



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”.

AUTOR: Pablo Daniel Mazón Ortiz

TUTOR: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

AMBATO-ECUADOR
2018

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de autor del proyecto experimental, previo a la obtención de Ingeniero Mecánico, con el tema “**CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES**” elaborado por el Sr. Pablo Daniel Mazón Ortiz, portador de la cédula de ciudadanía: 180444858-5, y egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- El presente proyecto de investigación es original del autor
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes
- Esta concluido en su totalidad

.....
Ing. Wilson Henry Vaca Ortega

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Pablo Daniel Mazón Ortiz con CI. 180444858-5 declaro que los criterios emitidos en este trabajo experimental con el tema **“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”** así como también los contenidos, ensayos realizados, análisis, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

.....
Pablo Daniel Mazón Ortiz

CI. 180444858-5

Autor

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo de investigación o parte de un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

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

.....

Pablo Daniel Mazón Ortiz

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Pablo Daniel Mazón Ortiz de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”.

Ambato, septiembre del 2018

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Juan Paredes

.....
Ing. Mg. Cristian Pérez

DEDICATORIA

A mi madre Martha y mi padre Eduardo por mi formación llena de valores y amor sin escatimar esfuerzos, por brindarme las palabras exactas en los momentos precisos para no desfallecer en el cumplimiento de mis objetivos en varios episodios de mi vida, a mi hermano Gabriel por estar presente en cada momento importante de mi vida, por las enseñanzas y vivencias en cada una de las instituciones por las cuales hemos pasado, a mi hermana por la compañía de todos los días en el cumplimiento de tantas asignaturas pendientes que siempre existirán y nunca terminarán, a todas mis mascotas por el cariño y la compañía brindada en estos años aunque ya varios no estén pero siempre vivirán en los recuerdos y en las cenizas de la eternidad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por la fuerza, perseverancia, salud y las bendiciones brindadas para terminar este importante ciclo de vida.

A mis padres y hermanos por el apoyo incondicional que me han brindado día tras día en toda mi vida estudiantil, a Jessy por la ayuda para culminar este trabajo y la compañía brindada en estos últimos años.

A mis amigos por todos los triunfos, fracasos, alegrías, tristezas, que hemos pasado en este período universitario sabiendo que la esperanza es lo último que se pierde y aprendiendo que con trabajo constante las cosas se pueden lograr, en especial a David por la ayuda brindada en los momentos más complicados, al igual que Víctor, Oscar y Gonzalo.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por abrirme las puertas ya varios años atrás para poder incursionar en la vida universitaria en una de las carreras más interesantes, a los docentes y personas que trabajan en esta facultad por todos los días que compartimos, por toda la ayuda y consejos brindados.

A don Heriberto Chango por su rápido y excelente trabajo en la confección de los tejidos, a CIDFAE por darme la apertura en sus instalaciones y por la ayuda brindada de los miembros de esta prestigiosa institución.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTOS.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES	1
1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	5
1.4.1 Objetivo general	5
1.4.2 Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
FUNDAMENTACIÓN	6
2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	6
2.1.1. Clasificación de los materiales	6
2.1.2. Matrices	8
2.1.2.1. Matriz metálica.....	8
2.1.2.2. Matriz cerámica	8

2.1.2.3. Matriz polimérica	8
2.1.3. Refuerzo	12
2.1.3.1. Compuestos reforzados con partículas	12
2.1.3.2. Compuestos reforzados con fibras.....	13
2.1.3.3. Compuestos estructurales	14
2.1.4. Fibras	15
2.1.4.1. Orientación de las fibras	15
2.1.4.2. Tipos de fibras	17
2.1.5. Tejidos	27
2.1.5.1. Clasificación de los tejidos	28
2.1.6. Materiales híbridos	29
2.1.7. Procesos de fabricación	31
2.1.8. Ensayos destructivos para materiales	33
2.2 Hipótesis	35
2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis	35
2.3.1. Variable independiente	35
2.3.2. Variable dependiente	35
CAPÍTULO III	36
METODOLOGÍA.....	36
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN	36
3.1.1 Experimental.....	36
3.1.2 Descriptivo	36
3.1.3 Cuantitativo	36
3.1.4 Bibliográfica	36
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA	36
3.2.1 Población	36
3.2.2 Muestra	37

3.3 OPERALIZACIÓN DE VARIABLES	37
3.3.1 Variable Independiente:.....	37
3.3.2 Variable dependiente:	38
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	39
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	40
3.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	40
3.7 PROCEDIMIENTO	43
3.7.1 Adquisición de materia prima.....	43
3.7.2 Determinación de las propiedades físicas de las fibras naturales	43
3.7.3 Probetas para ensayos destructivos.....	46
3.7.4 Condiciones de las probetas	48
3.7.5 Cálculos	49
3.7.8 Construcción del molde	73
3.7.9 Elaboración de probetas.....	74
CAPÍTULO IV	82
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS.....	82
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	82
4.1.1 Fichas de reporte ensayos de tracción	82
4.1.2 Fichas de reporte ensayos de flexión	98
4.1.3 Fichas de reporte ensayos de impacto	104
4.1.4 Nomenclatura de tipos de falla utilizada en las fichas técnicas.....	116
4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	117
4.3 APLICACIONES INDUSTRIALES.....	125
4.3.1 Industria automotriz.....	125
4.3.2 Industria de la construcción	126
4.3.3 Industria del mueble	126
4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	127

CAPÍTULO V	130
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	130
5.1 CONCLUSIONES.....	130
5.2 RECOMENDACIONES	131
6 BIBLIOGRAFÍA.....	132
ANEXOS.....	135
ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LA RESINA EPOXI.....	135
ANEXO B: NORMA DE ENSAYO A TRACCIÓN ASTM-3039.....	136
ANEXO C: NORMA PARA ENSAYOS A FLEXIÓN ASTM 7462	149
ANEXO D: NORMA PARA ENSAYOS A IMPACTO ASTM 5628.....	160
ANEXO E: RESULTADOS DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO.....	170

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.- Configuración básica de material compuesto	7
Figura 2.2.- Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzos	12
Figura 2.3.- Matriz reforzado con partículas	13
Figura 2.4.- Refuerzos de whiskers	13
Figura 2.5.- Refuerzos de fibras	14
Figura 2.6.- Refuerzos de alambres	14
Figura 2.7.- Estructura de un material compuesto laminado.....	15
Figura 2.8.- Estructura de un material compuesto con refuerzo tipo sándwich	15
Figura 2.9.- Efecto de orientación de las fibras en la resistencia a la tensión de compuestos epóxicos	16
Figura 2.10.- Orientación de refuerzo en un material compuesto	16
Figura 2.11.- Clasificación de las fibras	17
Figura 2.12.- Esquema de fabricación de la fibra de vidrio	19
Figura 2.13.- Formas comerciales de la fibra de vidrio (a)hilo cortado, (b) hilo continuo, (c) enrollado, (d) tejido.....	19
Figura 2.14.- Fibras celulósicas utilizadas como refuerzo	20
Figura 2.15.- Partes principales del bambú	23
Figura 2.16.- Sección transversal de la caña guadua.....	24
Figura 2.17.- Partes de una caña guadua	26
Figura 2.18.- Diseño esquemático de una lámina de tejido.....	28
Figura 2.19.- Tipos de tejidos planos. (a) Tejido tipo basket. (b) Tejido tipo Oxford. (c) Tejido tipo leno.....	28
Figura 2.20.- Estructura de tejidos. a) tejido tipo sarga, b) tejido tipo satén.....	29
Figura 2.21.- Clasificación de los materiales híbridos	30
Figura 2.22.- Esquema del equipo de conformado por molde a compresión	32
Figura 2.23.- Generación de vacío en el laminado	33
Figura 2.24.- Máquina universal MTE-50.....	34
Figura 2.25.- Configuración de carga para ensayos de flexión	34
Figura 2.26.- Máquina de impacto por caída de dardo.....	35
Figura 3.1.- Diagrama de flujo del procedimiento experimental	42
Figura 3.2.- Obtención de la fibra de caña guadua.....	43
Figura 3.3.- Prueba gravitatoria de tejido natural.....	45

Figura 3.4.- Pesos de tejidos reducidos	45
Figura 3.5.- Molde para probetas de tracción	73
Figura 3.6.- Moldes para probetas de flexión e impacto	73
Figura 3.7.- Aplicación de cera desmoldante	74
Figura 3.8.- Mezcla de resina y catalizador	74
Figura 3.9.- Probetas cubiertas por breather	75
Figura 3.10.- Pegado de bagging film	75
Figura 3.11.- Producto de la estratificación al vacío	75
Figura 3.12.- Curado de probetas	76
Figura 3.13.- Corte de las probetas	76
Figura 3.14.- Probetas con sobremonta	76
Figura 3.15.- Ensayo de tracción en máquina MTE-50.....	77
Figura 3.16.- Aplicación de cera desmoldante	78
Figura 3.17.- Mezcla de resina y catalizador	78
Figura 3.18.- Probetas cubiertas por breather	79
Figura 3.19.- Pegado de bagging film	79
Figura 3.20.- Producto de la estratificación al vacío	79
Figura 3.21.- Curado de probetas	80
Figura 3.22.- Corte de las probetas	80
Figura 3.23.- Ensayo de flexión en máquina MTE-50	81
Figura 4.1.- Tipos de fracturas en ensayos a tracción	116
Figura 4.2.- Gráfica comparativa de esfuerzo de tracción.....	117
Figura 4.3.- Comparación de esfuerzo máximo a la tracción	118
Figura 4.4.- Distribución T Student.....	121
Figura 4.5.- Esfuerzo máximo a la flexión	123
Figura 4.6.- Energía absorbida en el impacto	124
Figura 4.7.- Comparación gráfica del esfuerzo máximo a la tracción de varios compuestos	125
Figura 4.8.- Propiedades mecánicas de melamina.....	126
Figura 4.9.- Esfuerzo máximo de tracción	127
Figura 4.10.- Efectos principales para combinaciones	128
Figura 4.11.- Efectos principales para combinaciones	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Características y aplicaciones de polímeros termoestables.....	9
Tabla 2.2.- Propiedades de resina epóxica	10
Tabla 2.3.- Propiedades físicas de algunas resinas	11
Tabla 2.4.- Propiedades de fibras inorgánicas convencionales	18
Tabla 2.5.- Propiedades mecánicas de fibras de semilla y fruta.....	21
Tabla 2.6.- Longitud de la fibra de algodón	21
Tabla 2.7.- Resistencia de la fibra en grados por denier.....	22
Tabla 2.8.- Propiedades mecánicas de fibras de pastos y juncos	23
Tabla 2.9.- Ingredientes para el diseño de un material híbrido	30
Tabla 3.1.- Combinaciones del material reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón	37
Tabla 3.2.- Variable independiente.....	37
Tabla 3.3.- Variable dependiente.....	38
Tabla 3.4.- Plan de recolección de información	39
Tabla 3.5.- Densidad de caña guadua	44
Tabla 3.6.- Densidad de algodón	44
Tabla 3.7.- Densidad de tejido de fibras naturales	44
Tabla 3.8.- Familias de probetas a ensayar.....	49
Tabla 4.1.- Tipo de fallas en ensayos de flexión	116
Tabla 4.2.- Datos de esfuerzo máximo a la tracción	117
Tabla 4.3.- Esfuerzo máximo a la tracción	118
Tabla 4.4.- Resultados de ensayos a tracción	122
Tabla 4.5.- Esfuerzo máximo a la flexión	123
Tabla 4.6.- Resultados de ensayos de impacto	124
Tabla 4.7.- Comparación de esfuerzos máximos a la tracción	125
Tabla 4.8.- Ponderación de combinaciones	128
Tabla 4.9.- Propiedades mecánicas de material híbrido	129

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”

Autor: Pablo Daniel Mazón Ortiz

Tutor: Ing. Wilson Henry Vaca Ortega, Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental se realizó con el fin de buscar nuevas alternativas de refuerzo en materiales compuestos, reduciendo la dependencia de fibras sintéticas al igual que algunos derivados de combustibles fósiles, buscando nuevas alternativas en fibras vegetales.

En esta investigación se expondrán los resultados de la caracterización mecánica del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón, las probetas fueron fabricadas según especificaciones de las normas (ASTM D-3039) para tracción, (ASTM D-7264) para flexión y la norma (ASTM D-5628) para impacto. La fibra fue extraída manualmente y reducida en varias etapas hasta obtener las fibras deseadas, el algodón fue adquirido en el Rosario Salasaca donde también se confeccionó el tejido de caña guadua y algodón, una vez obtenida la resina epoxi y el tejido, se procedió a cortar el tejido plano a 0°, 45° y 135° según sea la combinación por realizar. El tipo de estratificación utilizada fue al vacío por lo que las probetas se fabricaron en CIDFAE.

La combinación con los mejores resultados fue matriz de resina epoxi reforzada con una capa de fibra de vidrio más dos capas de tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón con una orientación de 0° curada a horno y estratificada al vacío, dio como resultados en esfuerzo a la tracción 131,654MPa, esfuerzo máximo a la flexión 128,541 MPa y Resistencia a impacto 6,01 J esta combinación fue elegida para cumplir un objetivo direccionado a la reducción de fibras sintéticas.

UNIVERSITY TECHNICAL OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS
MECHANICAL ENGINEERING CARRIERS

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF HYBRID MATERIAL OF EPOXY MATRIX REINFORCED WITH GLASS FIBER AND TISSUE OF NATURAL FIBERS OF BAMBOO AND COTTON FOR THE DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES IN INDUSTRIAL APPLICATIONS.

Author: Pablo Daniel Mazón Ortiz

Tutor: Eng. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega

ABSTRACT

The present experimental work was carried out to look for new reinforcement alternatives in composite materials, reducing the dependence on synthetic fibers as well as some derivatives of fossil fuels, looking for new alternatives in vegetable fibers.

In this research, the results of the mechanical characterization of the composite material of epoxy matrix reinforced with fiberglass and natural fiber fabric of bamboo and cotton will be exposed, the specimens were manufactured according to specifications of the standards (ASTM D-3039) for traction, (ASTM D-7264) for bending and the standard (ASTM D-5628) for impact. The fiber was extracted manually and reduced in several stages until obtaining the desired fibers, the cotton was acquired in the Rosario Salasaca where the bamboo and cotton fabric was also made, once obtained the epoxy resin and the fabric, it was cut the flat fabric at 0°, 45° and 135° depending on the combination to be made. The type of stratification used was vacuum, so the test pieces were manufactured in CIDFAE.

The combination with the best results was a matrix of epoxy resin reinforced with a layer of fiberglass and two layers of natural fiber fabric of bamboo and cotton with an orientation of 0° oven-cured and vacuum laminated, resulted in maximum tensile stress 131,654MPa, maximum flexural stress 128,541 MPa and resistance to impact 6,01 J this combination was chosen to fulfill a goal aimed at the reduction of synthetic fibers.

CAPÍTULO I

ANTECEDENTES

1.1 TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES.

1.2 ANTECEDENTES

En el estudio realizado por Moe Moe Thwe y Kin Liao de School Materials Engineering, Nanyang Technological University , Singapore bajo el tema: “ DURABILITY OF BAMBOO-GLASS FIBER REINFORCED POLYMER MATRIX HIBRID COMPOSITES” concluye:

Al haber estudiado la resistencia del compuesto de polipropileno reforzado con fibras de bambú (BFRP) y el compuesto híbrido de polipropileno reforzado con fibra de vidrio y bambú (BGRP) al envejecimiento higrotérmico y su comportamiento a la fatiga bajo carga de tracción cíclica, las muestras moldeadas por inyección se expusieron en agua a 25°C durante hasta 6 meses y a 75°C durante 3 meses. La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad de las dos muestras mostraron una reducción moderada después del envejecimiento a 25°C durante los seis meses, pero se redujeron considerablemente después del envejecimiento a 75°C durante tres meses. La absorción de la humedad y la degradación de la resistencia a la tracción se suprimen usando anhídrido maleico polipropileno como agente de acoplamiento en ambos tipos de sistemas compuestos. Las dos muestras también se cargaron cíclicamente a una carga cíclica máxima de 35, 50, 65 y 80% de su tensión de tracción final. Los resultados sugirieron que el compuesto híbrido BGRP tiene mejor resistencia a la fatiga que el BFPR en todos los niveles de cargas probadas [1].

En el estudio realizado por Alneira Cuéllar de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales e Ismael Muñoz de la misma institución con sede en Medellín bajo el tema: “BAMBOO FIBER REINFORCEMENT FOR POLYMER MATRIX” concluyen:

Por sus significativas propiedades mecánicas y físicas las fibras de guadua angustifolia Kunth representan una alternativa viable como posible material de refuerzo en matrices poliméricas, utilizando un 10% de fibra modificado con 5% de soda actúan como verdadero refuerzo en las muestras analizadas con estos porcentajes. Las muestras reforzadas con un 20% de fibra muestran bajos resultados debido a la formación de aglomerados de fibra, imposibilitando la obtención de una buena mezcla fibra-polímero generando inadecuada adherencia [2].

En el estudio realizado por Martín Estrada Mejía de la Universidad de los Andes bajo el tema: “EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE LAS FIBRAS DE BAMBÚ (GUADUA ANGUSTIFOLIA) PARA SU USO POTENCIAL COMO REFUERZO MATERIALES COMPUESTOS” concluye:

Las modelaciones mostraron que los polímeros reforzados con haces de guadua son comparables en rigidez con aquellos reforzados con fibra de vidrio lo cual verifica la aptitud de las fibras de guadua para remplazar las fibras sintéticas como refuerzo estructural de materiales [3].

En el estudio realizado por Luis Eduardo Valarezo Jaramillo de la Universidad Politécnica Salesiana sede en Cuenca bajo el tema: “OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE UN MATERIAL BIOCUESTO A BASE DE UNA MATRIZ POLIMÉRICA Y REFORZADAS CON FIBRAS NATURALES DE GUADUA ANGUSTIFOLIA PROVENIENTE DEL ECUADOR” CONCLUYE:

En los ensayos a tracción los mejores resultados se obtuvieron en el compuesto de polipropileno de baja densidad que poseen una proporción de 5% de fibra sin tratamiento, los peores resultados para los ensayos a tracción se encontraron con el compuesto reforzado con fibras que posee 10% de fibras tratadas con 5% de NaOH para el propileno de baja densidad [4].

En el estudio realizado por Juan Gilberto Paredes Salinas de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema: “ESTUDIO DE POLÍMEROS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO Y CABUYA COMO MATERIAL ALTERNATIVO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN GUARDACHOQUES PARA BUSES” concluye:

El material híbrido de configuración fibra larga en un 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) tuvieron mejor comportamiento del análisis de combinaciones de propiedades mecánicas por lo que se le considera a este un potencial material híbrido para la fabricación de un guardachoque para bus, también concluye que las normas que se utilizan para la caracterización de los materiales compuestos se pueden utilizar para materiales híbridos también sin considerar el espesor que ya fue establecido y calculado mediante una media aritmética [5].

En el estudio realizado por Geovanny Santiago Benavides Salinas de la Universidad Técnica de Ambato con el tema: “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ” concluye:

Los resultados obtenidos de las probetas sometidas a los diferentes ensayos por tracción, flexión, impacto permiten destacar la caracterización del caso 3 como el mejor grupo que presenta las mejores propiedades mecánicas, la conformación del material para este caso es de 75% matriz resina epóxica, 18.25% de refuerzo de abacá y refuerzo de algodón de 6.75% utilizando 3 capas de refuerzo en tejido plano en orientaciones (0°,90°); (45°,135°); (0°,90°) respectivamente y espesor promedio de 4.88mm [6].

En el estudio realizado por Segundo Santiago Pacha Guashco de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y NUMÉRICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON TEJIDO PLANO DE FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL (CABUYA)” concluye:

Las probetas que mejor se comportaron a los ensayos de tracción fueron los que estaban constituidos de 70% de matriz epóxica y con refuerzo de 3 capas de tejido plano de fibra de cabuya con la cantidad de 22.5% con ángulo de 0° y 7.5% de fibras de algodón en ángulo de 90°, los valores promedios de las propiedades mecánicas de las probetas con un espesor de 3,02mm fueron una carga máxima de 3198.15 N, esfuerzo de fluencia de 5.07MPa, esfuerzo de rotura 43.54MPa, y módulo de elasticidad 6899.26MPa [7].

Lamentablemente no se ha podido encontrar datos sobre materiales híbridos reforzados con fibras naturales de algodón y caña guadua en forma de tejido y fibra de vidrio por lo que se limitó a buscar investigaciones pasadas sobre materiales compuestos que tengan

como refuerzo fibras de caña guadua y de algodón por separado o en combinación con otro tipo de fibras naturales.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad varios grupos de profesionales se han preocupado por el constante deterioro del medio ambiente, por lo que a través del tiempo surgen tendencias mundiales promoviendo el desarrollo de tecnologías limpias como: recursos energéticos no convencionales, materiales compuestos reforzados con fibras naturales, materiales híbridos entre otras. En la ingeniería de los materiales, los profesionales al momento de la creación de nuevos componentes y procesos de fabricación tienen la obligación de realizar un estudio previo donde se tome en cuenta desde la obtención de la materia prima, su transformación hasta el término de su vida útil. Siguiendo esta línea de innovación y protección del medio ambiente las fibras naturales toman protagonismo en la creación de materiales compuestos ya que todo producto tiene una mayor aceptación cuando se reduce de manera considerable su marca desfavorable en el medio ambiente, y es así que las utilidades de fibras vegetales han ganado aceptación por parte de la población mundial, pero dejan un gran problema al momento de la utilización industrial especialmente donde se debe reducir el espesor del objeto creado para dar una forma determinada, aparece un problema considerable, las fibras empiezan a aparecer de forma irregular y es muy probable que el acabado no sea el esperado es así como se empieza estudios para la solución de ese problema, en este punto aparecen los materiales híbridos los cuales ocupan fibras naturales y convencionales dispuestos en capas de refuerzo en un nuevo material brindando no solo un mejor acabado, también una buena resistencia mecánica bajo costo y poco peso [8].

