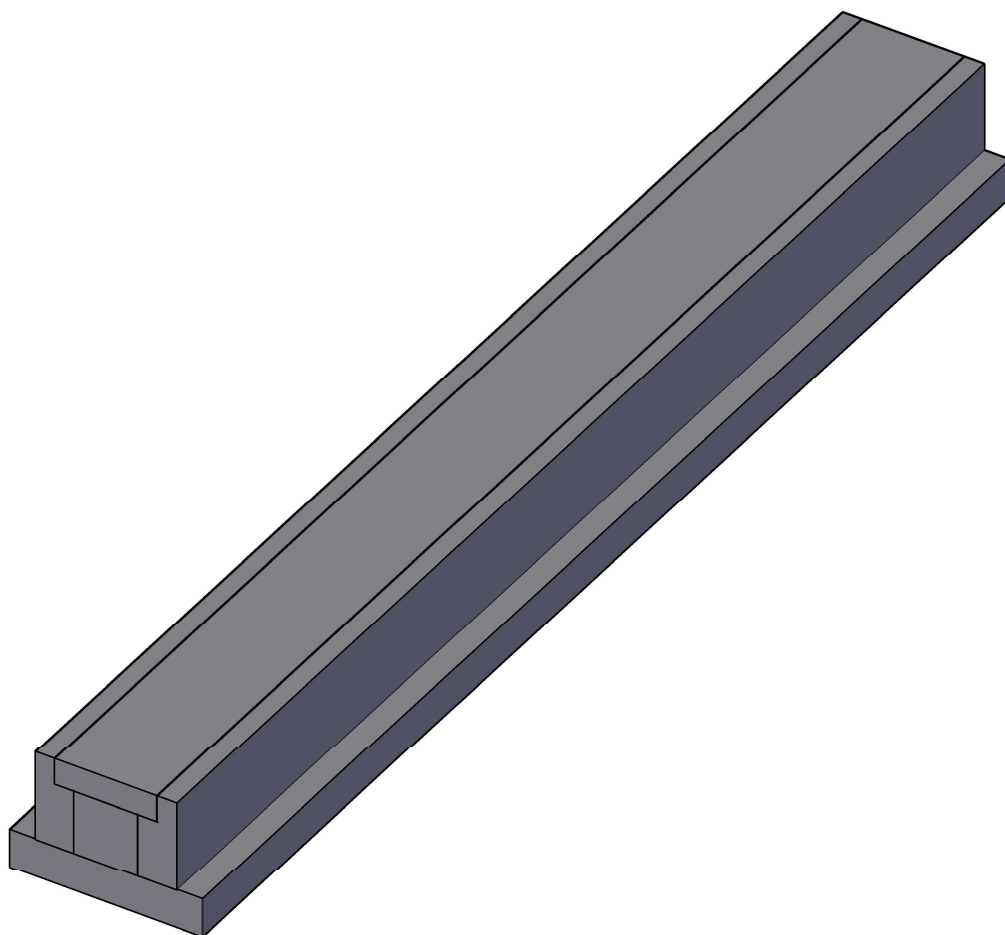
A

B

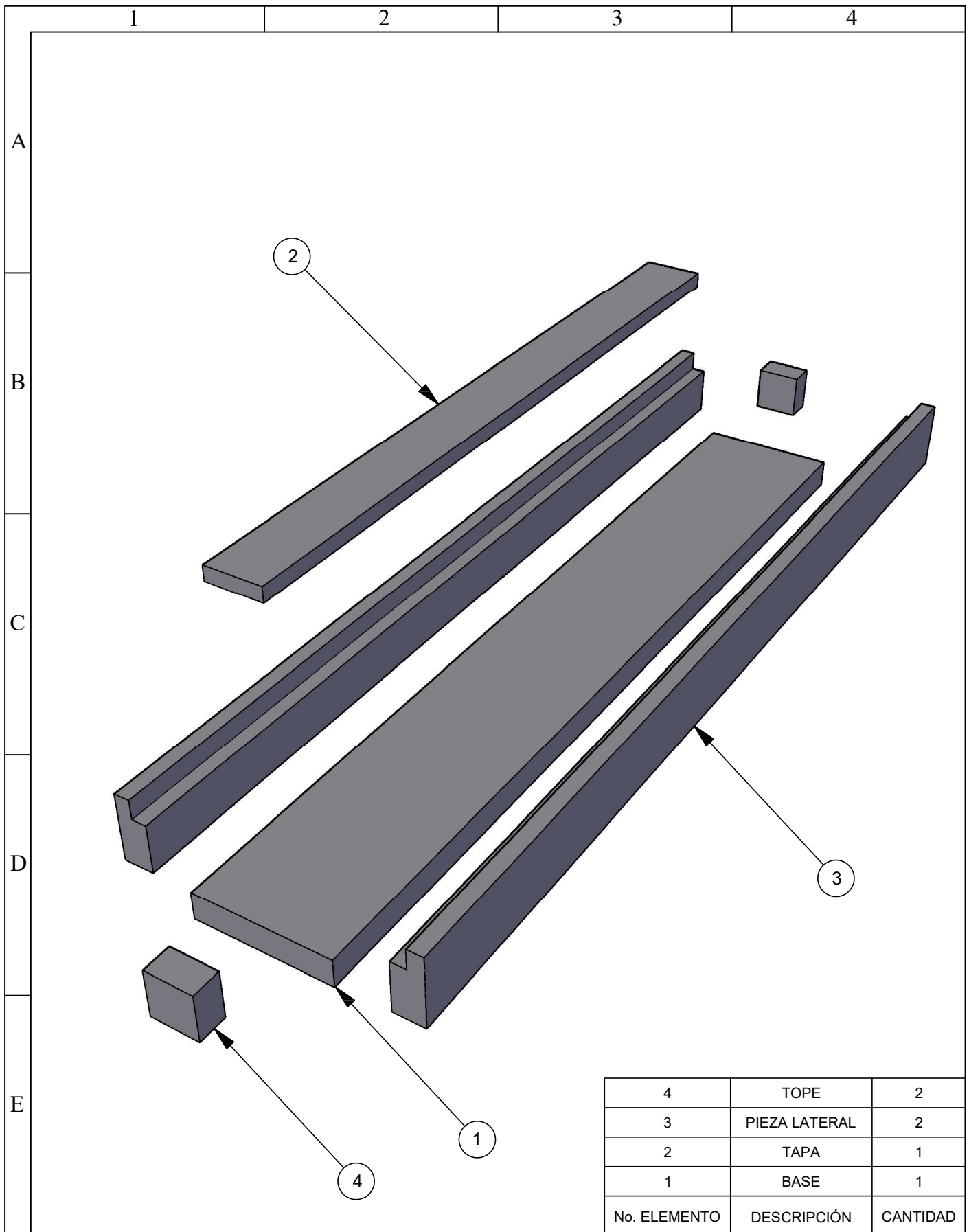
C

D

E



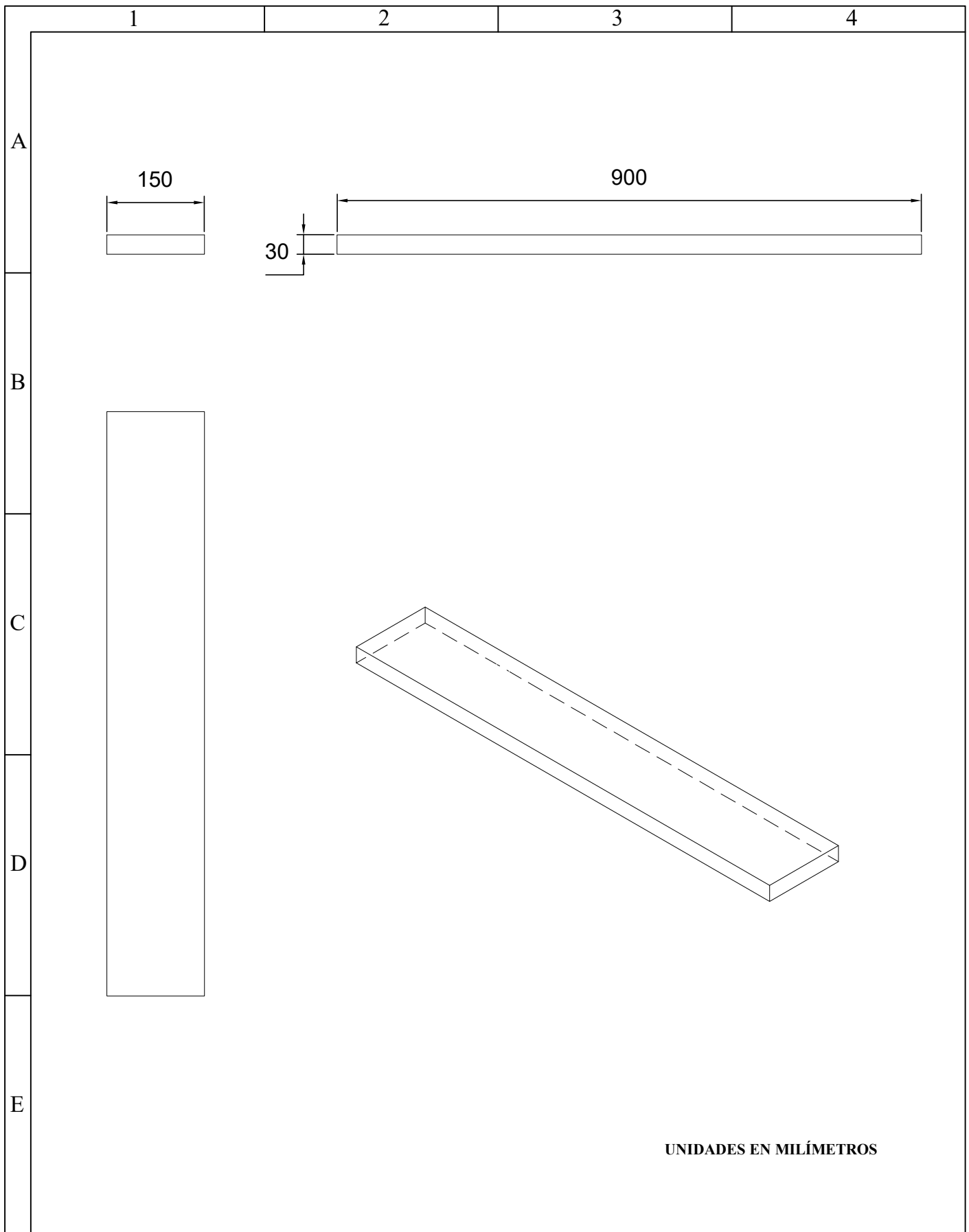
No. Lámina: 1 de 6	No. Hojas: 6	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH			
E-mail: gracielaGuijarrop@gmail.com			Denominación: MOLDE DE MADERA ARMADO	FACULTAD DE MECÁNICA			
Teléfono: 0992531100				ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Guijarro G.		25/01/21	4.886		1:5	
Dibujó	Guijarro G.		25/01/21	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH, CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE UNA VIOLACIÓN A LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó	López S.		25/01/21				
Aprobó	López S.		25/01/21				
			Materiales: Madera tipo Chuncho				
			Nombre del archivo:				



4	TOPE	2
3	PIEZA LATERAL	2
2	TAPA	1
1	BASE	1
No. ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

No. Lámina: 2 de 6		No. Hojas: 6		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH													
E-mail: gracielaGuijarrop@gmail.com						FACULTAD DE MECÁNICA															
Teléfono: 0992531100																					
MOLDE DE MADERA DESPIECE						ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA															
						Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
						Proyectó		Guijarro G.				25/01/21		4.886				SE			
						Dibujó		Guijarro G.				25/01/21									
						Revisó		López S.				25/01/21									
Aprobó		López S.				25/01/21		Materiales: Madera tipo Chuncho		Nombre del archivo:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH, CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE UNA VIOLACIÓN A LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY									