A nivel mundial, en la industria aeronáutica existe gran preocupación ya que al momento de que un avión termina su vida útil este es retirado y se estima que desde 2004 hasta 2023 se eliminará un aproximado de 4000 unidades, por esta razón en la fabricación de aviones se está reduciendo el uso de materiales agresivos con el medio ambiente como el cadmio, cromatos, aluminio, aceros entre otros, poco a poco la utilización de este tipo de materiales se han ido sustituyendo por una gran cantidad de materiales compuestos. En Europa la utilización de fibras naturales en la industria automotriz se hace cada vez más

atractivo por lo que en un año se utilizan aproximadamente 80000 toneladas de fibras naturales en adecuación y reforzamiento de paneles termoplásticos [9].

En América del sur también se está utilizando materiales compuestos reforzados con fibras naturales, en Brasil se ha utilizado fibras naturales en la creación de techumbre reforzado con sisal, en Venezuela se han realizado investigaciones para utilizar materiales compuestos reforzados con fibras de bambú para aplicaciones aeronáuticas, en Colombia se han creado paneles laminados en materiales compuestos reforzados con fibras de coco para aplicaciones en embarcaciones navales [8,10,11].

En Ecuador el desarrollo de materiales compuestos reforzados con fibras naturales no ha tenido un desarrollo significativo, pero aun así se han venido realizando trabajos de investigación con diferentes fibras naturales tales como la cabuya, abacá, banano, caña guadua, coco y otras buscando entre ellas las que mejor se adapten para la utilización en el campo industrial. La utilización de un material híbrido como un material compuesto es de vital importancia, pero con una pequeña variación, cuando un material compuesto no cumple los requisitos necesarios en una aplicación determinada aparecen los materiales híbridos fusionando un cierto número de fibras naturales y de ser el caso el aumento de un material sintético fusionando sus propiedades físicas, mecánicas e incluso químicas resultando así un material con las mejores características de sus componentes.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Determinar características mecánicas del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio, y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón para identificar las propiedades mecánicas en aplicaciones industriales.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el orden de las fibras, la orientación del refuerzo, secado del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón.
- Determinar las propiedades mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón.
- Determinar el material híbrido que presente la mejor combinación de propiedades mecánicas para determinar el mejor material.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

El ser humano, al igual que los materiales y la ingeniería con el transcurso del tiempo han evolucionado, en los últimos años el mundo ha sufrido cambios dinámicos y los materiales no han sido la excepción, si se particulariza se puede afirmar que la ingeniería en materiales y las tecnologías relacionadas tienen una gran incidencia en la evolución de la humanidad. La disponibilidad de nuevos materiales y procesos de fabricación se ha convertido en el motor de la innovación contribuyendo durante todas las etapas significativas de desarrollo [8, 12].

2.1.1. Clasificación de los materiales

Los materiales se pueden clasificar en tres grupos: metales, cerámicos y poliméricos esta clasificación se basa en la estructura atómica y la composición química, además de estos existen dos grandes grupos de materiales técnicos de vital importancia los cuales son: materiales semiconductores y materiales compuestos (composite). Los materiales semiconductores son utilizados por las extraordinarias características eléctricas que presentan, mientras los materiales compuestos están constituidos por combinaciones de dos o más materiales diferentes [8, 12, 13].

a) Metales

Los metales son sustancias inorgánicas compuestas por uno o varios elementos metálicos como pueden ser el aluminio titanio hierro y también pueden contener algunos elementos no metálicos como el oxígeno carbono nitrógeno entre otros, los metales cuentan con una estructura cristalina donde sus átomos están dispuestos de manera ordenada, son buenos conductores térmicos y también eléctricos, poseen una resistencia alta al igual que su rigidez, ductilidad y resistencia al impacto [8, 12, 13].

b) Cerámicos

Los cerámicos son materiales inorgánicos constituidos por elementos metálicos y no metálicos que se enlazan químicamente, son aislantes eléctricos, térmicos, este tipo de materiales son capaces de resistir a una elevada temperatura, desde el punto de vista mecánico los cerámicos son duros pero muy frágiles. Los avances en técnicas de

procesamiento han conseguido que los cerámicos sean lo suficientemente resistentes a la fractura para que sean capaces de utilizarlos en aplicaciones de carga como los impulsores en motores de turbina [8, 12, 13].

c) Poliméricos

Los materiales poliméricos en su mayoría constan de largas cadenas moleculares por lo general se basan en compuestos orgánicos, la mayoría de polímeros no son cristalinos, son malos conductores de electricidad. Los polímeros tienen dos grandes grupos los termoplásticos donde las cadenas moleculares no se conectan rígidamente son dúctiles y confortables, por otro lado, están los termoestables son más resistentes, pero más frágiles debido a las cadenas moleculares que están fuertemente enlazadas [12, 13, 14].

d) Semiconductores

Los materiales semiconductores poseen propiedades eléctricas que se encuentran en medio de los aislantes y los conductores eléctricos, sus características eléctricas son extremadamente sensibles frente a la presencia de pequeñas concentraciones de impurezas, este tipo de material es utilizado para aplicaciones electrónicas, comunicación y esenciales para la fabricación de transistores circuitos integrados diodos entre otros [13, 14].

e) Materiales compuestos

Un material compuesto es el resultado de una serie de posibles combinaciones de materiales monofásicos de naturaleza distinta que se unen con un proceso no químico que dará como resultado propiedades que los materiales de forma separada no serán capaces de alcanzar. Los materiales compuestos se componen básicamente de un material que se encuentra como fase continua el cual se lo denomina matriz y otro denominado refuerzo, el refuerzo pueden ser partículas, fibras (largas, cortas y/o continuas), láminas o tejidos, en la figura 2.1 se representa la combinación más básica de un material compuesto [13, 14, 15].

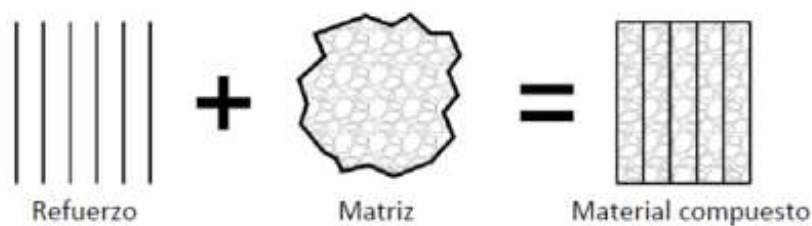


Figura 2.1.- Configuración básica de material compuesto. [16]

Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos de forma general se pueden clasificar según el tipo de matriz y el tipo de refuerzo.

2.1.2. Matrices

La matriz de un material compuesto se puede clasificar de la siguiente manera:

2.1.2.1. Matriz metálica

Las matrices metálicas utilizados en la fabricación de materiales compuestos son el aluminio, níquel titanio, magnesio al igual que varias aleaciones, las propiedades de este tipo de material compuesto son modificadas por tratamientos tanto mecánicos como térmicos. Los materiales compuestos que se realizan con una matriz metálica son reforzados en su gran mayoría con partículas de cerámicas duras para que sean más rígidos, resistentes a la fatiga, tracción, resistentes a la abrasión y desgaste, aumenten su dureza, resistentes a altas temperaturas de operación donde los materiales no reforzados no serían adecuados [15].

2.1.2.2. Matriz cerámica

Los materiales compuestos con matriz cerámica poco a poco han ganado espacio en aplicaciones estructurales y funcionales, presentando características únicas como baja densidad, una elevada resistencia al deterioro por altas temperaturas, buenas propiedades mecánicas y resistencia a la oxidación. Los materiales cerámicos debido a su naturaleza tienen como desventajas su fragilidad por lo tanto uno de los objetivos primordiales de combinarlos con otro tipo de materiales es el incremento de su tenacidad [8,15].

2.1.2.3. Matriz polimérica

Las matrices poliméricas son las más comunes en los materiales compuestos por la versatilidad que ofrecen, ya que los polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros son fáciles de procesar, son económicos, livianos, y presentan propiedades mecánicas óptimas para varias aplicaciones [8,15].

a) Matrices termoplásticas

Los polímeros termoplásticos que se utilizan como matrices una vez polimerizados pueden derretirse o ablandarse con calor según sea su aplicación final, este proceso se puede repetir varias veces sin que las propiedades se vean alteradas críticamente [5, 15].

b) Matrices elastoméricas

Los polímeros elastómeros son capaces de deformarse cinco a seis veces su longitud debido a esfuerzos considerables, pero recuperan su forma original cuando la fuerza deja de ser aplicada. El caucho natural se encuentra dentro de este tipo de matrices poliméricas.

c) Matrices termoestables

Este tipo de matrices poliméricas tienen una estructura reticular con entrelazamiento transversal de cadenas, generadas por el calor o una combinación de presión y calor durante su reacción de polimerización, este tipo de matriz polimérica se encuentra en forma de dos resinas en estado líquido, la primera contiene elementos de relleno que actúan como reforzantes estos pueden ser inorgánicos y orgánicos, la otra está constituida de agentes endurecedores y plastificadores al igual que agentes de curado. Los residuos de elementos termoestables no se pueden reciclar como los termoplásticos ya que no pueden ser refundidos ni recalentables para la creación de nuevos elementos. En la tabla 2.1 se observa varios polímeros termoestables con sus características principales y sus aplicaciones más comunes [5, 15, 13].

Tabla 2.1.- Características y aplicaciones de polímeros termoestables. [15]

Termoestables	Características	Aplicaciones típicas
Epoxis	Combinación excelente de propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión, dimensionalmente estables, buena adherencia, excelentes propiedades eléctricas, precio aceptable para procesos industriales.	Recubrimientos protectores, enchufes, adhesivos, láminas reforzadas con fibra de vidrio
Fenólicas	Estabilidad térmica hasta 150°C, susceptibles de formar materiales compuestos con varias resinas, costo bajo.	Accesorios eléctricos, teléfonos, carcasas de motores, distribuidores de automóviles.
Poliésteres	Propiedades eléctricas sobresalientes, utilización a temperatura ambiente o elevada, refuerzo con fibras, económico.	Paneles de automóviles, barcos pequeños, ventiladores, cascos, sillas.
Siliconas	Propiedades eléctricas sobresalientes, utilizar a temperatura ambiente o elevada, refuerzo con fibras, económico.	

Resinas epóxicas

La resina epóxica es una resina polimérica termoestable, es decir este tipo de resina adquiere la forma final mediante reacciones químicas una vez conformada no habrá manera de regresar a su estado inicial por lo tanto no es reciclable, este tipo de resina no genera productos de reacción al momento de endurecerse debido a sus enlaces cruzados, poseen baja contracción al curar, el costo de la resina epóxica es elevado considerando resinas similares utilizadas para los mismos fines. La resina epoxi es la matriz más común para compuestos avanzados y para una variedad de aplicaciones exigentes, la resina epoxi se ha utilizado ampliamente para estas aplicaciones debido a la presencia de excelentes propiedades como la excelente adhesión, alta resistencia a la corrosión, baja contracción en comparación a la resina poliéster y versatilidad de procesamiento la cual no involucra gases tóxicos como el estireno [15,6,27].

Las resinas epóxicas son utilizados como adhesivos, componentes para vehículos, partes moldeadas rígidas para varias aplicaciones eléctricas, artículos deportivos, tableros de circuitos, y como matriz para materiales compuestos de alto rendimiento reforzados con fibras, algunas propiedades de la resina epóxica se puede observar en la tabla 2.2.

Tabla 2.2.- Propiedades de resina epóxica. [6]

Propiedades	Matriz
	Resina Epóxica
Resistencia a la tensión (psi)	15000
Elongación %	6
Módulo de elasticidad (psi)	500
Densidad (g/cm ³)	1.17-1.25
Alargamiento	6-8
Fluencia	Muy baja
Temperatura de moldeo (°C)	Temp. Ambiente hasta 170
Temperatura de reblandamiento	80-130
Propiedades relógicas	Muy buena
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría del elemento
Contracción posterior (%)	Ninguna
Contracción fraguada (%)	1-3
Resistente a:	Alcohol, gasolina, aceites, grasas y benzol
No resiste a:	Ésteres, agua hirviendo, cetonas, ácidos y bases
Inflamabilidad	Difícil de inflamar

La familia de las resinas epóxicas se dividen principalmente en cinco grupos:

- Éteres glicéricos
- Éteres glicéricos
- Aminas glicéricas
- Alifáticas lineales
- Cicloalifáticas

Propiedades de las resinas

En la tabla 2.3 se puede observar las propiedades físicas de las distintas resinas que se pueden encontrar.

Tabla 2.3.- Propiedades físicas de algunas resinas. [15]

Propiedades	Matriz				
	Poliéster insaturado o UP	Resina Epóxi	Resina Fenólica	Resina Vinileste	Resina Plimda
Densidad (g/cm ³)	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.3	1.27-1.42
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo °C	Temp. Ambiente hasta 180	Temp. Ambiente hasta 170	150-190	Temp. Ambiente hasta 175	350
Temperatura reblandecimien	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas	Muy buenas				Depende del fabricante
Contracción del fraguado (%)	6-10 inicial entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticament e ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticament e ninguna
Tiempo de almacenamien	Temp. Ambiente 6 meses	Baja Temp. 6 meses	Temp. Ambiente 6 meses	Temp. Ambiente 6 meses	Temp. Ambiente 6 meses

2.1.3. Refuerzo

El refuerzo también llamado fase discontinua ocupa una parte muy importante en los materiales compuestos ya que soporta la carga además de eso puede aportar con propiedades al material compuesto que se esté conformando por ejemplo puede aportar características de aislamiento o conductividad eléctrica, propiedades estructurales, estabilidad térmica, etc. A más de brindar propiedades al material en conformación del refuerzo dependen las propiedades mecánicas como rigidez tenacidad, resistencia a la tracción, entre otros. [8]. Según el tipo de refuerzo los materiales compuestos están clasificados como se muestra en la figura 2.2 la cual se presenta a continuación:

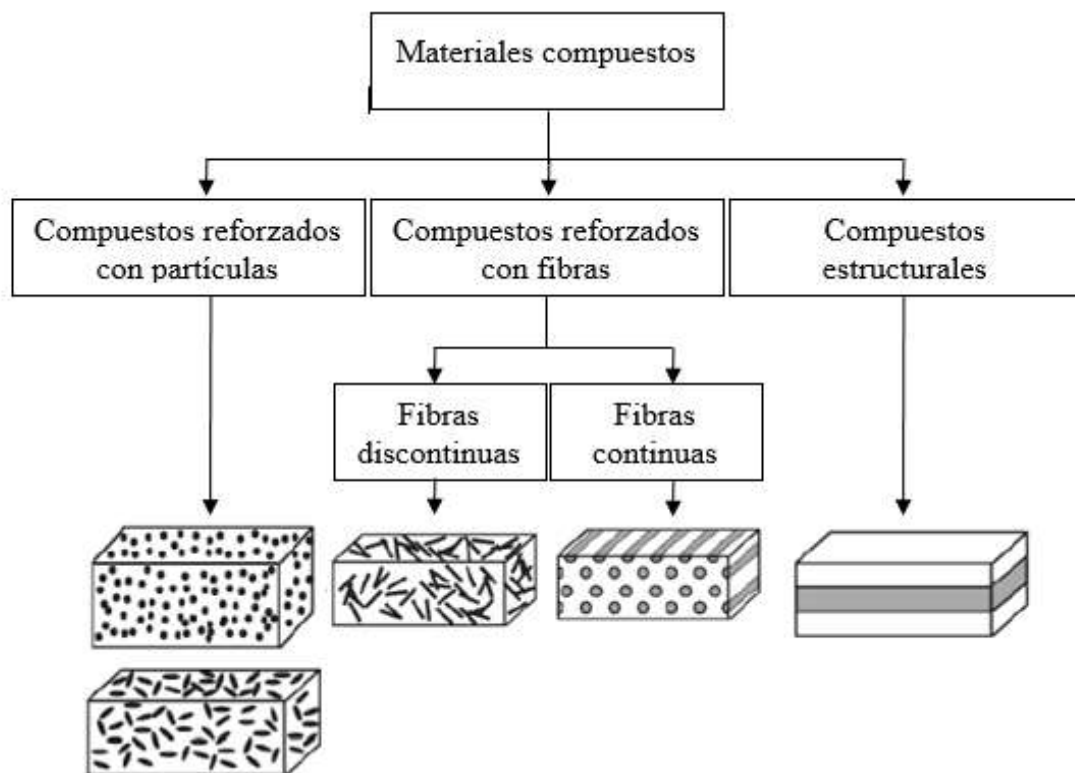


Figura 2.2.- Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzos. [15]

2.1.3.1. Compuestos reforzados con partículas

Las partículas utilizadas en un material compuesto pueden ser de gran tamaño o consolidadas por dispersión. Las partículas de gran tamaño que se ocupan en los materiales compuestos hacen que la fase de las partículas sea más rígida y dura que la matriz, no pueden ser tratadas a nivel molecular o atómico, las partículas como refuerzo restringir el movimiento de la matriz alrededor de cada partícula. Es importante destacar que las partículas no son un refuerzo eficiente si se refiere a propiedades mecánicas, este tipo de refuerzo se ocupa para dar a un material características multifunción. En lo que

respecta con materiales compuestos reforzados con partículas consolidadas por dispersión tiene un diámetro entre 10 y 100nm, las partículas consolidadas por dispersión dificultan o en muchos casos impiden el movimiento de dislocación y la matriz se encarga de soportar la mayor parte de la carga que se le vaya a aplicar, esta fase por lo general es de tipo metálica en la figura 2.3 muestra una matriz que se ha reforzado con partículas [8].

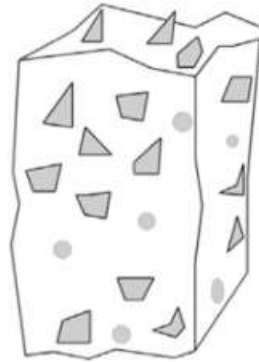


Figura 2.3.- Matriz reforzado con partículas. [8]

2.1.3.2. Compuestos reforzados con fibras

Los materiales compuestos con mayor importancia desde el punto de vista tecnológico son los que tienen una fase dispersa formada por fibras ya que esta combinación de matriz refuerzo tiene una mejor resistencia a la rigidez, fatiga y una buena relación resistencia peso al unir fibras rígidas y resistentes en una matriz más dúctil y blanda. De acuerdo con el diámetro y las características las fibras pueden agruparse en tres grupos: whiskers, fibras y alambres.

Whiskers son monocristales delgados que cuentan con una relación longitud sobre diámetro muy grande, son virtualmente libre de defectos lo que ayuda a entender su alta resistencia y su exuberante costo. La figura 2.4 muestra whiskers como refuerzos utilizados en un material compuesto.



Figura 2.4.- Refuerzos de whiskers. [8]

Fibras son materiales policristalinos cuentan con diámetros pequeños y una gran longitud, por lo general el material de las fibras son poliméricos o cerámicos, aunque con el pasar de los años y el incremento de una conciencia ambientalista se ha venido utilizando fibras naturales como la cabuya, coco, abacá, algodón, caña guadua entre otras, en la figura 2.5 se puede observar fibras como refuerzo en un material compuesto [8].



Figura 2.5.- Refuerzos de fibras. [8]

Alambres tienen diámetros grandes por lo general son de tungsteno, acero, molibdeno y son usados como refuerzos radiales para los aros de automóviles. La figura 2.6 se aprecia refuerzos de alambres en una matriz.

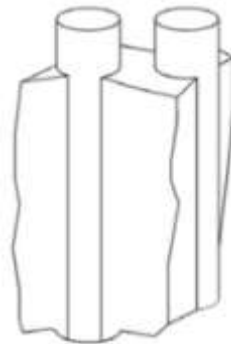


Figura 2.6 .- Refuerzos de alambres. [8]

2.1.3.3. Compuestos estructurales

Las propiedades de este tipo de compuestos dependen fuertemente de la geometría de los elementos estructurales y también dependen de las propiedades de los materiales que lo constituyen. Los compuestos estructurales más destacados son los laminares y paneles tipo sandwich. Los compuestos laminares se encuentran constituidos por láminas que tienen una dirección determinada así como se presenta en la madera y en materiales compuestos poliméricos que se hayan reforzado con fibras alineadas, las capas se apilan para posteriormente consolidarlas de tal forma que la orientación de las fibras en cada una de las capas vaya variando así el compuesto laminado tiene una gran resistencia en

ambas direcciones, en la figura 2.7 se puede observar la estructura de un compuesto laminado [8].

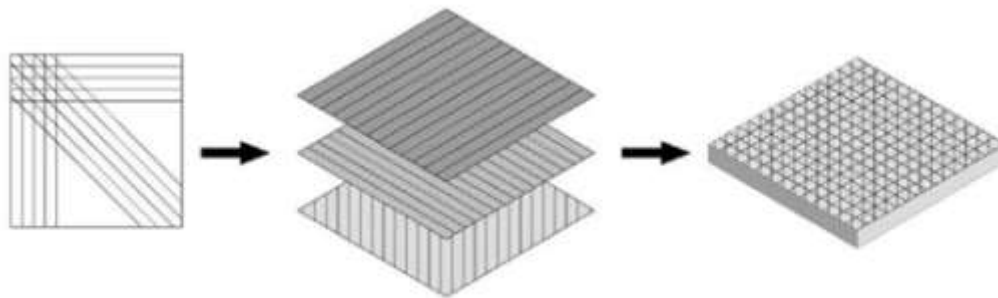


Figura 2.7.- Estructura de un material compuesto laminado. [8]

Los materiales compuestos con refuerzo estructural tipo sándwich están constituidos por capas delgadas para su recubrimiento unidas a un material ligero como relleno que puede ser una espuma de cualquier polímero, un ejemplo bastante común es el cartón corrugado que cuenta con un núcleo corrugado de papel que se une por los dos lados a un papel grueso y plano. En la figura 2.8 se ilustra una estructura de un material compuesto reforzado con una estructura tipo sándwich [8].

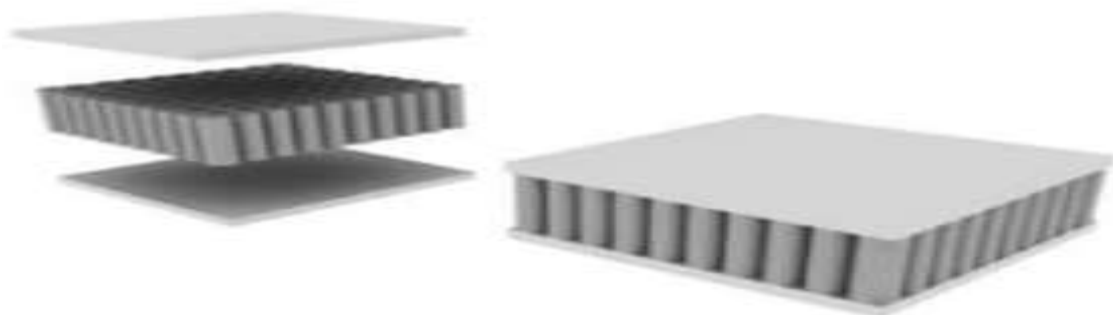


Figura 2.8.- Estructura de un material compuesto con refuerzo tipo sándwich. [8]

2.1.4. Fibras

Las fibras desde ya años atrás se han utilizado como materia prima para la confección de múltiples productos como papel, telas, artesanías, al paso de los años y en busca de nuevos materiales con mejores propiedades, las fibras fueron empleadas como refuerzo en matrices de distintas características para la creación de materiales compuestos también conocidos como composites.

2.1.4.1. Orientación de las fibras

La orientación de las fibras que se introducen en la matriz puede ser diversas, las fibras cortas pueden tener una orientación aleatoria, con fibras largas se pueden conseguir arreglos unidireccionales que pueden producir propiedades anisotrópicas con rigidez y

resistencia paralelas a las demás fibras. Las fibras que se ubican en una dirección por lo general se les denomina capa cero para indicar que el esfuerzo que se aplicará se dará en la misma dirección del arreglo de las fibras arrojando resultados prometedores, pero si el esfuerzo se aplica de forma perpendicular a la dirección de las fibras las propiedades resultantes que se obtendrán serán pobres. En la figura 2.9 se puede observar la resistencia a la tensión que pueden soportar varios arreglos de fibras en una matriz con diferentes grados de orientación [14].

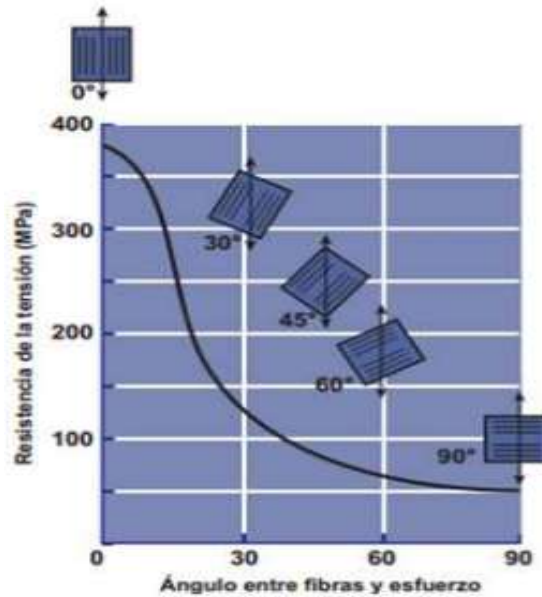


Figura 2.9.- Efecto de orientación de las fibras en la resistencia a la tensión de compuestos epóxicos. [14]

En la matriz de un material compuesto se pueden introducir fibras largas en varias direcciones gracias a capas de 0° 45° 90° que proporcionarán refuerzos en varias direcciones como se observa en la figura 2.10.

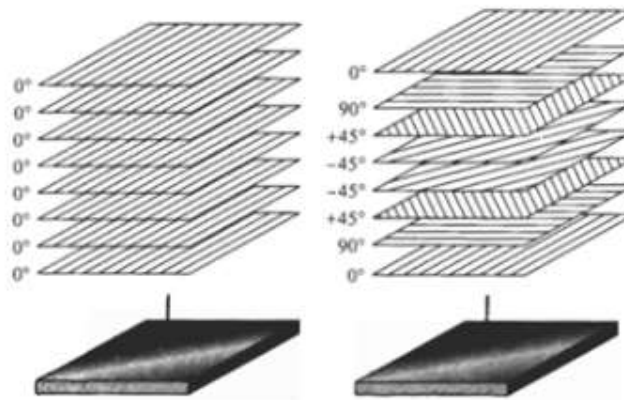


Figura 2.10.- Orientación de refuerzo en un material compuesto. [14]

2.1.4.2. Tipos de fibras

Las fibras que se pueden utilizar como refuerzo se clasifican en fibras convencionales y según su origen se clasifican en fibras naturales y orgánicas, la figura 2.11 ilustra de mejor manera la clasificación de las fibras.

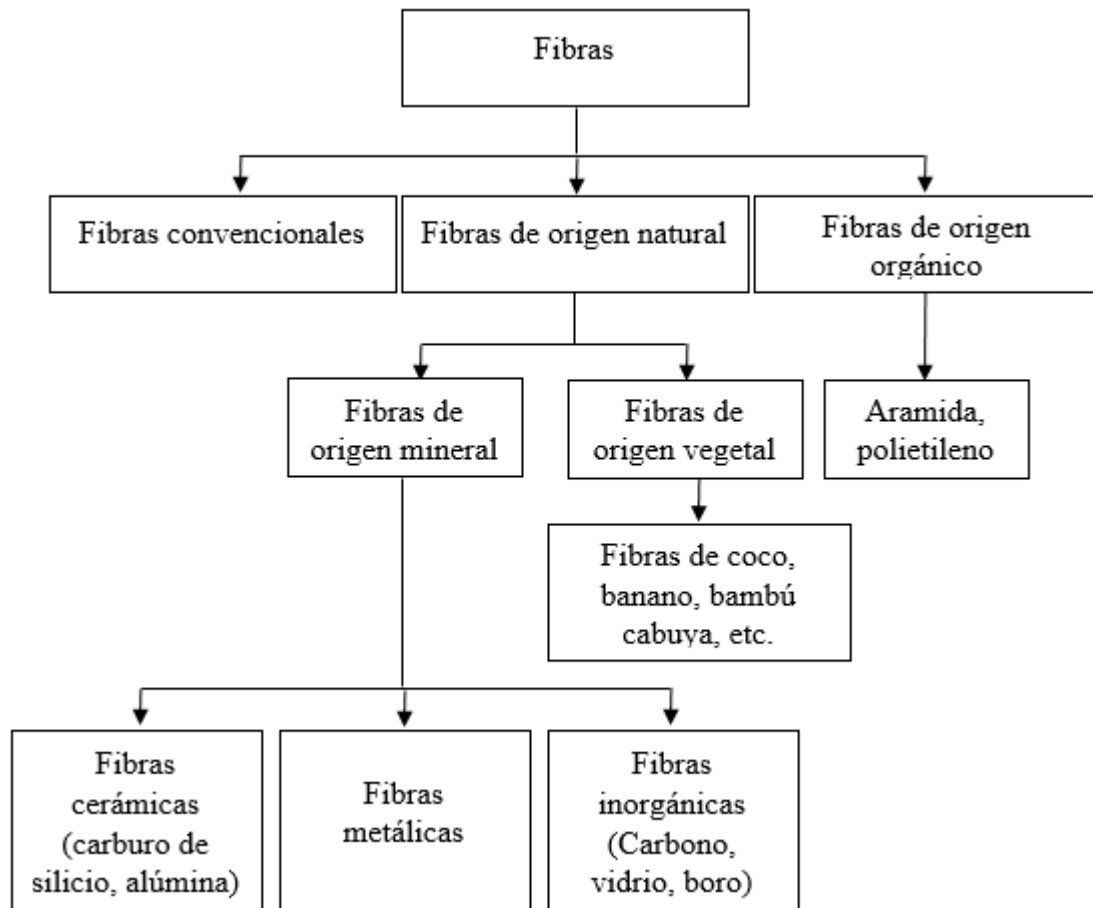


Figura 2.11.- Clasificación de las fibras. [15]

1. Fibras convencionales

En los materiales compuestos las fibras convencionales son las más utilizadas, entre las más comunes están las fibras de carbono, las fibras poliméricas y las fibras inorgánicas, la fibra de vidrio pertenece a esta categoría la cual es regularmente utilizada por su bajo costo y su alta resistencia.

Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un conjunto de fibras de cristal que se encuentran contenidas de forma continua o discontinua dentro de una matriz polimérica, la fibra de vidrio es producida en grandes cantidades debido a la demanda que tiene esta para la creación de objetos, ya que presenta varias ventajas como: su bajo costo, alta resistencia química, alta

resistencia a la tracción y la variedad de tipo de fibras de vidrio que se pueden encontrar como tipo E,C o S el más utilizado es la tipo E (eléctrico) ya que su resistencia mecánica, eléctrica, rigidez y facilidad de mojarse para su correcta utilización. En la tabla 2.4 que se encuentra a continuación se observa algunas propiedades de los diferentes de fibras inorgánicas convencionales que se encuentra en el mercado [5,15,17].

Tabla 2.4.- Propiedades de fibras inorgánicas convencionales. [5,15]

Fibras (GPa)	Módulo (GPa)	Resistencia (GPa)	Densidad (g/cm³)	Deformación Rotura %
Vidrio E	75	3.5	2.58	4
Vidrio S	90	4.5	2.46	-
Vidrio C	69	3.3	2.49	-
Vidrio R	85	3.4 – 4.4	2.59	5.2
Boro	415	3.5	2.5-2.6	-
SiC	400	3.45	3	-
Al₂O₃	350-380	1.7	3.7	-

Entre las características más sobresalientes de la fibra de vidrio tene4:

- Compatibilidad con la mayoría de matrices orgánicas.
- Alta adherencia fibra-matriz.
- Estabilidad dimensional.
- Incombustibilidad.
- Características eléctricas adecuadas.
- Resistencia mecánica.
- Alta relación peso-resistencia.
- Facilidad de fabricación y costo relativamente bajo.

Obtención de la fibra de vidrio

El proceso de obtención de fibra de vidrio comienza con la ubicación de la materia prima en el contenedor de la mezcla de lotes la cual se traslada hasta el horno de fundición, el vidrio fundido fluye por gravedad a través de los agujeros del buje de platino formando finos filamentos continuos, estos se juntan en un solo hilo. El diámetro final que se conseguirá dependerá de los orificios de los casquillos, la viscosidad y la cabeza de vidrio

en la tolva. En la figura 2.12 poder encontrar el proceso de obtención de la fibra de vidrio, y la figura 2.13 muestra algunas formas en las que la fibra de vidrio está disponible comercialmente [17].

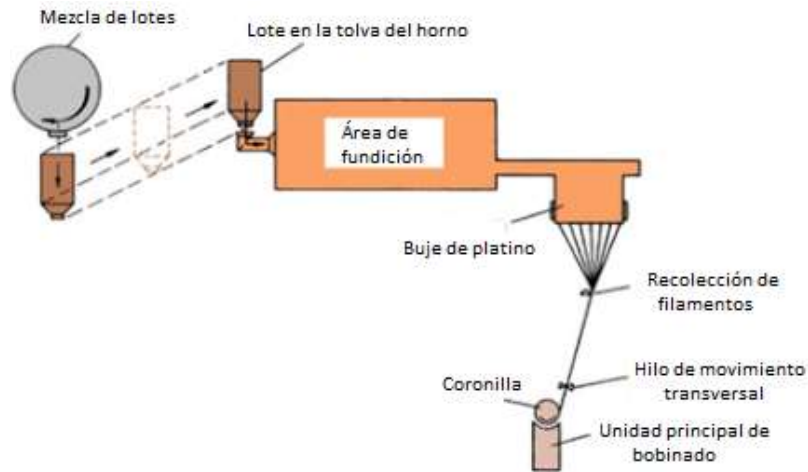


Figura 2.12.- Esquema de fabricación de la fibra de vidrio. [17]

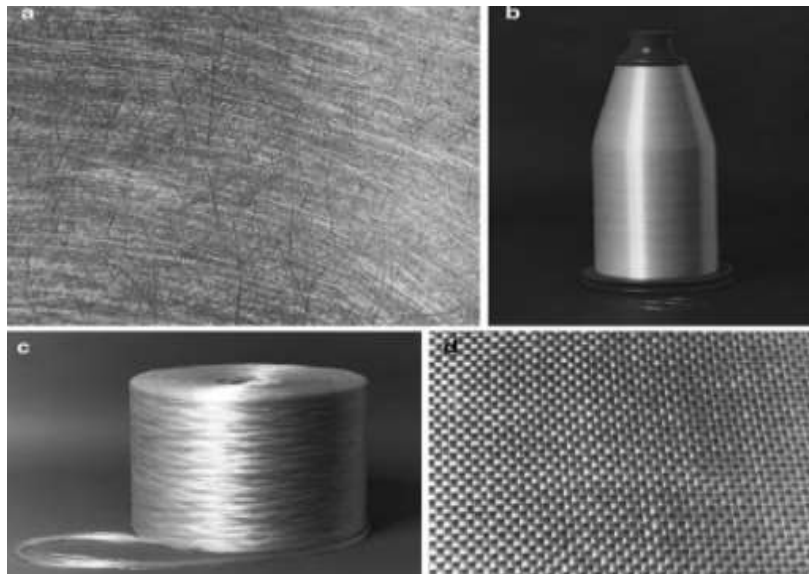


Figura 2.13.- Formas comerciales de la fibra de vidrio (a)hilo cortado, (b) hilo continuo, (c) enrollado, (d) tejido. [17]

2. Fibras naturales

Las fibras naturales están presentes en el material fibroso vegetal que es el resultado de la fotosíntesis, las más utilizadas son las fibras vegetales que se pueden encontrar fácilmente ya que están distribuidas sobre la biomasa en forma de árboles, plantas, cultivos, y son de renovación rápida con respecto a otro tipo de fibras. Las fibras naturales tienen propiedades mecánicas, y su aprovechamiento data desde el año 6000 a.c. como

refuerzo de momias y cerámicas, tiempo después se utilizaron para la creación de lienzos y textiles [3,15,18].

Existe una gran cantidad de fibras naturales que se pueden utilizar como refuerzo en un material compuesto, las fibras más utilizadas en estos procesos son fibras celulósicas reconocidas por su densidad baja y por ser renovables este tipo de fibras se pueden clasificar como se muestra en la figura 2.14.

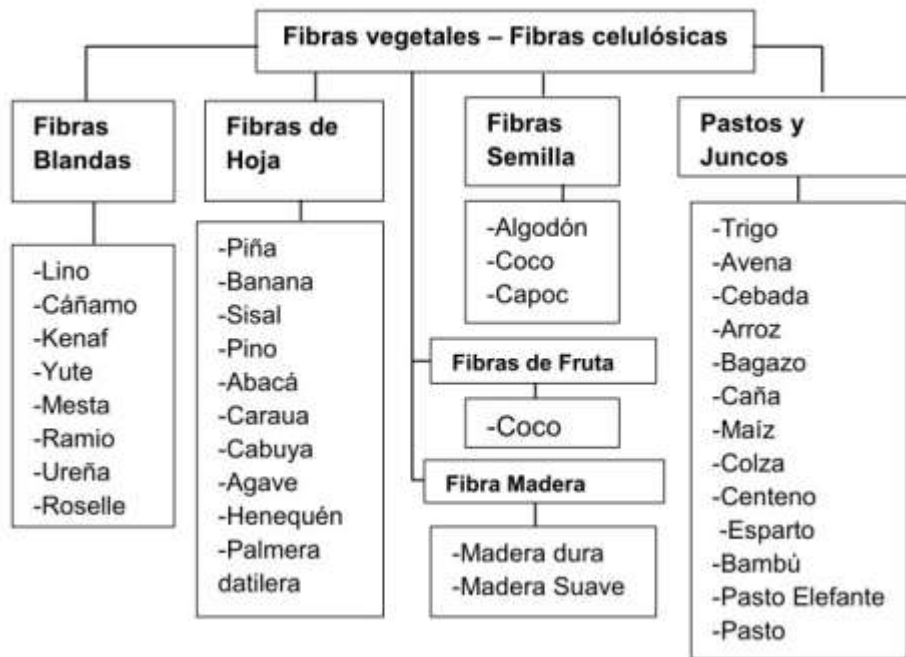


Figura 2.14.- Fibras celulósicas utilizadas como refuerzo. [4]

a) Fibras blandas

Provenientes de tallos rígidos, cada una de estas plantas tiene características diferentes, pero dependen de la forma que se la cultiva, las fibras blandas son suaves con una densidad de 0.03 a 1.5 g/cm³ el porcentaje de celulosa que posee está desde 44% a 91% las fibras blandas cuentan con una sorprendente capacidad de absorber la humedad, tiene características conductoras y soportan temperaturas altas [4].

b) Fibras de hoja

Las fibras de hoja están presentes en los sistemas fibrovasculares en plantas Monocotiledóneas Perennes, este tipo de fibras se da en África Oriental, Indonesia, América Central, América del sur, las fibras de hoja poseen una mayor densidad por lo que son idóneas en aplicaciones que se necesite mayor peso por volumen, su resistencia a la tracción va desde 463 a 1560MPa. En lo que respecta a su composición química

contiene de 5% a 14% de lignina la cual impide la digestibilidad con una matriz, cuando un tipo de fibra presenta niveles altos de lignina es necesario buscar un proceso de reducción para tener un ambiente más confortable en la adherencia refuerzo matriz [4].

c) Fibras de fruta y semilla

Son obtenidas de las semillas de las plantas las cuales por lo general poseen dos tipos de aplicaciones, la primera, es la alimentación de personas y ganados, su otra aplicación es en el campo textil uno de los ejemplos más relevantes es el algodón. En la tabla 2.5 que se presenta a continuación se puede observar sus propiedades mecánicas las cuales son altas por lo que son las primeras opciones que utilizar en el campo textil o como refuerzo para un material compuesto [4].

Tabla 2.5.- Propiedades mecánicas de fibras de semilla y fruta. [4]

Fibra	Densidad (g/cm³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Yong (GPa)	Alargamiento a la ruptura (%)
Coco	1.15-1.46	131-220	4-6	1.5-25
Algodón	1.21-1.6	287-800	5.5-12.6	2-10

Algodón

El algodón es la fibra natural más utilizada en el mundo, se lo emplea todos los días, por ejemplo, en la ropa que usamos o los muebles, el algodón se ha extendido a más de 80 países y representa el 56% de todas las fibras para prendas de vestir. El algodón se puede identificar de varias formas como la inspección visual, microscopia y pruebas de solubilidad. La longitud es el atributo más importante de la fibra de algodón en la tabla 2.6 se puede observar la longitud media que pueden tener las fibras de algodón.

Tabla 2.6.- Longitud de la fibra de algodón. [19]

Longitud media (plg)	Calidad
Por debajo de 0.99	Corto
0.99-1.10	Medio
1.11-1.26	Largo
Por encima de 1.26	Extra largo

La resistencia de la fibra se mide en gramos por denier, se determina como la fuerza necesaria para romper la fibra de algodón sujeta en una mordaza de 1/8 de pulgadas de distancia, la resistencia a la rotura de algodón es de aproximadamente 3.0 a 4.9 g/denier, y el alargamiento a la rotura es de aproximadamente 8-10%. En la tabla 2.7 se muestra los niveles de tracción típicos del algodón [19].

Tabla 2.7.- Resistencia de la fibra en grados por denier. [19]

Grado de fuerza	Resistencia de la fibra (g/denier)
Muy fuerte	Mayor a 31
Fuerte	29-30
Promedio	26-28
Intermedio	24-25
Débiles	Menor a 23

El color del algodón se determina por dos parámetros el grado de reflectancia (DR) y el amarilleo (+b). el grado de reflectancia muestra el brillo de la muestra, y el amarilleo representa el grado de pigmentación del algodón. El color de las fibras de algodón se ve afectado por las condiciones climatológicas, el impacto de los insectos y los hongos, el tipo de suelo, las condiciones de almacenamiento entre otros. Hay cinco grupos reconocidos de color: blando, gris, manchado, teñidas y amarillo [19].