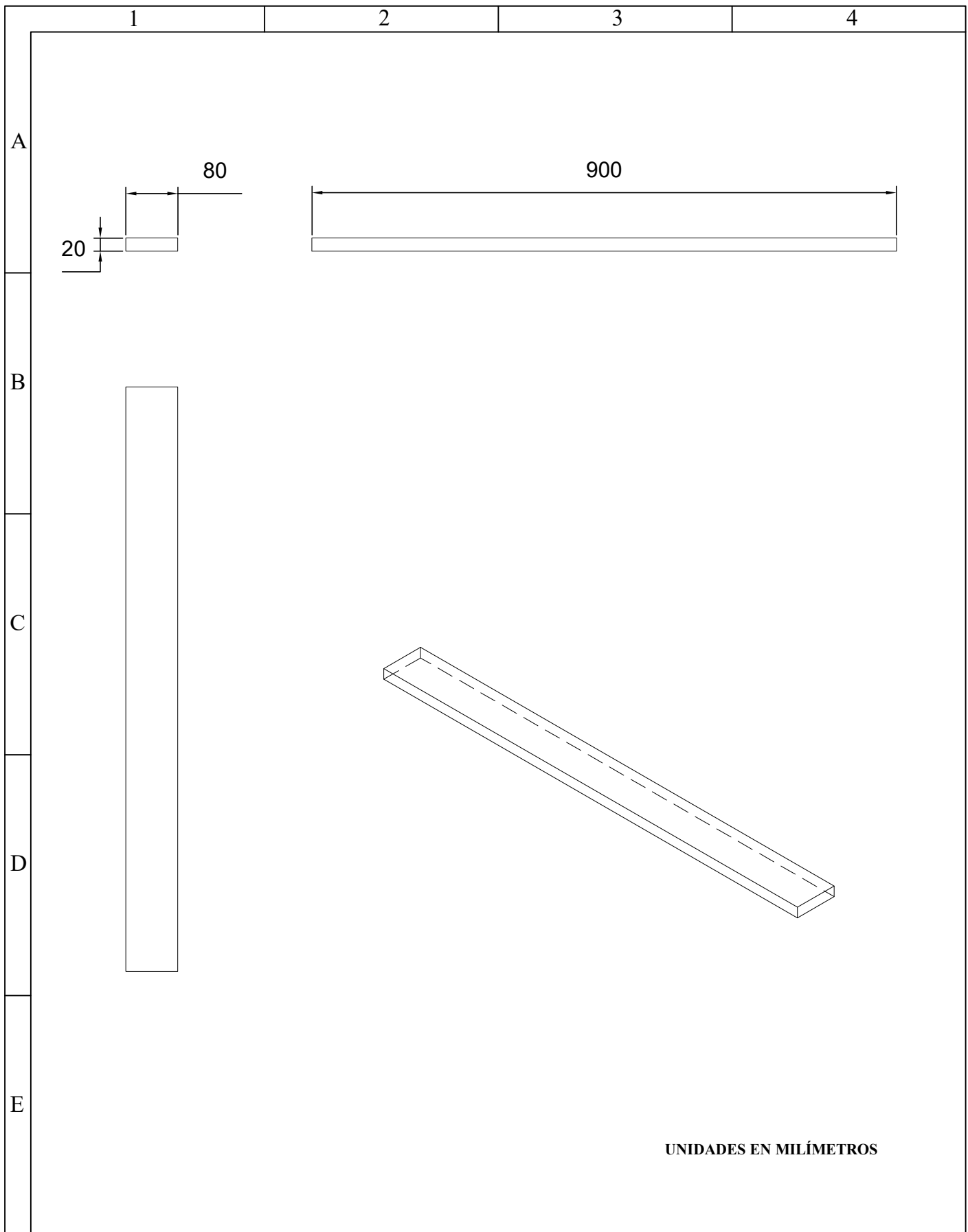




UNIDADES EN MILÍMETROS

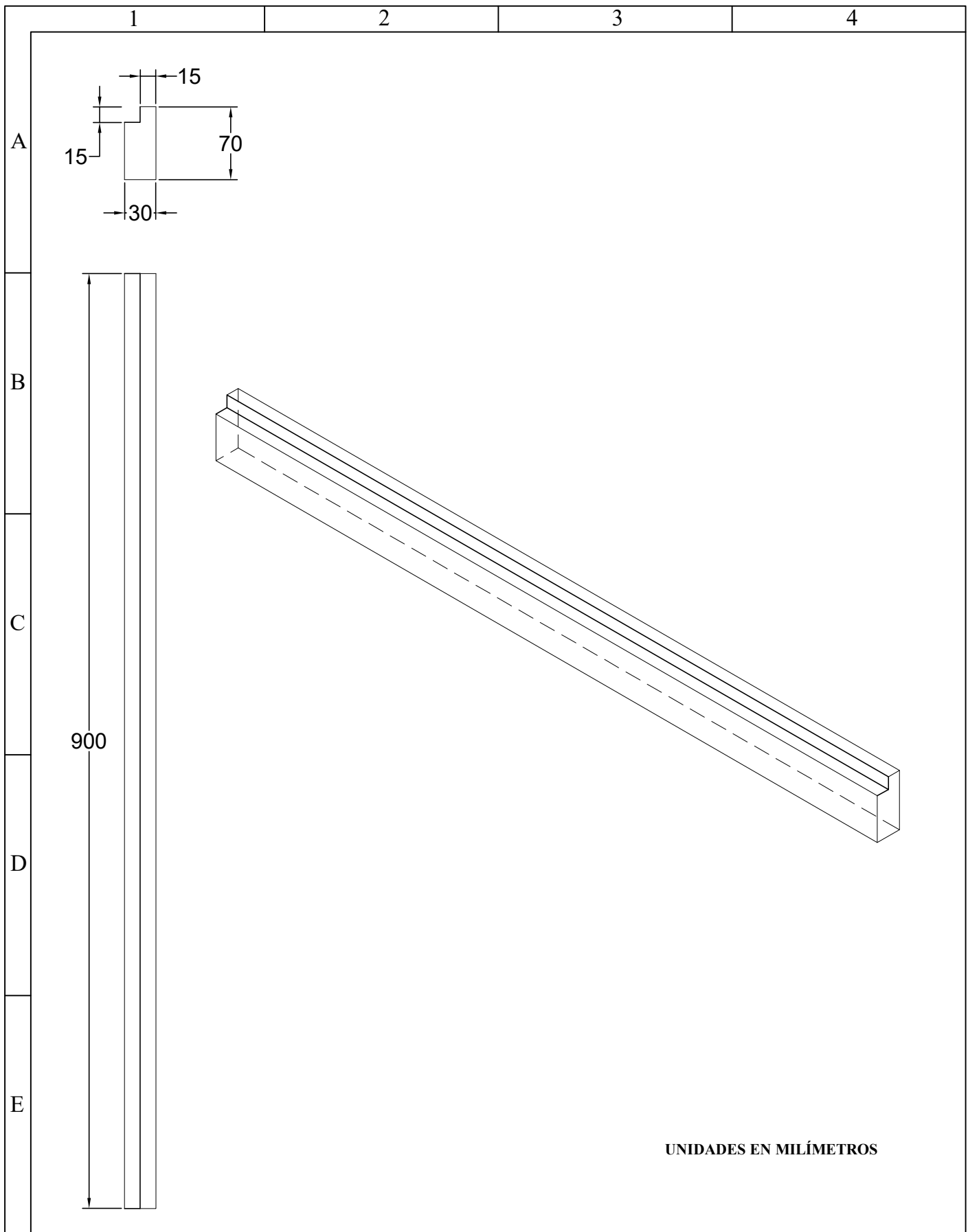
No. Lámina: 3 de 6		No. Hojas: 6		Sustitución:	Codificación:	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
E-mail: gracielaGUIJARRO@gmail.com Teléfono: 0992531100					Denominación: BASE				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Madera tipo Chuncho		2.228		1:8	
Proyectó	Guijarro G.		25/01/21						
Dibujó	Guijarro G.		25/01/21						
Revisó	López S.		25/01/21	Nombre del archivo:		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH, CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE UNA VIOLACIÓN A LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Aprobó	López S.		25/01/21						