Propiedades químicas de las fibras de algodón

El algodón es una fibra celulósica natural y se hincha en un entorno de alta humedad, en agua y en soluciones concentradas de ciertos ácidos, sales y bases, el efecto de hinchamiento se suele atribuir a la absorción de iones altamente hidratados. La recuperación de humedad para el algodón es de aproximadamente 7.1-8.5% y la absorción de humedad es de 7-8% [19].

d) Pastos y juncos

Este tipo son de gran importancia a nivel mundial debido a su alto contenido de fibra, son utilizadas principalmente como fuente de alimentación, además son conocidas por sus propiedades mecánicas por lo que se las utiliza para la creación de materiales compuestos, en este tipo de fibras principalmente se puede encontrar trigo, centeno, arroz, avena, cebada. Las fibras más reconocidas en el grupo de pastos y juncos es la fibra de bambú, es un material ligero por lo que cuenta con una densidad de 0.6 a 0.8 g/cm³ tiene una

resistencia a la tracción que va de 187 MPa a 1152MPa y módulo de elasticidad de 8 GPa a 150GPa valores que sobrepasan a la mayoría de fibras naturales. En la tabla 2.8 se puede apreciar otras propiedades de este tipo de fibras [4].

Tabla 2.8.- Propiedades mecánicas de fibras de pastos y juncos. [4]

Fibra	Densidad (g/cm ³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de Yong (GPa)	Alargamiento a la ruptura (%)
Bagazo	0.5-1.25	20-290	2.7-17	0.9
Bambú	0.6-0.8	187-1152	8-150	2.88-3.52

Bambú (*Guadua Angustifolia*)

Es una planta que tiene un tallo nodulado de crecimiento uniforme y muy rápido, es liviano y hueco en su parte central, el bambú tiene aproximadamente 1450 especies desde plantas pequeñas a bambúes de madera gigante, es uno de los más antiguos materiales utilizados en la construcción. El 64% de la producción recae en el sur de Asia, en América del sur se encuentra el 33% de su producción mundial, y lo que resta de la producción se encuentra en África y Oceanía. Como ya se mencionó anteriormente el bambú ha ganado espacio como una fibra verde, este tipo de fibras se puede extraer de hojas, ramas y el tronco mediante procesos químicos, punzonado manual o mecánico y a por procesos de exposición de vapor. En la figura 2.15 se puede observar la estructura de un bambú [4,20, 21].

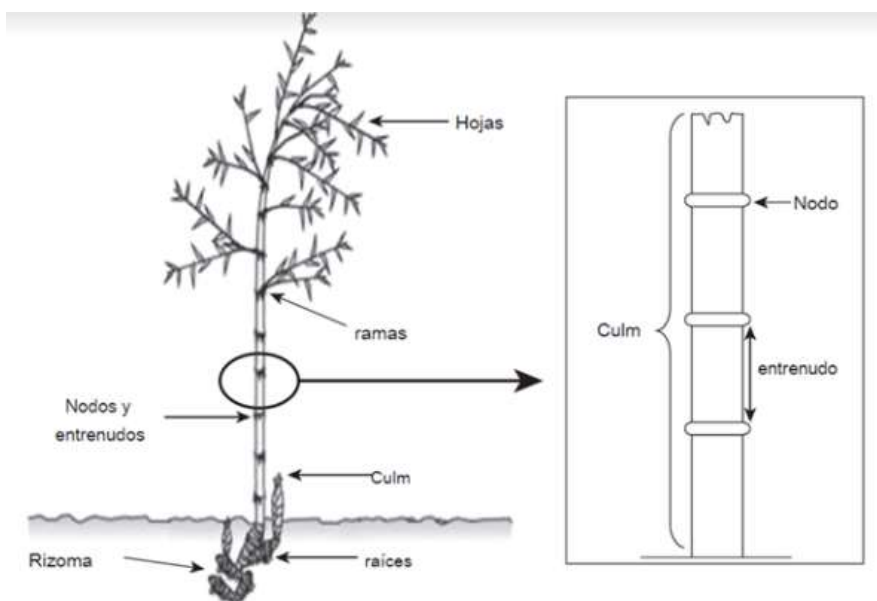


Figura 2.15.- Partes principales del bambú. [20]

Estructura de bambú

El bambú está estructurado por: raíces, el tallo, nodos, entrenodos, hojas. La caña de bambú es hueca y de forma cilíndrica, los nodos se encuentran por todo el tallo los cuales sirven como un disco ubicado entre cada una de las secciones de la caña, los nodos sirven para prevenir el pandeo al momento que el bambú se doble. El tallo está compuesto de células parénquimas en un 52%, 40% fibras y tejido conductor 8%. Los haces vasculares se distribuyen de forma amplia desde la periferia hacia la parte interior de la caña, los haces son más pequeños y densos cuando más cerca de la periferia se encuentre, lo que quiere decir que su densidad es mayor en la parte exterior. En la figura 2.16 se puede apreciar la sección transversal de la caña guadua [3,20].

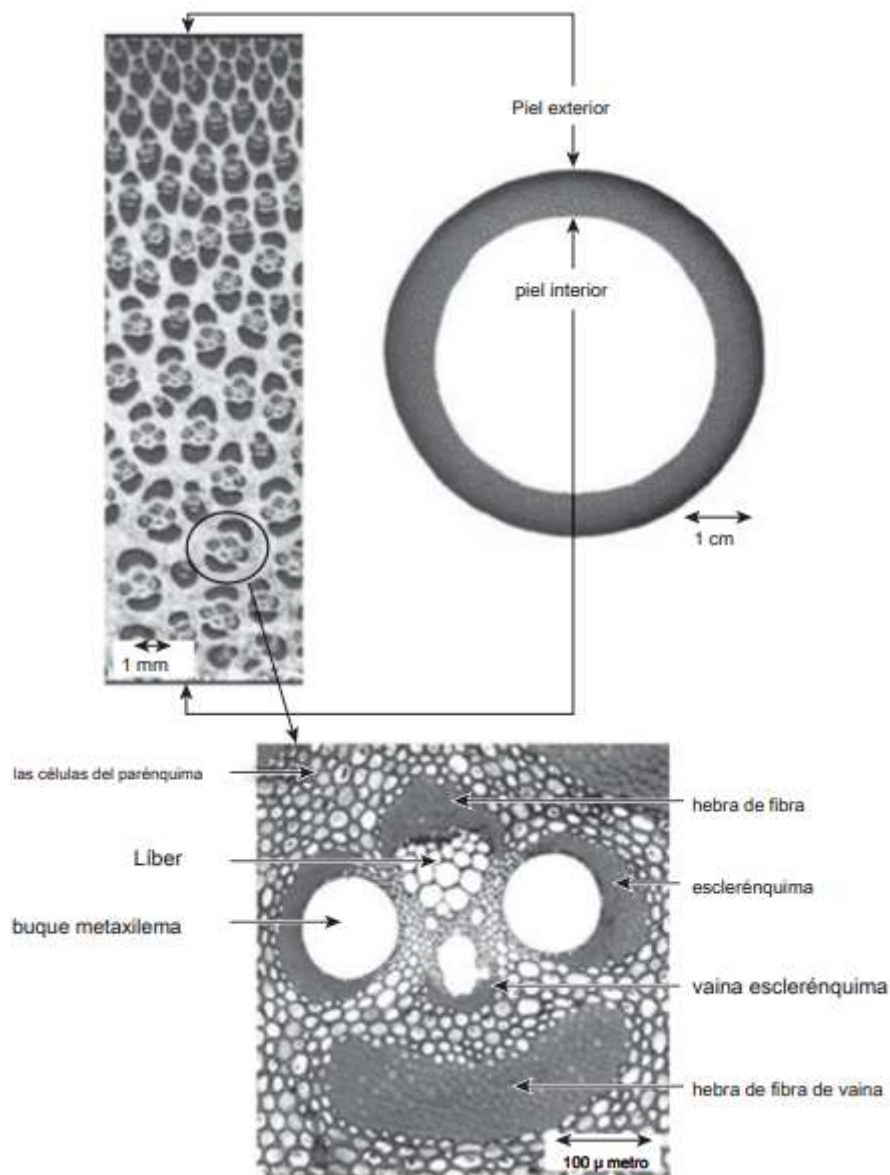


Figura 2.16.- Sección transversal de la caña guadua. [20]

Partes de una caña guadua

La caña guadua está conformado por seis partes el rizoma, cepa, basa, sobrebasa, varillón y la copa, las cuales se describen a continuación y se ilustran en la figura 2.17.

El rizoma es un tallo subterráneo aproximadamente tiene una longitud de 2 metros, se lo conoce popularmente como caimán, es utilizado para decoraciones, confección de juegos infantiles y mueble [3,4].

La cepa es la sección con mayor diámetro de la caña guadua proporciona la mayor resistencia ya que los entrenudos en esta sección son más cortos, con 3 metros de longitud, son utilizados como columnas en las construcciones y también como cercos [3, 4].

La basa es la parte de la caña guadua más comercial debido al diámetro que tiene cuentan con una longitud de aproximadamente 8 metros, las esterillas se forman de esta parte de la caña la cual sirve para construcciones de paredes [3,4].

La sobrebasa se comercializa por la misma razón que la basa, tienen una longitud de 4 metros aproximadamente, se utiliza como elemento que soporta estructuras de concreto en construcciones, también como postes de espalderas para los cultivos [3, 4].

El varillón esta sección tiene el diámetro menor y cuenta con una longitud de 3 metros, son utilizados como correas de techos con tejas de paja o barro [3,4].

La copa es el extremo de la caña guadua, esta parte cae en el suelo y sirve como materia orgánica para la misma caña [3,4].

La caña guadua es una planta de rápido crecimiento ya que en cuatro años se desarrolla por completo, para llegar a la madurez debe pasar por cuatro etapas que a continuación se describe.

Etapa de renuevo. - en esta etapa ocurre el brote donde aparecen hojas de color café las cuales la protegen de parásitos, esta etapa tiene un tiempo estimado de 150 a 180 días [4].

Etapa de verde, joven o viche. - es la etapa número dos aquí ya aparecen ramas laterales y su respectivo follaje presenta un color verde con varias bandas de color blanco en los nudos, en esta etapa no se la puede ocupar físicamente pero ya cuenta con azúcares y almidones [4].

Etapa gecha. - la caña guadua adquiere propiedades mecánicas, físicas por lo tanto al llegar a esta etapa es la hora de cosecha, la mejor manera de identificar que ya está una caña guadua en la etapa tres es el cambio de color de verde intenso a amarillo con manchas de color blanco o gris esta transición ocurre de 3 a 5 años [4].

Seca. esta es la última etapa de la caña guadua donde cambia su color de amarillo a amarillo rojizo, este indicador muestra que ha perdido las propiedades mecánicas [4,21].

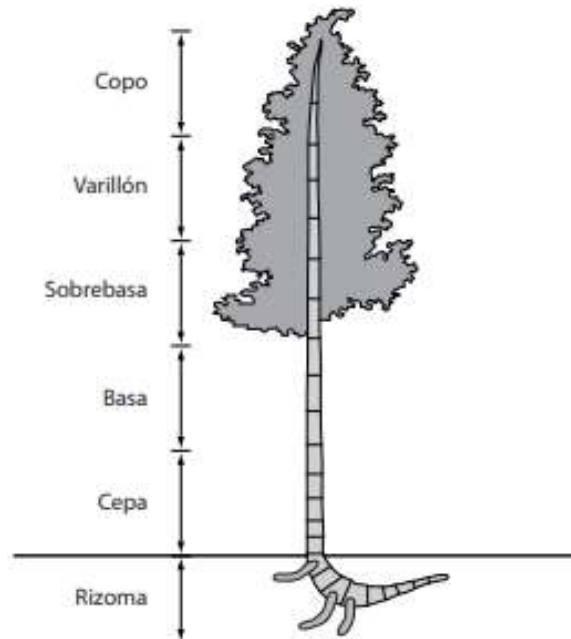


Figura 2.17.- Partes de una caña guadua. [3]

Propiedades químicas

Los principales componentes químicos de la caña guadua son la celulosa con un 40-50% el cual se asemeja al porcentaje de las maderas blandas y duras, lo que hace de la caña guadua una materia prima adecuada para la industria de pulpa de papel. La celulosa es el compuesto más importante para la fabricación de un material compuesto ya que un porcentaje alto de celulosa conduce a una mayor rigidez. La lignina es un componente químico que se encuentra en gran porcentaje en la caña guadua contribuye a su alto poder calorífico y su rigidez estructural para la utilizarlo como material de construcción. En algunas especies de bambú existe un alto contenido de cenizas que afectan negativamente a las herramientas durante las operaciones de mecanizado y procesamiento de pulpa, el contenido de cenizas es principalmente de sílice junto con metales tales como el calcio y el potasio [20].

Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de las fibras de las plantas dependen de sus propiedades morfológicas tales como la orientación de las fibras, contenido de celulosa, estructura cristalina, y el diámetro o área de sección transversal de las fibras. La caña guadua es uno de los recursos más populares que están disponibles en abundancia, en investigaciones anteriores informaron que las propiedades mecánicas de las fibras de la caña guadua son extremadamente inestables debido a su densidad y contenido de humedad variable siendo un material heterogéneo y anisotrópico, es importante destacar que las propiedades mecánicas de la caña guadua mejoran con la edad. En la tabla 2.8 ya presentada se puede encontrar la resistencia a la tracción, el módulo de Yong entre otras [20].

2.1.5. Tejidos

Los materiales fibrosos son una gran alternativa para utilizarlos como refuerzo en materiales compuestos y es importante fijarse en la forma como se ubica en la matriz debido a que este es un factor fundamental al momento de determinar sus propiedades finales que resultará en el nuevo material. Las configuraciones que poder utilizar son fibra larga, fibra corta y tejida. Existe la posibilidad de obtener varias modificaciones debido a la forma que se entrelazan las fibras, dando como resultados materiales compuestos con distintas propiedades mecánicas. Existen varios defectos al utilizar fibras como refuerzo en una matriz, por ejemplo, si a las fibras se les coloca en el sentido que la fuerza será aplicada el futuro material presentará una resistencia mayor, y si las fibras son colocadas perpendicularmente entre si el material se tornará isotrópico pero su tenacidad y resistencia disminuirá lo que será perjudicial al momento de utilizarlo en aplicaciones estructurales. La mejor manera de reducir estos problemas es utilizar un tejido como refuerzo ya que presenta una conformación más estable, mayor rugosidad en la superficie y estará mejor estructurada permitiendo que las láminas se acoplen de mejor manera entre si [8].

El tejido tiene un principio básico que consiste en entrelazar las fibras longitudinalmente, conocidos como urdimbre, con las fibras horizontales a los que se les conoce con el nombre de trama las cuales pasan de forma alternada por debajo y por arriba de las fibras de la urdimbre. Los tejidos pueden ser clasificados en tres tipos: tipo plano, tipo diagonal o saga y el tipo satén, cada uno cuenta con modificaciones especiales las cuales modifican

las propiedades mecánicas de los tejidos utilizados como refuerzos. La figura 2.18 muestra el diseño esquemático de una lámina tejida [8].

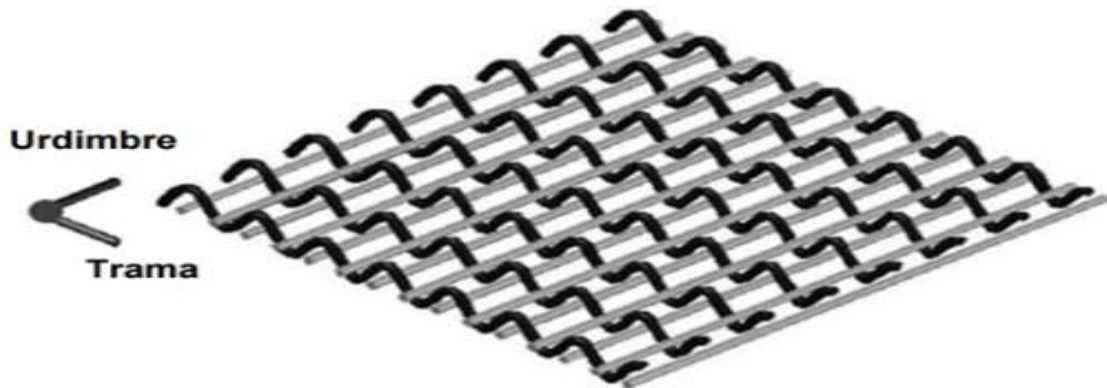


Figura 2.18.- Diseño esquemático de una lámina de tejido. [8]

2.1.5.1. Clasificación de los tejidos

a) Tejido plano

Este tipo de tejidos son los más simples, está conformado por filamentos los cuales el primero llamado trama pasa por encima y por debajo de la urdimbre de forma regular y uniforme, este tipo de tejido cuentan con un número mayor de entrelazamiento por centímetro cuadrado, esta característica puede ser perjudicial ya que según la naturaleza del tejido puede reducir la resistencia y rigidez en un material compuesto. Este tejido sintético presenta tres variaciones tejido tipo basket, tejido tipo leno y tejido tipo Oxford los cuales se pueden apreciar en la figura 2.19 que se presenta a continuación [8].

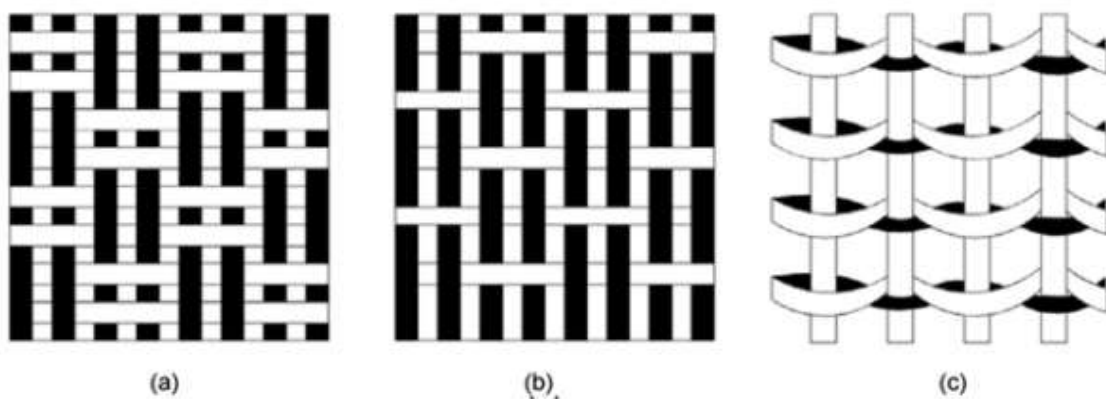


Figura 2.19.- Tipos de tejidos planos. (a) Tejido tipo basket. (b) Tejido tipo Oxford. (c) Tejido tipo leno. [8]

El tejido tipo basket utiliza tela plana, formado por dos o más filamentos en cada dirección, los tejidos tipo Oxford utilizan dos fibras en una columna y una fibra por fila, los tejidos tipo leno mejora la estabilidad de los tejidos, presenta la urdimbre bastante

separada y las fibras de la trama rodean formando una espiral y restringiendo cualquier movimiento [8].

b) Tejido sarga

Los tejidos sarga están constituidos de una combinación de fibras dispuestas de la siguiente manera, un filamento de trama pasa sobre dos filamentos de urdimbre después uno por debajo y dos por encima, este tipo de configuración también se lo conoce como tejido diagonal ya que se observan líneas diagonales en una lámina tejida. El tejido diagonal goza de una estructura compacta y una buena resistencia al desgaste y abrasión. En la figura 2.20 se muestra la estructura de un tejido tipo sarga [8].

c) Tejido satén

El tejido satén también conocido como raso, los filamentos se dividen en series mayores de cinco a ocho, de estos filamentos cada uno cubrirá solamente la trama de la primera pasada, en la siguiente el tercero saltando uno y así de forma sucesiva. La figura 20 muestra la estructura del tejido tipo satén [8].

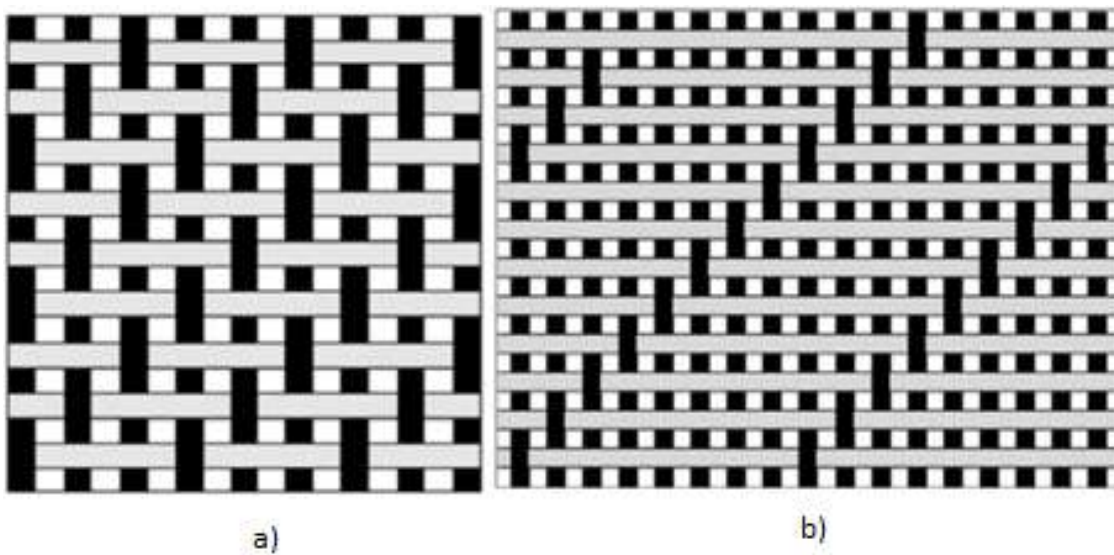


Figura 2.20.- Estructura de tejidos. a) tejido tipo sarga, b) tejido tipo satén. [8]

2.1.6. Materiales híbridos

Un material híbrido está definido como aquel material que usa más de un tipo de refuerzo sean estas fibras sintéticas o fibras naturales o una combinación de ambos, de tal manera que se generan propiedades que no son propias de alguno de estos materiales de forma separada y al mismo tiempo se evitan algunos inconvenientes. En la tabla 2.9 se puede

observar las formas de diseñar materiales híbridos basándose en la elección de los componentes, su configuración, su fracción volumétrica y su escala [22,23].

Tabla 2.9.- Ingredientes para el diseño de un material híbrido. [22]

Ingredientes para el diseño de un material híbrido	Descripción
Componentes	Elección de materiales a ser combinados
Configuración	La forma y conectividad de los componentes
Volúmenes relativos	La fracción volumétrica de cada componente
Escala	La escala de la unidad estructural

Los materiales híbridos que actualmente están disponibles para los ingenieros están constituidos por una matriz de polímero reforzada con fibras de vidrio, carbono o kevlar, son livianos rígidos y fuertes, en altas temperaturas se ablandan, pero a temperatura ambiente tiene un rendimiento sobresaliente. A medida que ha pasado el tiempo se ha incrementado la conciencia ambientalista por lo que ingenieros han buscado la posibilidad de crear materiales híbridos con refuerzos de fibras naturales para que exista un menor impacto ambiental. Los materiales híbridos se clasifican en compuestos, materiales tipo sánduche, enrejados y estructuras segmentadas, en la figura 2.21 se muestra la clasificación con su respectivo ejemplo [22].

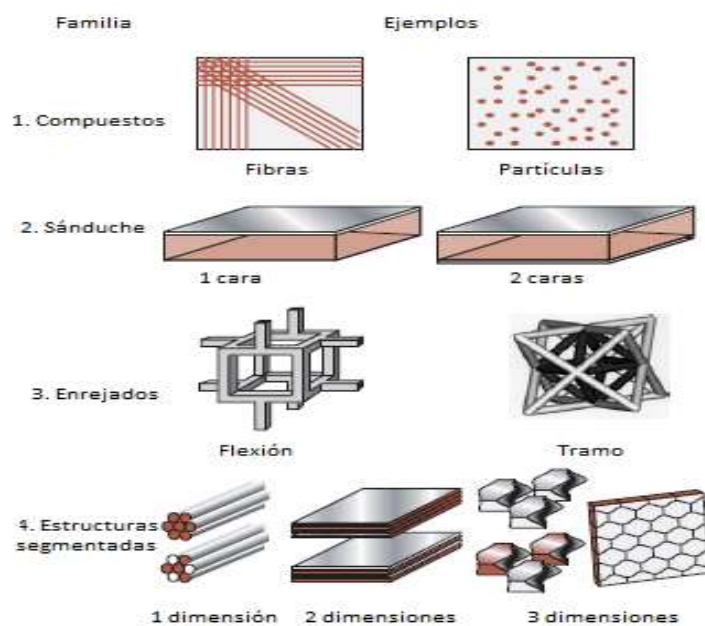


Figura 2.21.- Clasificación de los materiales híbridos. [22]

Los compuestos combinan dos componentes sólidos, uno es el refuerzo como fibras o partículas que son contenidos en el otro que es la matriz, sus propiedades son el promedio de la de sus componentes. Los sándwiches poseen una o más caras externas soportado por un núcleo de otro material, generalmente un material de baja densidad tiene una configuración que proporciona un módulo de flexión que es mayor que el de cualquiera de sus componentes.

Los tipos rejillas son una combinación de espacio y material donde se puede distinguir su baja conductividad de los puntales lo que les permite doblarse cuando se carga el enrejado y el otro la conductividad más alta suprime la flexión obligando a los puntales a estirarse. Los tipos estructurales segmentados se subdividen en una dos o tres dimensiones lo que ocasiona una disminución de la rigidez e imparten tolerancia al daño [22].

2.1.7. Procesos de fabricación

Una vez mencionado los elementos que constituyen un material compuesto (composites) los refuerzos (fibras convencionales y naturales) y las matrices hay que señalar los procesos de fabricación que se pueden utilizar en un material compuesto.

El proceso de fabricación que se vaya a utilizar en la composición de un material compuesto es de vital importancia ya que permitirá a los productos satisfacer las exigencias para las cuales fueron creados, también hay que tomar en cuenta el costo de fabricación ya que este proceso representa el 50% o 60% del costo total y uno de los objetivos de crear un material compuesto es obtener un buen resultado al menor costo. Existen varios procesos para la fabricación de materiales compuestos termoestables y termoplásticos pero entre los más conocidos y utilizados se encuentran: la estratificación manual, moldeo por compresión y estratificación al vacío [8].

a) Estratificación manual

Estratificación manual conocida también como hand-up es la técnica que más se ha utilizado para la creación de materiales compuestos debido a que es la más fácil de aplicar en comparación a las demás. Para la estratificación manual por lo general se utiliza resinas termoestables (poliésteres, resinas epóxicas y fenólicas) ya que presenta una buena impregnación de los refuerzos [8, 27].

Los pasos que se debe seguir para el proceso de estratificación manual se presentan a continuación:

Antes de empezar a realizar la estratificación manual se debe utilizar en el molde un agente para el desmoldeo el cual ayudará en la remoción de la pieza al final del proceso, después se debe aplicar el gelcoat y esperar que se cure parcialmente, se coloca el refuerzo seguido de esto se coloca la resina catalizadora después de cada capa del refuerzo con un rodillo se debe aplicar fuerza para eliminar el aire que se encuentra atrapado, por último se deja a temperatura ambiente por un determinado tiempo hasta que se cure por completo, el tiempo a esperar esta dado por el sistema catalítico que se haya empleado y la cantidad que se ocupó de catalizador [8].

b) Estratificación a compresión

La estratificación a compresión emplea un molde macho y hembra como en el proceso de estampado de placas metálicas. Para este proceso se necesita una cantidad determinada del material compuesto a conformar el cual es colocado dentro del molde y se le aplica una presión hidráulica y calor en la figura 2.22 se muestra el esquema del equipo de conformado por moldeo a compresión [8,15].

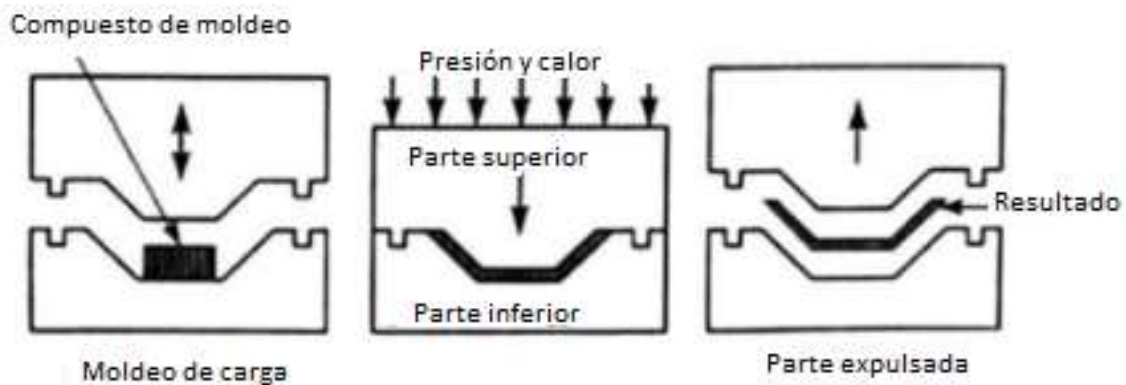


Figura 2.22.- Esquema del equipo de conformado por molde a compresión. [15]

c) Estratificación al vacío

En los métodos que se han descrito anteriormente surge un problema y es la aparición de burbujas de aire, para la solución de este problema se han visto en la necesidad de buscar otro método y aparece el moldeo al vacío el cual es utilizado para eliminar las burbujas de aire, mejorar la compactación de las capas, evitar cambios de orientación durante el curado, reducir la humedad, lo que conlleva a mejorar las propiedades mecánicas al igual que las físicas. El método consiste en la aplicación de presión en el ciclo de curado en el

laminado manual. En la figura 2.23 se muestra la generación de vacío en el laminado [24,25].

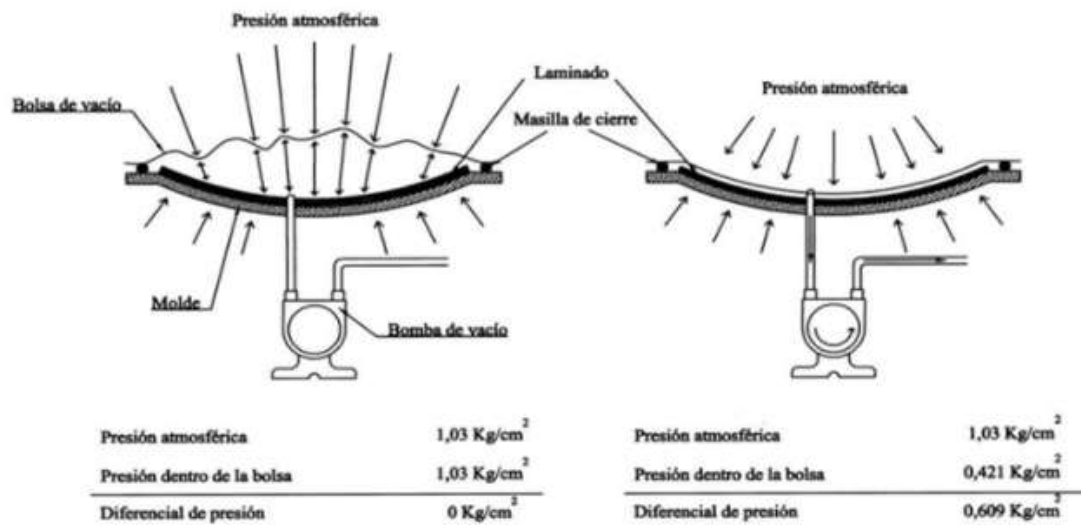


Figura 2.23.- Generación de vacío en el laminado. [25]

Para la estratificación al vacío se necesita bagging film una funda la cual va a contener al material tanto refuerzo y matriz, después se cubre con peel ply una funda color blanca la cual dará el acabado de la parte superior del material compuesto, luego se coloca el bagging film poroso por lo general tiene un color rosado el cual facilita la salida de aire, una vez colocado este polímero se ubica el breather que absorberá resina en el caso de que exista un exceso, por último se coloca otra capa de bagging film esta se pega a la mesa con una cinta conocida como chicle para que el vacío se efectúe de forma satisfactoria.

2.1.8. Ensayos destructivos para materiales

Para la evaluación de las propiedades mecánicas en los materiales compuestos se debe utilizar ensayos destructivos ya que se necesita saber los límites a los que puede llegar antes de romperse, el proceso consiste en tomar una cantidad determinada (según norma) de muestras y realizar las pruebas necesarias para la caracterización de su comportamiento, es importante que las máquinas a utilizar estén calibradas y certificadas para que los datos obtenidos tengan validez. Los institutos como ASTM, ASME, ICONTEC, ISO, UNE, INEN son los que incluye la caracterización mecánica. La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales ASTM han desarrollado normas para la caracterización de los materiales entre estas se encuentran las normas para caracterización de materiales compuestos (composites) que son básicamente ensayos a tracción, flexión e impacto [8].

a) Ensayo de tracción

Este ensayo es uno de los más utilizados para la caracterización de materiales, el material ensayado se lo sujeta mediante mordazas en ambos extremos y se deforma mediante una fuerza uniaxial a lo largo del eje principal hasta el punto de su rotura. Este tipo de ensayo es regulado mediante la norma D3039/D3039M-08 y se utiliza una máquina universal de ensayos la cual se ilustra en la figura 2.24 [8].



Figura 2.24.- Máquina universal MTE-50. [15]

b) Ensayo de flexión

Este ensayo está bajo la norma D7264/D7264M-07, este ensayo determina la rigidez a la flexión de un material compuesto, el procedimiento cuenta con una viga con dos apoyos simples y una carga puntual aplicada en la parte central, en la figura 2.25 se muestra la configuración de carga a flexión. Las propiedades de flexión pueden variar por el espesor de la probeta, velocidad a la que se aplica la carga e incluso el ambiente en el que se da el ensayo, la figura 2.24 ilustra la máquina que se ocupa para los ensayos de flexión [8].

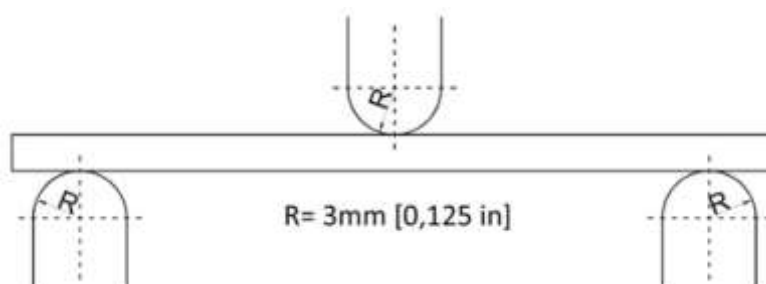


Figura 2.25.- Configuración de carga para ensayos de flexión. [8]

c) **Ensayo de impacto**

El ensayo de impacto se da mediante la caída de dardo, se realiza bajo la norma ASTM D5628, gracias a este método se puede determinar la energía de falla del material, para que los datos no sean afectados la superficie a ensayar debe estar libre de fallas. El proceso consiste en hacer caer un dardo en la superficie de la probeta y examinar si ha sufrido o no daño, hay que tener en cuenta que una falla se considera el apareamiento de una fisura en la probeta. En la figura 2.26 se ilustra la máquina de impacto por caída de dardo [8].



Figura 2.26.- Máquina de impacto por caída de dardo. [8]

2.2 Hipótesis

2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis

Las tres capas de tejido de caña guadua y algodón dispuesta con una orientación de 45° 0° y 135° respectivamente, utilizadas como refuerzo de un material híbrido de resina epoxi, estratificada al vacío y curada a horno tendrá los mejores resultados en los ensayos de tracción.

2.3.1. Variable independiente

Material híbrido de resina epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y de algodón.

2.3.2. Variable dependiente

Propiedades mecánicas obtenidas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1 Experimental

Este tipo de proyecto ingresa en el grupo de investigación experimental ya que gracias a la observación, registro y análisis de datos se determinará: el método adecuado para la fabricación del material híbrido, la composición volumétrica de refuerzo, así como su matriz y también las propiedades mecánicas para al final poder elegir el idóneo para su posterior aplicación industrial.

3.1.2 Descriptivo

La investigación descriptiva ayudará a señalar las diferentes combinaciones que se van a utilizar para la conformación de las probetas del material híbrido que se ensayarán para la obtención de sus propiedades mecánicas.

3.1.3 Cuantitativo

El empleo de la investigación cuantitativa será de vital importancia debido a la gran cantidad de datos numéricos que se obtendrán después de ensayar las probetas los cuales ayudarán a identificar las propiedades del nuevo material.

3.1.4 Bibliográfica

Este trabajo se fundamenta especialmente en la recolección de información en libros, artículos técnicos, normas, investigaciones anteriores entre otras fuentes de investigación para la utilización de los parámetros necesarios que se ocuparan para la obtención de los mejores resultados.

3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1 Población

El presente proyecto experimental cuenta con una población de probetas elaboradas de material híbrido (resina epóxica + fibra de vidrio + tejido de fibras naturales de fibra de algodón y fibras de caña guadua) donde se va a variar el ángulo de orientación y el número de capas, así de esta manera las probetas se ensayarán bajo normas.

3.2.2 Muestra

En el caso de este trabajo experimental se considera necesario para los ensayos de tracción la creación de cinco probetas por cada combinación debido a la disposición de material y al costo elevado de su obtención, una vez ensayados los especímenes se elegirán a las mejores combinaciones para continuar con la creación de las probetas para flexión e impacto, en la tabla 3.1 se observan las combinaciones, número de capas y orientación de del material reforzado con fibra de vidrio y tejidos naturales de caña guadua y algodón de cada una de las combinaciones.

Tabla 3.1.- Combinaciones del material reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón. [Autor.]

#	Combinación	Tipo de secado	Orientación de tejido	Orden	Número de probetas para ensayos mecánicos		
					Tracción	Flexión	Impacto
1	Combinación 1	Horno	RAN + 0° + RAN	FV+TFG+FV	5	Mejores resultados a tracción	Mejores resultados tracción y compresión
2	Combinación 2	Horno	RAN + 0°	FV+TFG	5		
3	Combinación 3	Horno	RAN + 45° + 135°	FV+TFG+TFG	5		
4	Combinación 3 A	Ambiente	RAN + 45° + 135°	FV+TFG+TFG	5		
5	Combinación 4	Horno	RAN + 0° + 0	FV+TFG+TFG	5		
6	Combinación 5	Horno	45° + 135	TFG+TFG	5		
7	Combinación 6	Horno	45° + 0 + 135	TFG+TFG+TFG	5		
8	Combinación 6 A	Ambiente	45° + 0 + 135	TFG+TFG+TFG	5		
Número de probetas a ensayar					40		

3.3 OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

3.3.1 Variable Independiente:

Material híbrido estratificado de matriz epóxica reforzado con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de algodón y caña guadua.

Tabla 3.2.- Variable independiente. [Autor]

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnicas e Instrumentación
Material híbrido reforzado con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón	Material Híbrido	Curado Ambiente		Observación directa Fichas de datos Normas ASTM Bibliografía
		Curado Horno		
		Orientación de refuerzos	0° - 90° - 45° y 135°	
		Configuración de fibras	¿Qué configuraciones en orden de capas de FV y FG son aplicables?	

3.3.2 Variable dependiente:

Propiedades mecánicas

Tabla 3.3.- Variable dependiente. [Autor]

Conceptualización	Categoría	Indicadores	Índice	Técnica e Instrumentación
Comportamiento mecánico de un material resultado de aplicación de fuerza o carga, que son evaluados mediante ensayos específicos bajo normas y especificaciones técnicas de equipos	Tracción	Esfuerzo a tracción	Esfuerzo (30-60) MPa	Observación directa Fichas de datos Bibliografía Normas ASTM ASTM 3039 M-00 ASTM 7264 M-00 ASTM 5628 - 10
		Módulo de tracción	Módulo (1-2) GPa	
	Impacto	Resistencia al impacto	Energía de Impacto (1-3 KJ/m ²)	
	Flexión	Esfuerzo a la flexión	Esfuerzo (100-120) MPa	
		Módulo de flexión	Módulo (4-5) GPa	

3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Tabla 3.4.- Plan de recolección de información

Plan de recolección de información	
¿Qué?	Obtención de los valores de las propiedades mecánicas del material híbrido de resina epoxi reforzado con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de algodón y caña guadua.
¿Para qué?	Determinar las propiedades mecánicas del material híbrido según los resultados arrojados de las diferentes combinaciones ensayadas.
¿Quién?	El trabajo experimental será desarrollado por el investigador.
¿A quiénes?	Los datos ser obtendrán de los especímenes a ensayar exponiéndolos a ensayos destructivos
¿Cómo?	Los ensayos que se realizarán se registrarán a normas ASTM fichas técnicas y material bibliográfico.
¿Con qué?	La recepción de datos se efectuará mediante el uso de fichas, tablas numéricas y graficas de diferentes tipos.
¿Cuándo?	En el período marzo 2018 a agosto 2018.
¿Cuántas veces?	El análisis, así como la creación de las probetas se realizarán tantas veces sean necesarias para garantizar las propiedades del nuevo material híbrido.
¿Dónde?	En las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero y en CIDFAE.