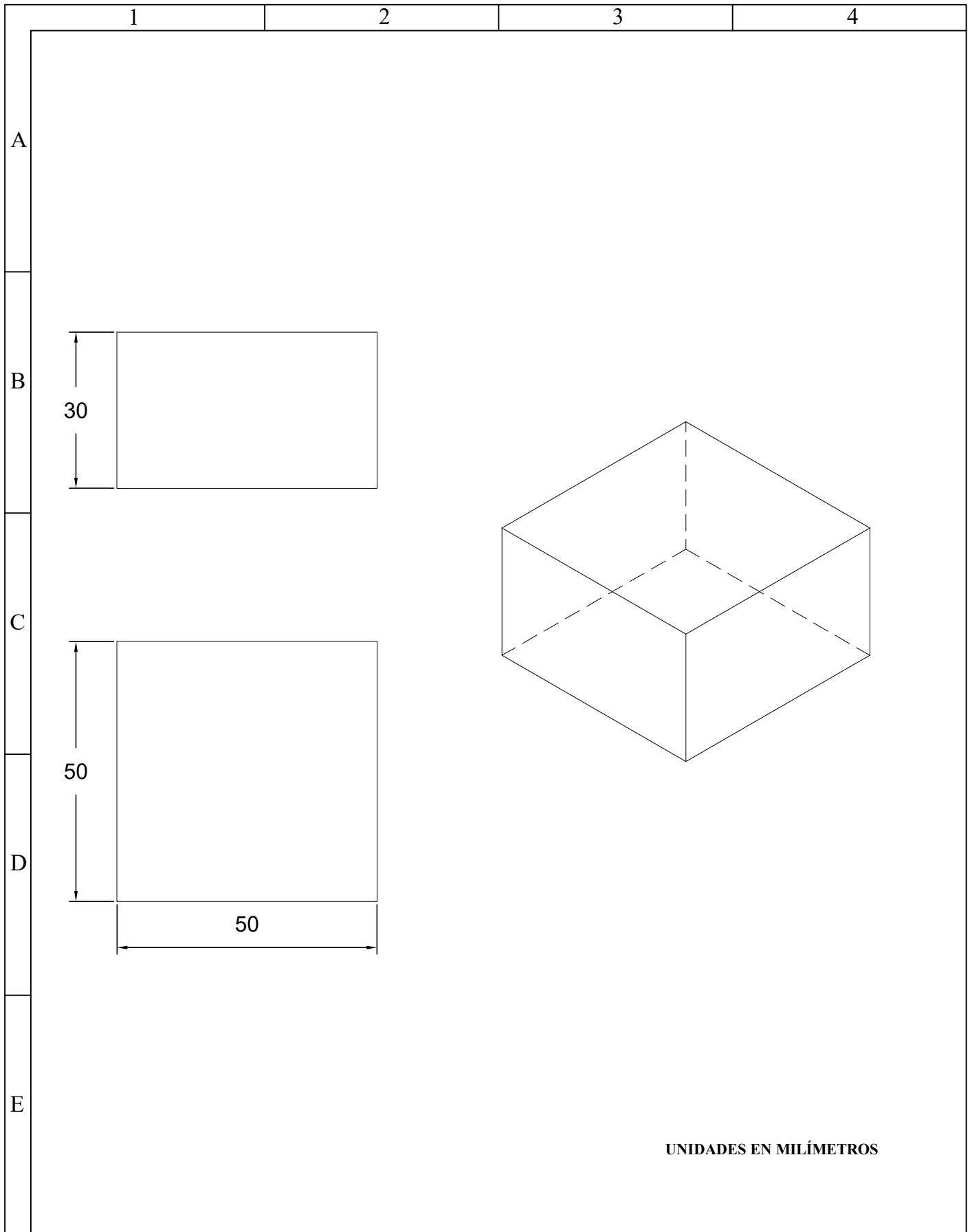
UNIDADES EN MILÍMETROS


No. Lámina: 4 de 6		No. Hojas: 6		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
E-mail: gracielaGUIJARRO@gmail.com Teléfono: 0992531100						Denominación: TAPA					
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Madera tipo Chuncho				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH, CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE UNA VIOLACIÓN A LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Proyectó	Guijarro G.		25/01/21								
Dibujó	Guijarro G.		25/01/21								
Revisó	López S.		25/01/21								
Aprobó	López S.		25/01/21								
Nombre del archivo:											



UNIDADES EN MILÍMETROS

No. Lámina: 5 de 6		No. Hojas: 6		Sustitución:		Codificación:		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA											
E-mail: gracielaGUIJARRO@gmail.com Teléfono: 0992531100						Denominación:						Peso [Kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma		Fecha		PIEZA LATERAL				0.891				1:5			
Proyectó		Guijarro G.				25/01/21						Materiales:		Madera tipo Chuncho		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH, CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE UNA VIOLACIÓN A LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó		Guijarro G.				25/01/21		Nombre del archivo:											
Revisó		López S.				25/01/21													
Aprobó		López S.				25/01/21													



No. Lámina: 6 de 6	No. Hojas: 6	Sustitución:	Codificación:	ESPOCH			
E-mail: gracielaGUIJARRO@gmail.com			Denominación: TOPE	FACULTAD DE MECÁNICA			
Teléfono: 0992531100				ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
Datos	Nombre	Firma		Fecha	Peso [Kg]	Tolerancia	Escala
Proyectó	Guijarro G.		25/01/21	0.042		1:1	
Dibujó	Guijarro G.		25/01/21	Materiales: Madera tipo Chuncho <small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE LA ESPOCH, CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE UNA VIOLACIÓN A LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			
Revisó	López S.		25/01/21				
Aprobó	López S.		25/01/21				
Nombre del archivo:				