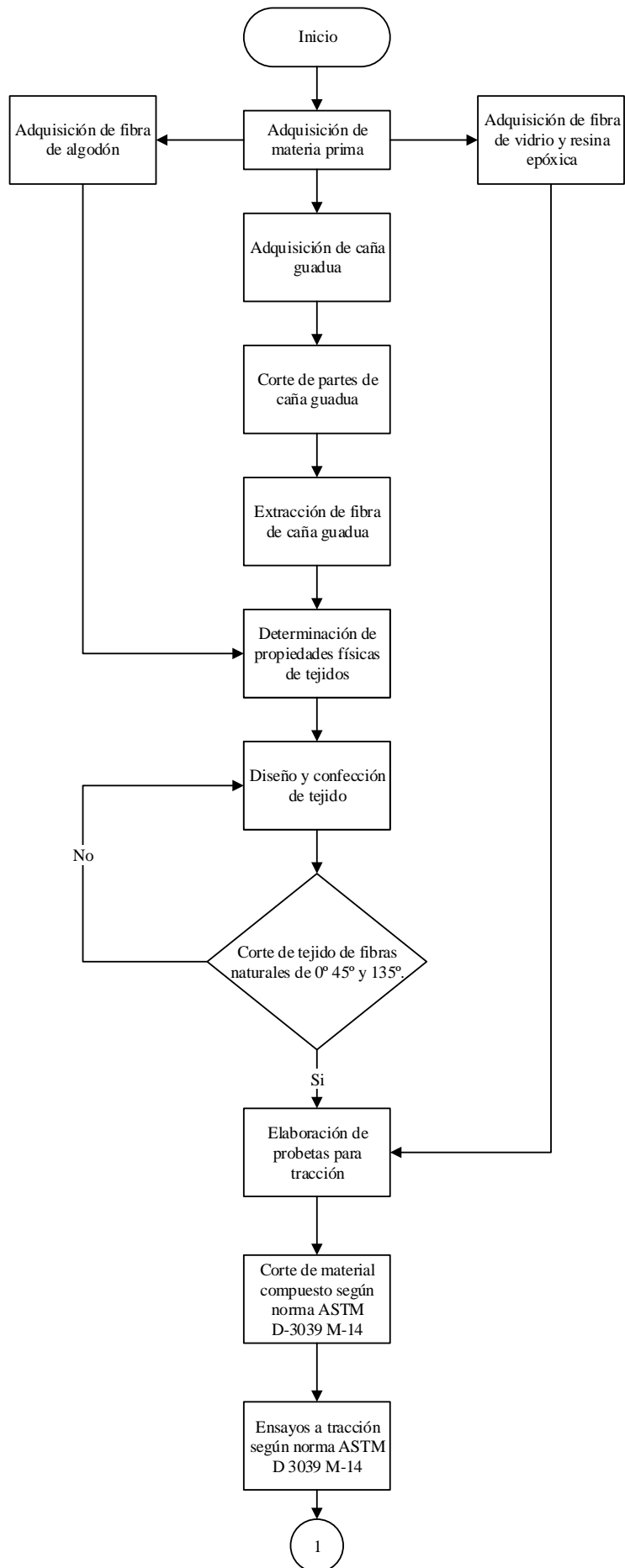
3.5 PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Los datos obtenidos serán analizados y estudiados de la siguiente manera:

- a) Revisar de manera minuciosa la información obtenida en los ensayos, la cual debe ser lo más clara y puntual posible.
- b) Elaborar tablas de todos los datos obtenidos en cada uno de los ensayos realizados.
- c) Analizar e interpretar los resultados que se obtuvieron en el proyecto experimental.
- d) Analizar la hipótesis en relación con los datos obtenidos para verificar su veracidad o rechazarla de ser el caso.

3.6 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez realizado el trabajo en los distintos laboratorios se interpretarán los resultados obtenidos en los ensayos de tracción, flexión e impacto, se tabulará los resultados que se obtendrán de este nuevo material para así identificar la combinación y orientación de capas que nos provea las mejores propiedades mecánicas. El diagrama de flujo que se presenta a continuación muestra el procedimiento utilizado para la obtención de los resultados del nuevo material.



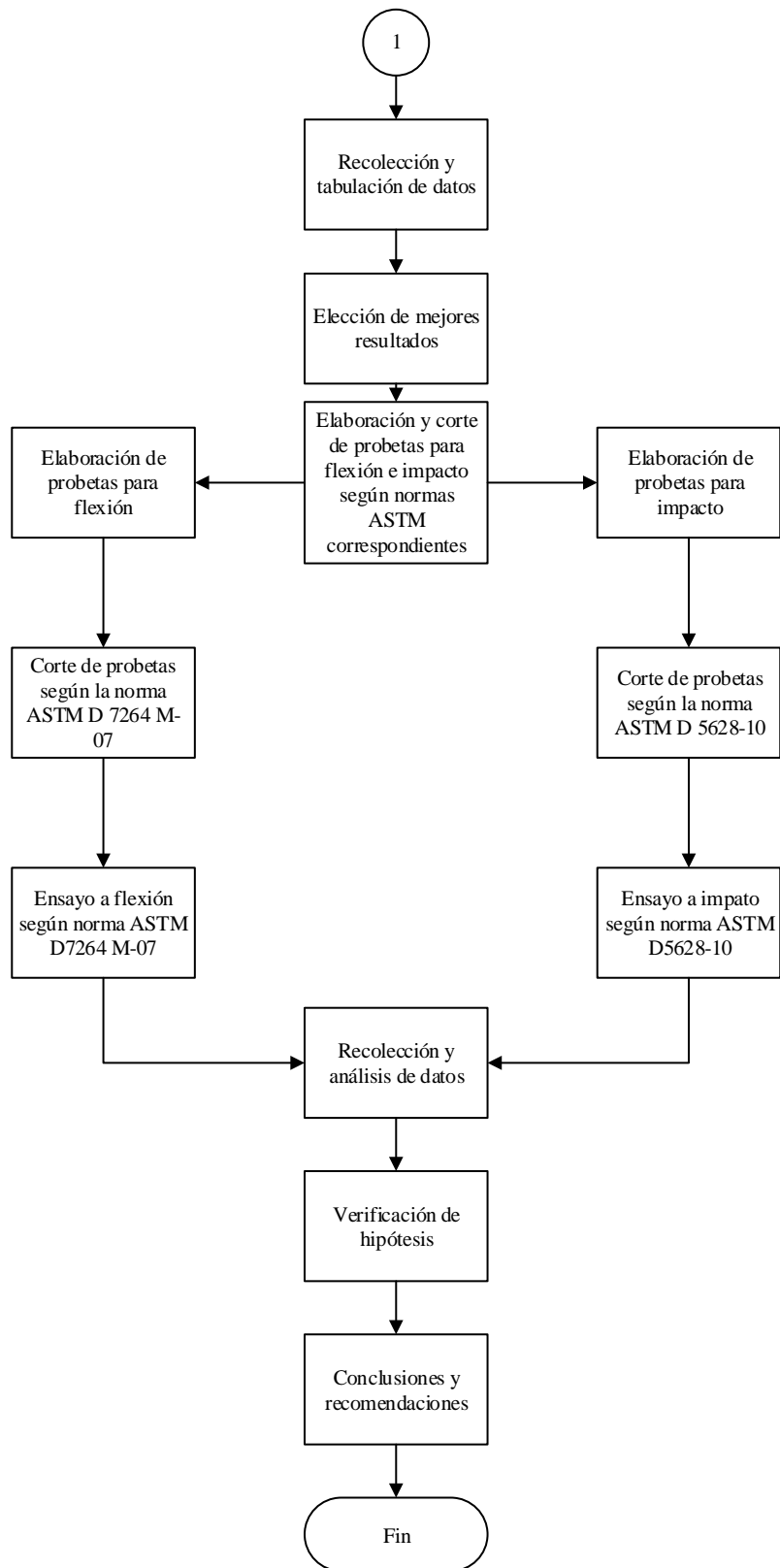


Figura 3.1.- Diagrama de flujo del procedimiento experimental. [Autor]

3.7 PROCEDIMIENTO

3.7.1 Adquisición de materia prima

La materia prima para este trabajo experimental se obtuvo en diferentes partes del Ecuador así:

La resina epoxi se obtuvo en la provincia de Tungurahua cantón Ambato en el Recreo.

La fibra de vidrio se obtuvo en Pintulac ubicado en Huachi Chico en el cantón Ambato provincia de Tungurahua.

La caña guadua se obtuvo en la provincia de Santa Elena y para trasladarlos se cortó por sus nudos, la extracción de la fibra de caña guadua fue un proceso complicado y de gran demanda de tiempo ya que el proceso fue manual donde se reducía el tamaño de la caña guadua en cada etapa obteniendo al final alrededor de 100 fibras por día este proceso se puede evidenciar en la figura 3.2 que se encuentra a continuación.



Figura 3.2.- Obtención de la fibra de caña guadua. [Autor]

El algodón se lo obtuvo gracias a la colaboración del señor Heriberto Chango el cual es un artista de El Rosario de la parroquia Salasaca y el creador del tejido para este trabajo experimental.

3.7.2 Determinación de las propiedades físicas de las fibras naturales

Entre las propiedades de las fibras naturales que se utilizarán una de las más relevantes es la densidad la cual será de vital importancia para la investigación, es por eso que se utiliza el método gravitatorio.

Como ya es de conocimiento la fórmula de la densidad es masa sobre volumen por lo que se manipulará estas variables para la obtención de la densidad de la caña guadua, con lo que respecta al algodón se realizará el mismo procedimiento para lo cual se utilizará

elementos como probeta graduada, vaso de precipitación y una balanza. En la tabla 3.5 y 3.6 se puede observar las pruebas realizadas y los datos obtenidos para determinar las densidades de la caña guadua y el algodón.

Tabla 3.5.- Densidad de caña guadua. [Autor]

Densidad de caña guadua					
Muestra	Masa (g)	Volumen (cm³)			Densidad (g/cm³)
		Inicial	Final	Promedio	
1	1.5	90	92	2	0.75
2	1.1	90	91.5	1.5	0.73
3	2.7	80	83.5	3.5	0.77
Densidad promedio					0.75

Tabla 3.6.- Densidad de algodón. [Autor]

Densidad de algodón					
Muestra	Masa (g)	Volumen (cm³)			Densidad (g/cm³)
		Inicial	Final	Promedio	
1	0.52	90	90.5	0.5	1.04
2	0.54	90	90.5	0.5	1.08
3	0.51	80	80.5	0.5	1.02
Densidad promedio					1.05

Para determinar la densidad del tejido de las fibras naturales también se realizó la prueba gravitatoria debido a la combinación de fibras que tiene el tejido no se puede determinar analíticamente esta propiedad física. En la tabla 3.7 se observa los datos obtenidos de la densidad del tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón.

Tabla 3.7.- Densidad de tejido de fibras naturales. [Autor]

Densidad de tejido de fibras naturales (caña guadua y algodón)					
Muestra	Masa (g)	Volumen (cm³)			Densidad (g/cm³)
		Inicial	Final	Promedio	
1	2.6	90	93	3	0.86
2	2.5	90	93	3	0.83
3	2.6	80	93	3	0.86
Densidad promedio					0.85

En la figura 3.3 se evidencia la realización de la prueba gravitatoria para la obtención de la densidad del tejido de fibras naturales, dando como resultado promedio una densidad de 0.85 gramos sobre centímetro cúbico.



Figura 3.3.- Prueba gravitatoria de tejido natural. [Autor]

Una vez obtenida la densidad del tejido de fibras naturales es oportuno saber el peso del tejido reducido a las dimensiones necesarias (250x125)mm y orientación que se utilizarán como son a 0° y 45° en la figura 3.3 se observar los pesos que se obtuvieron al realizar este proceso.

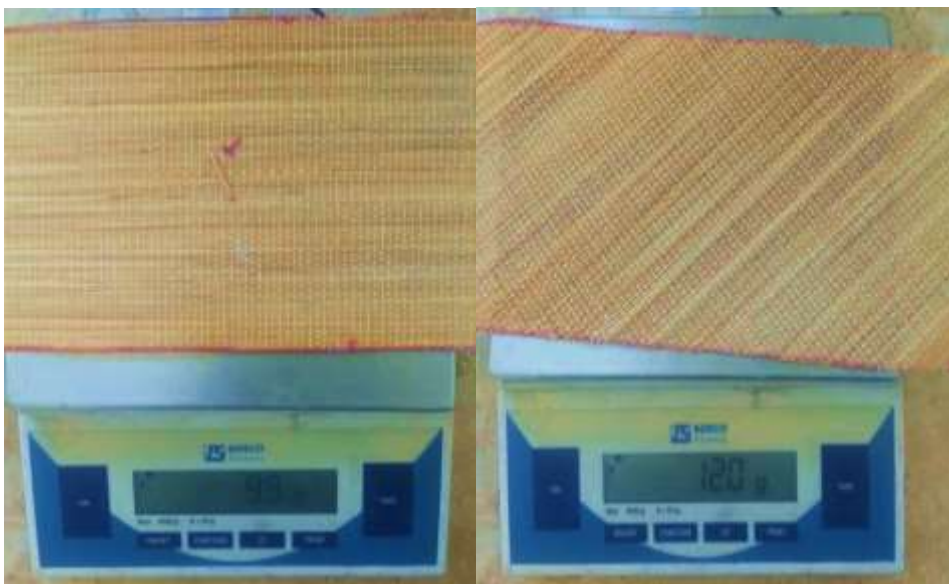


Figura 3.4.- Pesos de tejidos reducidos. [Autor]

El algodón se lo obtuvo gracias a la colaboración del señor Heriberto Chango el cual es un artista de El Rosario de la parroquia Salasaca y el creador del tejido para este trabajo experimental

3.7.3 Probetas para ensayos destructivos

a) Probetas para Tracción

La norma ASTM 3039-08 dimensiona las probetas para el ensayo de tracción de un nuevo material compuesto, con estas medidas se determina el área general mas no el volumen por falta de un espesor el cual se deberá determinar.

Cálculo del área

$$A = l \times a$$

$$A = (250 \times 25)mm$$

$$A = 6250mm^2$$

$$A = 62.5cm^2$$

Donde:

l= largo de la probeta (mm)

a= Ancho de la probeta (mm)

Para el cálculo del volumen se estimará un espesor de 5 mm dato tomado por varias bibliografías de trabajos experimentales que han utilizado un tejido de fibras naturales.

Cálculo de volumen

$$V = A \times e$$

$$V = 6250mm^2 \times 5 mm$$

$$V = 31250mm^3$$

$$V = 31.25cm^3$$

Donde:

a= Área de la probeta (mm)

e= Espesor de la probeta (mm)

b) Probetas para Flexión

Para los ensayos a flexión se utilizará la norma ASTM 7264-07 gracias a esta norma se puede obtener el área de cada una de las probetas que se van a ensayar.

Cálculo de área

$$A = l \times a$$

$$A = (160 \times 13)mm$$

$$A = 2080mm^2$$

$$A = 20.80cm^2$$

Donde:

l= largo de la probeta (mm)

a= Ancho de la probeta (mm)

Cálculo de volumen

$$V = A \times e$$

$$V = 2560mm^2 \times 6mm$$

$$V = 15360mm^3$$

$$V = 15.36cm^3$$

Donde:

a= Área de la probeta (mm)

e= Espesor de la probeta (mm)

c) Probetas para Impacto

Las probetas para los ensayos de impacto se realizarán según la norma ASTM D5628-10, con las dimensiones que muestra esta norma se calcula el área de las probetas.

Cálculo de área

$$A = l \times a$$

$$A = (58 \times 58)mm$$

$$A = 3364mm^2$$

$$A = 33.64cm^2$$

Donde:

l= largo de la probeta (mm)

a= Ancho de la probeta (mm)

Cálculo de volumen

$$V = A \times e$$

$$V = 3364mm^2 \times 6mm$$

$$V = 20184mm^3$$

$$V = 20.184cm^3$$

Donde:

a= Área de la probeta (mm)

e= Espesor de la probeta (mm)

3.7.4 Condiciones de las probetas

El tipo de curado es una de las condiciones a modificar así:

- Curado al ambiente, el cual se representará con la letra A.
- Curado a horno, el cual se representará con la letra H.

Existe varias orientaciones para el tejido en cada una de las combinaciones:

- RAN + 0° +RAN

- RAN+45°+135°
- RAN + 0°
- RAN + 0° + 0°
- 45° + 0° + 135°
- 45° + 135°

Por último, se cambiará el orden de los tejidos:

- FV + TGA + FV (Fibra de vidrio + Tejido de fibras naturales + Fibra de vidrio)
- FV + TGA + TGA (Fibra de vidrio + tejido de fibras naturales + tejido de fibras naturales).
- FV +TGA (Fibra de vidrio + tejido de fibras naturales)
- TGA + TGA + TGA (Tres capas de tejido de fibras naturales)
- TGA + TGA (Dos capas de tejido de fibras naturales)

El número de probetas a realizar serán 5 por cada combinación en total serán 40 probetas ya que se tiene 8 diferentes combinaciones, la tabla 3.8 muestra las combinaciones de cada grupo para este trabajo experimental. Es importante destacar que RAN hacer referencia la a orientación al azar de la fibra de vidrio.

Tabla 3.8.- Familias de probetas a ensayar. [Autor]

Número de combinación	Tipo de secado	Orientación de tejido	Orden	Número de probetas
1	Horno	RAN + 0° + RAN	FV+TFG+FV	5
2	Horno	RAN + 0°	FV+TFG	5
3	Horno	RAN + 45° + 135°	FV+TFG+TFG	5
4	Ambiente	RAN + 45° +135°	FV+TFG+TFG	5
5	Horno	RAN + 0° + 0	FV+TFG+TFG	5
6	Horno	45° + 135	TFG+TFG	5
7	Horno	45° + 0 + 135	TFG+TFG+TFG	5
8	Ambiente	45° + 0 + 135	TFG+TFG+TFG	5
Número de probetas a ensayar				40

3.7.5 Cálculos

Con los datos ya obtenidos como el peso del tejido de fibras naturales y el de la fibra de vidrio, la densidad, número de capas, orientación se puede calcular el volumen que se necesita en cada una de las combinaciones.

Para la combinación 6 y 8 se tiene una combinación de 3 capas de tejido de fibras naturales dispuesta a 45° +0° + 135° con una masa total de 32 gramos para las cinco probetas, con este dato se calcular el volumen del refuerzo.

$$m = \rho \times Vr$$

$$Vr = \frac{mr}{\rho}$$

$$Vr = \frac{32g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr = 37.647cm^3$$

Donde:

Vr = Volumen de refuerzo

mr = Masa de refuerzo

ρ = Densidad

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{37.647cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 125.49cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (125.49 cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 87.843cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{125.49\text{cm}^3}{25\text{cm} \times 12.5\text{cm}}$$

$$e = 0.40\text{cm}$$

$$e = 4\text{mm}$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la combinación 6 y 8 es de 4mm, el volumen total es de 125.49cm³

Para la combinación 7 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán dos con una orientación de 45° + 135° con una masa total de 20 gramos para las cinco probetas de esta combinación.

$$m = \rho \times Vr$$

$$Vr = \frac{mr}{\rho}$$

$$Vr = \frac{20\text{g}}{0.85 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}$$

$$Vr = 23.53\text{cm}^3$$

Donde:

Vr = Volumen de refuerzo

mr= Masa de refuerzo

ρ= Densidad

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{23.53cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 78.43cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (78.43cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 54.90cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{78.43cm^3}{25cm \times 12.5cm}$$

$$e = 0.25cm$$

$$e = 2.5mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 7 es de 2.5mm, el volumen total es de 78.43cm³

Para la familia 3 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 2 con una orientación de RAN + 0° con una masa de 12.4 gramos de la fibra de vidrio y de 12 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{12.4g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 5.17cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_1 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{12g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 14.12cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (5.17 + 14.12)cm^3$$

$$Vr = 19.29cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{19.29cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 64.3cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (64.3cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 45.01cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{64.3cm^3}{25cm \times 12.5cm}$$

$$e = 0.20cm$$

$$e = 2mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 3 es de 2mm, el volumen total es de 64.3cm³

Para la familia 2 y 4 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 3 con una orientación de RAN + 45° + 135° con una masa de 12.4 gramos de la fibra de vidrio y de 20 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{12.4g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 5.17cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_1 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{20g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 23.53cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (5.17 + 23.53)cm^3$$

$$Vr = 28.7cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{28.7cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 95.67cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (95.67cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 66.97cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{95.67cm^3}{25cm \times 12.5cm}$$

$$e = 0.30cm$$

$$e = 3mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 2 y 4 es de 3mm, el volumen total es de 95.67cm³

Para la familia 1 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 3 con una orientación de RAN + 0° + RAN° con una masa de 24.8 gramos de la fibra de vidrio y de 12 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{24.8g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 10.33cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_1 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{12g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 14.12cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (5.17 + 23.53)cm^3$$

$$Vr = 24.45cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{28.7cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 81.49cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (81.49cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 57.04cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{81.49cm^3}{25cm \times 12.5cm}$$

$$e = 0.26cm$$

$$e = 2.6mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 1 es de 2.6mm, el volumen total es de 81.49cm³

Para la familia 5 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 3 con una orientación de RAN + 0° + 0° con una masa de 12.4 gramos de la fibra de vidrio y de 24 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{12.4g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 5.17cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_1 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{24g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 28.24cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (5.17 + 23.53)cm^3$$

$$Vr = 33.4cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{33.4cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 111.31cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (111.31cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 77.95cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{111.31cm^3}{25cm \times 12.5cm}$$

$$e = 0.36cm$$

$$e = 3.6mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 5 es de 3.6mm, el volumen total es de 111.31cm³

3.7.6 Cálculo de probetas para flexión e impacto

Para los ensayos a flexión como para impacto las familias que se escogieron fueron las familias 5,1,3 las cuales arrojaron los mejores resultados de esfuerzo máximo a tracción.

Para la familia 5 el proceso de cálculo será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 3 con una orientación de RAN + 0° + 0°

con una masa de 6 gramos de la fibra de vidrio y de 10 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{6g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 2.5cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_2 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{10g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 11.76cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (11.76 + 2.5)cm^3$$

$$Vr = 14.26cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{14.26cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 47.53cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (47.53cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 33.27cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{47.53cm^3}{17cm \times 9cm}$$

$$e = 0.31cm$$

$$e = 3.1mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 5 es de 3.1mm, el volumen total es de 47.53cm³

Para la familia 1 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 3 con una orientación de RAN + 0° + RAN° con una masa de 12 gramos de la fibra de vidrio y de 5 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{12g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 5cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_2 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{5g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 5.88cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (5.88 + 5)cm^3$$

$$Vr = 10.88cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{10.88cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 36.26cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (36.26cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 25.38cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{36.26cm^3}{17cm \times 9cm}$$

$$e = 0.236cm$$

$$e = 2.3mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 1 es de 2.3mm, el volumen total es de 36.26cm³

Para la familia 3 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 2 con una orientación de RAN + 0° con una masa de 6 gramos de la fibra de vidrio y de 5 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{6g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 2.5cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_2 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{5g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 5.88cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (5.88 + 2.5)cm^3$$

$$Vr = 8.38cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{8.38cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 27.94cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (27.94cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 19.56cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{Vt}{l \times a}$$

$$e = \frac{27.94cm^3}{17cm \times 9cm}$$

$$e = 0.18cm$$

$$e = 1.8mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 3 es de 1.8mm, el volumen total es de 27.9cm³

3.7.7 Cálculos de probetas para impacto

Para la combinación 5 el proceso de cálculo será el mismo que se utilizó en las probetas de tracción, pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 3 con una orientación de RAN + 0° + 0° con una masa de 7 gramos de la fibra de vidrio y de 5.1 gramos del tejido de fibras naturales.

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{7g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 2.92cm^3$$

$$mr_2 = \rho_2 \times Vr_2$$

$$Vr_2 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{10.2g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 12cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (12 + 2.92)cm^3$$

$$Vr = 14.92cm^3$$

Donde:

Vr_1 = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr_1 = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr_2 = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr_2 = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$Vt = \frac{Vr}{0.3}$$

$$Vt = \frac{14.92cm^3}{0.3}$$

$$Vt = 49.73cm^3$$

$$Vm = Vt \times 0.7$$

$$Vm = (49.73cm^3) \times 0.7$$

$$Vm = 34.81cm^3$$

Donde:

Vt = Volumen total

Vm = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$Vt = l \times a \times e$$

$$e = \frac{49.73}{l \times a}$$

$$e = \frac{49.73cm^3}{26cm \times 6.5cm}$$

$$e = 0.29cm$$

$$e = 2.9mm$$

Donde:

e= Espesor

l= Largo

a= Ancho

El espesor para las probetas de la familia 5 para ensayos de impacto es de 2.9mm, el volumen total es de 49.73cm³

Para la combinación 1 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 3 con una orientación de RAN + 0° + RAN° con una masa de 14 gramos de la fibra de vidrio y de 5.1 gramos del tejido de fibras naturales.

$$mr_1 = \rho \times Vr_1$$

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{14g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 5.83cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_2 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{5.1g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 6cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (5.1 + 6)cm^3$$

$$Vr = 11.83cm^3$$

Donde:

Vr₁ = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr₁ = Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr₂ = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr₂ = Masa de refuerzo tejido natural

Vr = Volumen de refuerzo 30%

ρ_1 = Densidad fibra de vidrio

ρ_2 = Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$V_t = \frac{V_r}{0.3}$$

$$V_t = \frac{11.83\text{cm}^3}{0.3}$$

$$V_t = 39.43\text{cm}^3$$

$$V_m = V_t \times 0.7$$

$$V_m = (39.43\text{cm}^3) \times 0.7$$

$$V_m = 27.6\text{cm}^3$$

Donde:

V_t = Volumen total

V_m = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$V_t = l \times a \times e$$

$$e = \frac{V_t}{l \times a}$$

$$e = \frac{39.43\text{cm}^3}{26\text{cm} \times 6.5\text{cm}}$$

$$e = 0.23\text{cm}$$

$$e = 2.3\text{mm}$$

Donde:

e = Espesor

l = Largo

a = Ancho

El espesor para las probetas de la familia 1 es de 2.3mm, el volumen total es de 39.43cm³

Para la familia 3 el proceso será el mismo pero los datos de ingreso serán diferentes debido a que las capas a utilizar serán 2 con una orientación de RAN + 0° con una masa de 7 gramos de la fibra de vidrio y de 5.1 gramos del tejido de fibras naturales.

$$Vr_1 = \frac{mr_1}{\rho_1}$$

$$Vr_1 = \frac{7g}{2.4 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_1 = 2.92cm^3$$

$$mr_2 = \rho \times Vr_2$$

$$Vr_1 = \frac{mr_2}{\rho_2}$$

$$Vr_2 = \frac{5.1g}{0.85 \frac{g}{cm^3}}$$

$$Vr_2 = 6cm^3$$

$$Vr = Vr_1 + Vr_2$$

$$Vr = (6 + 2.92)cm^3$$

$$Vr = 8.92cm^3$$

Donde:

Vr₁ = Volumen de refuerzo fibra de vidrio

Mr₁= Masa de refuerzo fibra de vidrio

Vr₂ = Volumen de refuerzo tejido natural

Mr₂= Masa de refuerzo tejido natural

Vr= Volumen de refuerzo 30%

ρ₁= Densidad fibra de vidrio

ρ₂= Densidad tejido natural

El volumen obtenido representa el 30% del total del volumen de la familia y el 70% restante será el volumen del refuerzo de matriz epóxica.

$$V_t = \frac{V_r}{0.3}$$

$$V_t = \frac{8.92\text{cm}^3}{0.3}$$

$$V_t = 29.73\text{cm}^3$$

$$V_m = V_t \times 0.7$$

$$V_m = (29.73\text{cm}^3) \times 0.7$$

$$V_m = 20.81\text{cm}^3$$

Donde:

V_t = Volumen total

V_m = Volumen matriz

Una vez obtenido el volumen total se puede obtener el espesor de las probetas a tracción que se va a ensayar.

$$V_t = l \times a \times e$$

$$e = \frac{V_t}{l \times a}$$

$$e = \frac{29.73\text{cm}^3}{26\text{cm} \times 6.5\text{cm}}$$

$$e = 0.17\text{cm}$$

$$e = 1.7\text{mm}$$

Donde:

e = Espesor

l = Largo

a = Ancho

El espesor para las probetas de la familia 3 es de 1.7mm, el volumen total es de 29.73cm³

Es importante recalcar que las áreas que se utilizaron para las probetas de flexión e impacto están sobredimensionadas debido a que en los procesos posteriores se puede perder material y también se necesita varias probetas más para realizar un set up a la máquina antes de realizar los ensayos.

3.7.8 Construcción del molde

El molde fue construido en mdf de 12mm con las dimensiones que especifica la norma ASTM D-3039 y recubierta con papel Contac para que no absorba la resina epoxi, es importante destacar que se realizará un molde por cada combinación debido al espesor que tendrá cada una, en la figura 3.5 se observa el molde construido para las probetas que se ensayaran a tracción.



Figura 3.5.- Molde para probetas de tracción. [Autor]

Los moldes para las probetas que se ensayarán a flexión fueron construidas siguiendo el mismo proceso de los moldes para las probetas a tracción siguiendo las especificaciones de la norma ASTM D-7264, y por último los moldes para las probetas que se ensayarán a impacto se realizaron según las especificaciones de la norma ASTM D-5628, en la figura 3.6 muestra los moldes para las probetas de flexión e impacto.

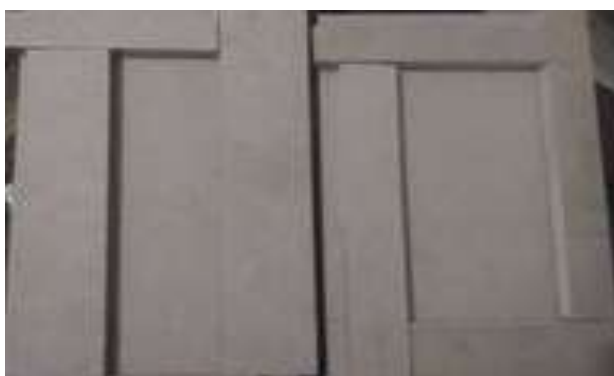


Figura 3.6.- Moldes para probetas de flexión e impacto. [Autor]

3.7.9 Elaboración de probetas

3.7.9.1 Probetas para tracción

Para la elaboración de las probetas para ensayos a tracción se realizó el siguiente procedimiento:

Pesar las láminas de fibras naturales al igual que las láminas de fibra de vidrio para determinar el peso que se utilizará en cada combinación según sea su combinación.

Utilizar cera desmoldante en cada molde realizando siete pasadas por cada uno de ellos, en la figura 3.7 se observa este proceso.



Figura 3.7.- Aplicación de cera desmoldante. [Autor]

Para la estratificación al vacío se debe ocupar varias capas de diferentes materiales en un orden específico el cual se detalla a continuación:

Se debe colocar una capa de bagging film en el molde, a continuación se ubica las capas de tejidos de fibras vegetales y fibra de vidrio de ser el caso, una vez ubicada la primera capa se coloca la resina epoxi ya mezclada con su catalizador como se puede observar en la figura 3.8 que se muestra a continuación.



Figura 3.8.- Mezcla de resina y catalizador. [Autor]

Colocar una capa de funda tipo tela la cual dará el acabado de las probetas en uno de sus lados, una vez colocada las dos capas se debe colocar bagging film poroso la cual debe cubrir toda la superficie luego se coloca el breather el cual cubre toda la superficie de los moldes, y por último se coloca una capa de bagging film realizando pliegues para que este plástico pueda ingresar al molde, en la figura 3.9 se observa este proceso.



Figura 3.9.- Probetas cubiertas por breather. [Autor]

Después de ubicar todas las capas se coloca una válvula para conectar la bomba de vacío la cual debe absorber el aire contenido en las combinaciones de plasticos, es importante utilizar una cinta doble fas llamada chicle para que se puede pegar a la mesa y el aire no pueda ingresar como se observa en la figura 3.10 que se presenta a continuación.

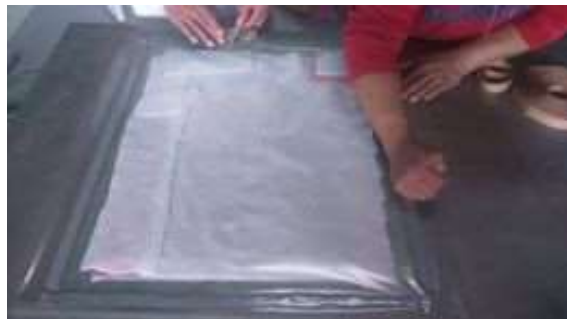


Figura 3.10.- Pegado de bagging film. [Autor]

El secado de la resina epoxi se da en varias horas, pero por seguridad el desmolde se realiza el día siguiente, la figura 3.11 muestra el producto de este proceso.



Figura 3.11.- Producto de la estratificación al vacío. [Autor]

Para obtener las probetas se debe sacar de su molde con cuidado para que no se rompa una vez culminado el proceso se llevan las probetas a un horno donde se pueda controlar la temperatura en un rango de 60°C a 90°C por seis horas para culminar el proceso de curado en la figura 3.12 se observar el proceso de curado.



Figura 3.12.- Curado de probetas. [Autor]

El corte de las probetas se realizó según las especificaciones de la norma mediante un láser a 75W de potencia y 5mm/s de velocidad de avance como muestra la figura 3.13.



Figura 3.13.- Corte de las probetas. [Autor]

Para las sobremontas de agarre se utiliza lija de hierro número 30 cortadas en dimensiones específicas y se debe pegar de tal manera que en el proceso de los ensayos no se despegue ni se rompa la figura 3.14 muestra las probetas con su sobremonta de agarre.



Figura 3.14.- Probetas con sobremonta. [Autor]

a) Ensayos de tracción de las probetas

Para efectuar los ensayos de tracción se debe trasladar las probetas al Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico del Concejo Provincial de Tungurahua donde las probetas son colocadas en la máquina universal MTE-50 con los accesorios necesarios para este tipo de ensayo en la figura 3.15 se puede observar el ensayo de tracción.



Figura 3.15.- Ensayo de tracción en máquina MTE-50. [Autor]

b) Tabulación de datos

El proceso de tabulación de datos ayuda a la selección de los mejores resultados para realizar los ensayos de flexión e impacto, las combinaciones con resultados sobresalientes son los que a continuación se enlista.

- Tejido de fibra de vidrio + dos capas de tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón dispuestos a 0° curado a horno.
- Tejido de fibra de vidrio + tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón dispuestas a 0° + fibra de vidrio curado a horno.
- Tejido de fibra de vidrio + tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón dispuestas a 0° curado a horno.

3.7.9.2 Fabricación de probetas para ensayos de flexión e impacto

Para la elaboración de las probetas a flexión e impacto se toma los mejores resultados de los ensayos realizados a tracción los cuales fueron de tres combinaciones.

a) Elaboración de probetas

Para la elaboración de las probetas para ensayos a flexión e impacto se utilizó el siguiente procedimiento.

Pesar las láminas de fibras naturales al igual que las láminas de fibra de vidrio para determinar el peso que se utilizará en cada combinación según sea su combinación.

Utilizar cera desmoldante en cada molde realizando siete pasadas por cada uno de ellos, en la figura 3.16 se observa este proceso.



Figura 3.16.- Aplicación de cera desmoldante. [Autor]

Para la estratificación al vacío se debe ocupar varias capas de diferentes materiales en un orden específico el cual se detalla a continuación:

Se debe colocar una capa de bagging film en el molde, a continuación se ubica las capas de tejidos de fibras vegetales y fibra de vidrio de ser el caso, una vez ubicada la primera capa se coloca la resina epoxi ya mezclada con su catalizador como se puede observar en la figura 3.17 que se muestra a continuación.



Figura 3.17.- Mezcla de resina y catalizador. [Autor]

Colocar una capa de peel ply la cual dará el acabado de las probetas en uno de sus lados, una vez colocada las dos capas se debe colocar bagging film poroso la cual debe cubrir toda la superficie luego se coloca el breather el cual cubre toda la superficie de los moldes,

y por último se coloca una capa de bagging film realizando pliegues para que este plástico pueda ingresar al molde, en la figura 3.18 se observa este proceso.



Figura 3.18.- Probetas cubiertas por breather. [Autor]

Después de ubicar todas las capas se coloca una válvula para conectar la bomba de vacío la cual debe absorber el aire contenido en las combinaciones de plásticos, es importante utilizar una cinta doble fas llamada chicle para que se puede pegar a la mesa y el aire no pueda ingresar como se observa en la figura 3.19 que se presenta a continuación.



Figura 3.19.- Pegado de bagging film. [Autor]

El secado de la resina epoxi se da en varias horas, pero por seguridad el desmolde se realiza el día siguiente, la figura 3.20 muestra el producto de este proceso.



Figura 3.20.- Producto de la estratificación al vacío. [Autor]

Para obtener las probetas se debe sacar de su molde con cuidado para que no se rompa una vez culminado el proceso se llevan las probetas a un horno donde se pueda controlar

la temperatura en un rango de 60°C a 90°C por seis horas para culminar el proceso de curado en la figura 3.21 se observar el proceso de curado.



Figura 3.21.- Curado de probetas. [Autor]

El corte de las probetas se realizó según las especificaciones de la norma mediante un láser a 75W de potencia y 5mm/s de velocidad de avance como muestra la figura 3.22.

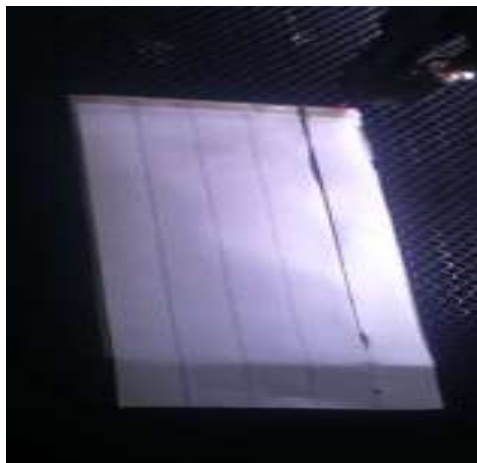


Figura 3.22.- Corte de las probetas. [Autor]

b) Ensayos de flexión de las probetas

Para efectuar los ensayos de flexión se debe trasladar las probetas al Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico del Concejo Provincial de Tungurahua donde las probetas son colocadas en la máquina universal MTE-50 con los accesorios necesarios para este tipo de ensayo en la figura 3.23 se puede observar el ensayo de flexión.



Figura 3.23.- Ensayo de flexión en máquina MTE-50. [Autor]

c) Ensayos de impacto de las probetas




Para los ensayos de impacto es necesario trasladar las probetas al Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica donde una vez calibrada la máquina se ubicará una a una las probetas variando en cada tiro la altura y/o el peso para poder determinar la energía de falla media y el tipo de falla que aparecerá según la norma D5628-10.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

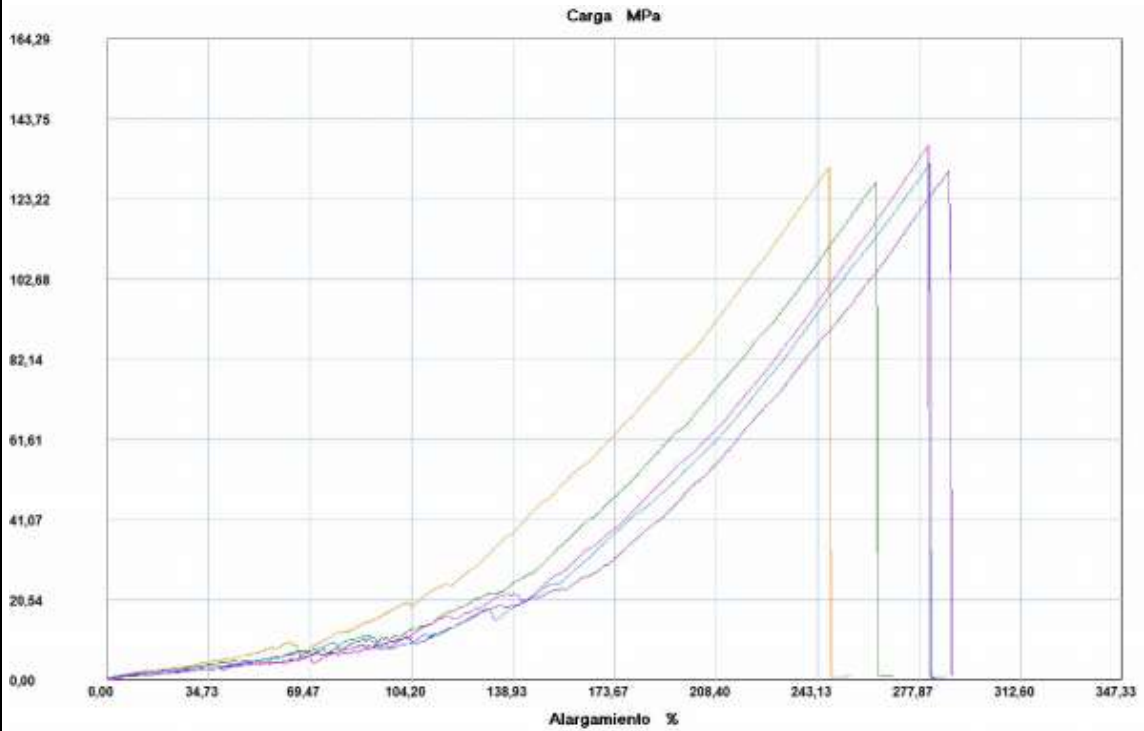
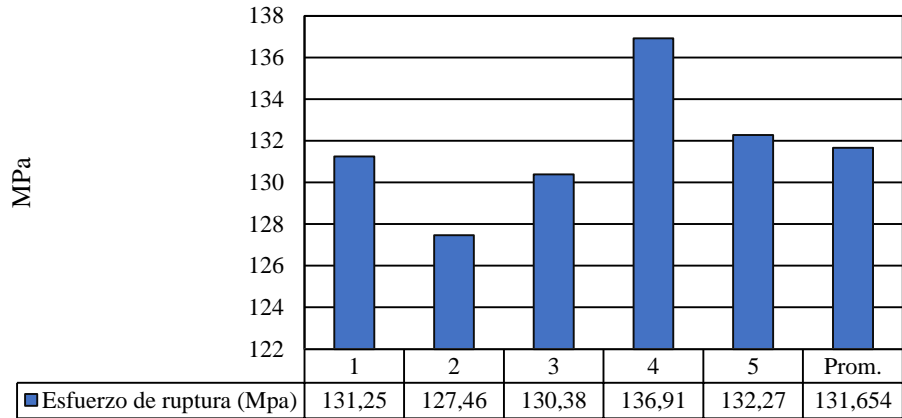
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1 Fichas de reporte ensayos de tracción

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		INGENIERÍA MECÁNICA	
					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039		
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%		
Refuerzo:	TFV+TG+TG	Fracción Volumétrica	30%		
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5		
Orientación:	Ran + 0° + 0°	Curado:	Horno		
Espesor promedio:	2.35mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min		
Temperatura:	20.7°C	Humedad relativa:	54.5%		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	7450.4	131.25	2951.34	4.447	LGM
2	7078.04	127.46	2691.14	4.736	LGM
3	7587.67	130.38	2514.81	5.184	LAT
4	7893.77	136.91	2708.26	5.055	LAT
5	8065.75	132.27	2609.26	5.069	LGT
Promedio	7615.126	131.654	2694.962	4.898	-
Des. Est.	386.346	3.440	162.576	0.30	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo de ruptura



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	7450,40	145,16	7450,40	131,25	2,56	131,25
2	7078,04	127,80	7078,04	127,46	2,30	127,46
3	7587,67	94,67	7587,67	130,38	1,63	130,38
4	7893,77	132,53	7893,77	136,91	2,30	136,91
5	8065,75	130,96	8065,75	132,27	2,15	132,27
Media	7615,126	126,224	7615,126	131,654	2,186	131,654
Desv. Std	386,346	18,834	386,346	3,440	0,346	3,440
Coef. V.	0,051	0,149	0,051	0,026	0,158	0,026
+3 Sigma	8774,165	182,727	8774,165	141,974	3,224	141,974

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	131.654 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2694.962 MPa
Espesor real promedio:	2.35mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA**



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50		
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%
Refuerzo:	TFV+TG+TFV	Fracción Volumétrica	30%
Orientación:	Ran + 0° + Ran	Curado:	Horno
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5
Espesor promedio:	1.71mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min
Temperatura:	26.3°C	Humedad relativa:	42.6%

RESULTADOS

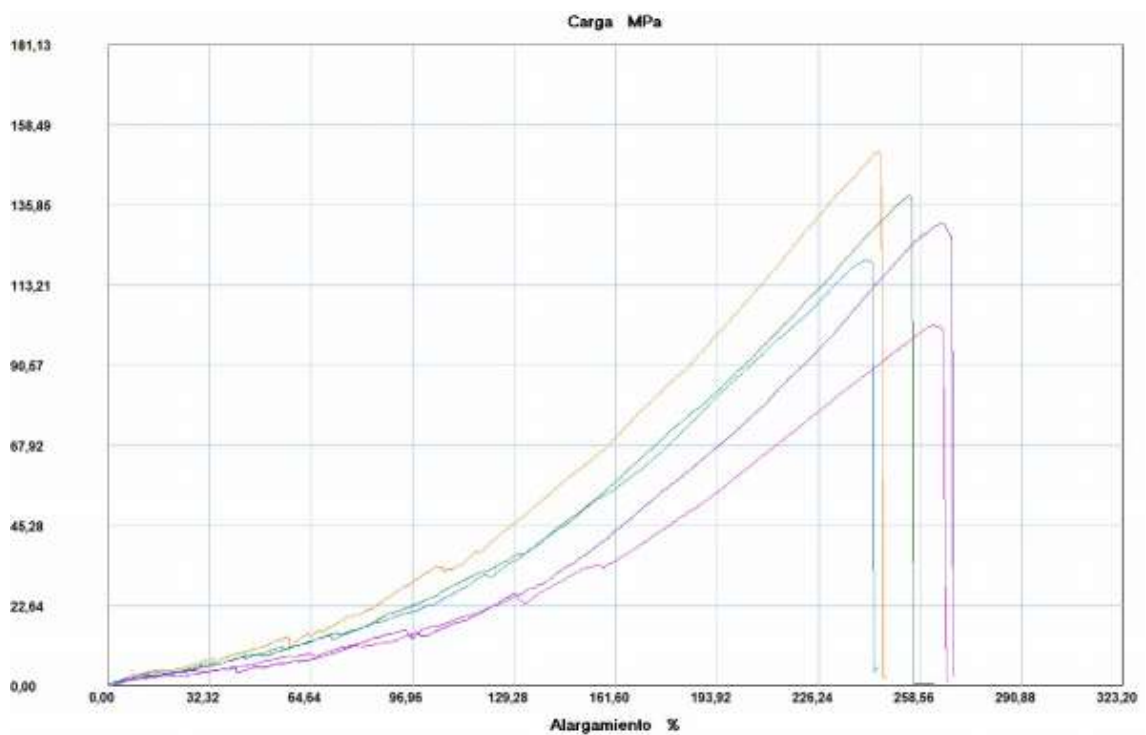
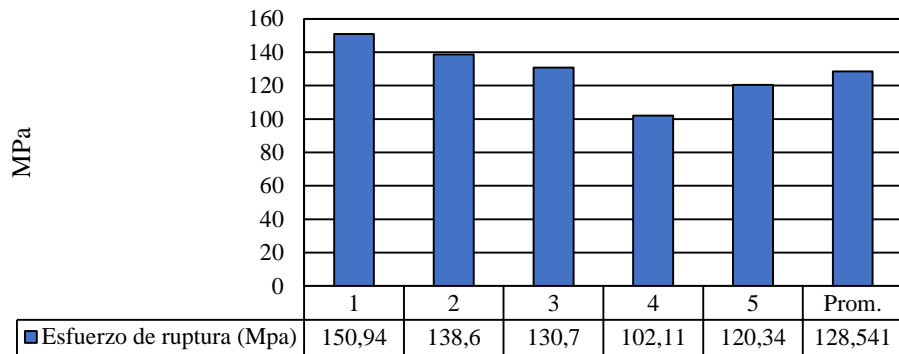
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	5202.03	150.94	3410.38	4.426	LGT
2	5303.0	138.60	3009.67	4.605	LGT
3	4966.94	130.70	2708.77	4.825	AGT
4	5219.38	102.11	2133.44	4.786	LGT
5	4971.67	120.34	2747.73	4.380	AGT
Promedio	5132.606	128.541	2801.999	4.604	-
Des. Est.	153.893	18.529	466.870	0.203	-

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



GRÁFICAS

Esfuerzo de ruptura



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	5202,03	154,62	5173,63	150,94	4,49	150,12
2	5303,01	129,38	5254,10	138,60	3,38	137,32
3	4966,94	121,49	4856,49	130,70	3,20	127,80
4	5219,38	138,85	5119,98	102,11	2,72	100,17
5	4971,67	164,09	4941,69	120,34	3,97	119,61
Media	5132,606	141,686	5069,178	128,541	3,551	127,005
Desv. Std	153,893	17,583	165,209	18,529	0,690	18,816
Coef. V.	0,030	0,124	0,033	0,144	0,194	0,148
+3 Sigma	5594,286	194,434	5564,806	184,129	5,620	183,451

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	128.541 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2801.999 MPa
Espesor real promedio:	1.71mm



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50		
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%
Refuerzo:	TFV+TG	Fracción volumétrica	30%
Orientación:	Ran + 0°	Curado:	Horno
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5
Espesor promedio:	1.3mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min
Temperatura:	25.6°C	Humedad relativa:	43.5%

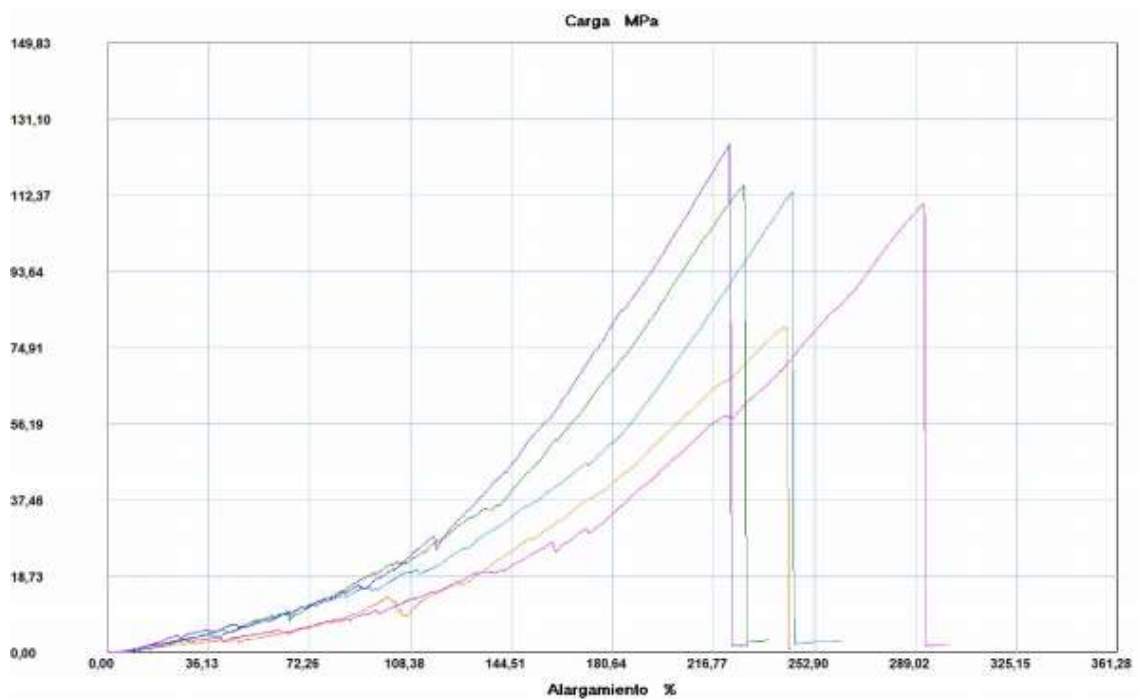
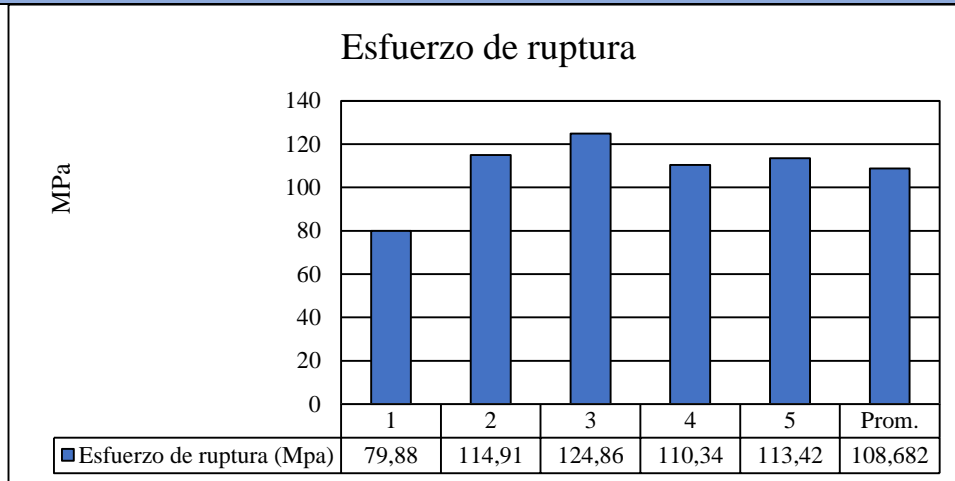
RESULTADOS

Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	3226.61	79.88	1825.63	4.38	LGM
2	3551.64	114.91	2805.71	4.10	AGM
3	3259.75	124.86	3118.94	4.00	LGM
4	3507.46	110.34	2101.60	5.25	LAT
5	3322.86	113.42	2572.74	4.41	LGT
Promedio	3373.664	108.682	2484.926	4.427	-
Des. Est.	147.275	16.993	523.018	0.493	-

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
■ 1	3226,61	50,49	3218,73	79,88	1,25	79,69
■ 2	3551,64	58,38	3551,64	114,91	1,89	114,91
■ 3	3259,75	55,22	3259,75	124,86	2,12	124,86
■ 4	3507,46	64,69	3507,46	110,34	2,04	110,34
■ 5	3322,86	42,60	3322,86	113,42	1,45	113,42
Media	3373,664	54,276	3372,088	108,682	1,749	108,643
Desv. Std	147,275	8,319	149,270	16,993	0,378	17,076
Coef. V.	0,044	0,153	0,044	0,156	0,216	0,157
+3 Sigma	3815,488	79,234	3819,899	159,661	2,883	159,870

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	108.682 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	2484.926 MPa
Espesor real promedio:	1.30mm



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50		
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%
Refuerzo:	TG+TG+TG	Fracción volumétrica	30%
Orientación:	45°+0°+135°	Curado:	Horno
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5
Espesor promedio:	2.594mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min
Temperatura:	21.4°C	Humedad relativa:	53.4%

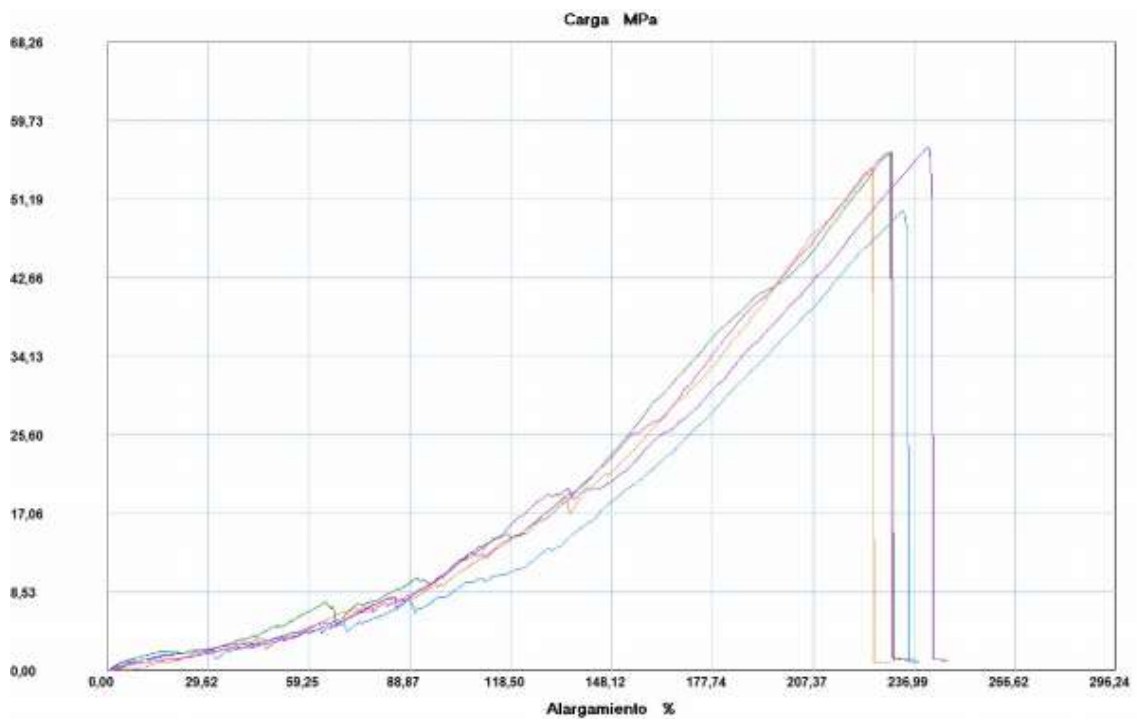
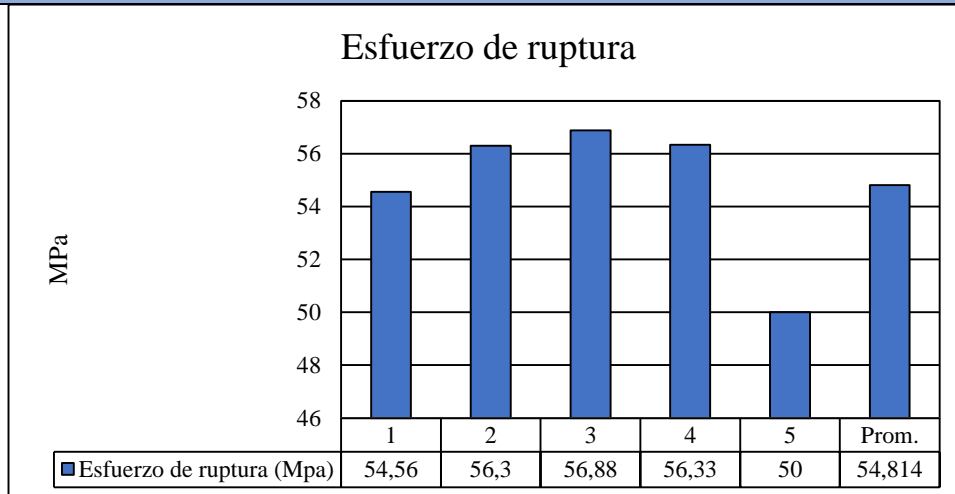
RESULTADOS

Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	3264.48	54.56	1348.85	4.05	LGM
2	3531.13	56.30	1357.28	4.15	LGM
3	3673.13	56.88	1310.04	4.34	AGM
4	3389.13	56.33	1360.15	4.14	AGM
5	3468.02	50.00	1187.03	4.21	AGM
Promedio	3465.178	54.814	1312.672	4.178	-
Des. Est.	153.023	2.830	73.049	0.109	-

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO





GRÁFICAS



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
■ 1	3264,48	59,96	3264,48	54,56	1,00	54,56
■ 2	3531,13	132,53	3531,13	56,30	2,11	56,30
■ 3	3673,13	102,56	3673,13	56,88	1,59	56,88
■ 4	3389,13	71,00	3389,13	56,33	1,18	56,33
■ 5	3468,02	115,18	3445,93	50,00	1,66	49,68
Media	3465,178	96,246	3460,760	54,814	1,509	54,750
Desv. Std	153,023	30,286	153,240	2,830	0,436	2,966
Coef. V.	0,044	0,315	0,044	0,052	0,289	0,054
+3 Sigma	3924,248	187,103	3920,479	63,303	2,816	63,647

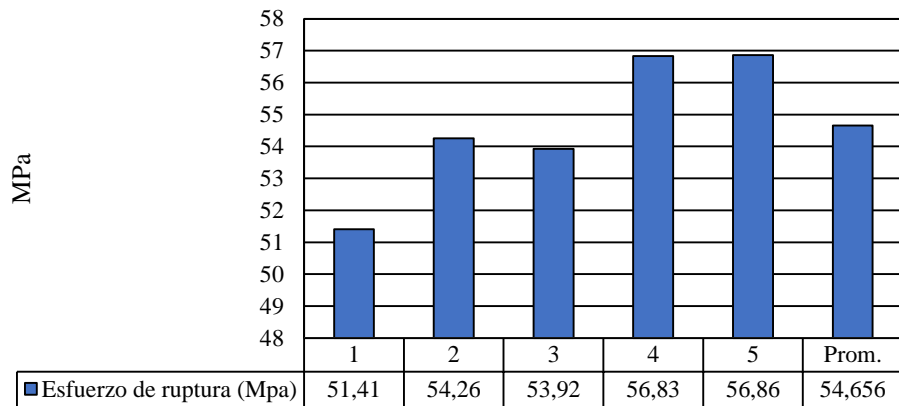
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	54.814 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1312.672MPa
Espesor real promedio:	2.594mm

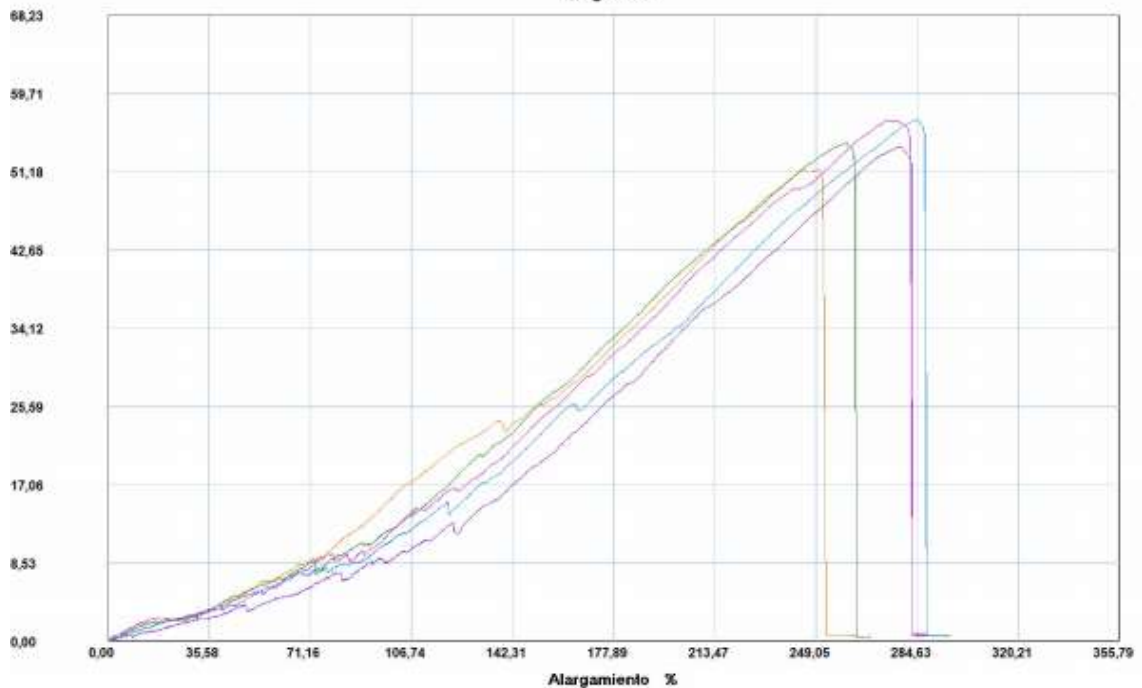
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039		
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%		
Refuerzo:	TFV+TG+TG	Fracción volumétrica	30%		
Orientación:	Ran + 45° + 135°	Curado:	Horno		
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5		
Espesor promedio:	2.45mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min		
Temperatura:	26.3°C	Humedad relativa:	42.6%		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	2983.63	51.41	1135.58	4.53	LGM
2	3474.33	54.26	1149.01	4.72	AGM
3	3076.72	53.92	1060.49	5.08	AGM
4	3539.02	56.83	1121.61	5.07	AGM
5	3504.31	56.86	1100.28	5.17	LGM
Promedio	3315.602	54.656	1113.392	4.914	-
Des. Est.	263.624	2.284	34.638	0.276	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo de ruptura (Mpa)



Carga MPa



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	2983,63	121,49	2923,68	51,41	2,09	50,37
2	3474,33	137,27	3404,91	54,26	2,14	53,17
3	3076,72	74,16	2972,59	53,92	1,30	52,10
4	3539,02	156,20	3474,33	56,83	2,51	55,80
5	3504,31	124,65	3411,22	56,86	2,02	55,35
Media	3315,602	122,754	3237,346	54,656	2,014	53,358
Desv. Std	263,624	30,397	265,967	2,284	0,441	2,261
Coef. V.	0,080	0,248	0,082	0,042	0,219	0,042
+3 Sigma	4106,475	213,945	4035,246	61,510	3,336	60,141

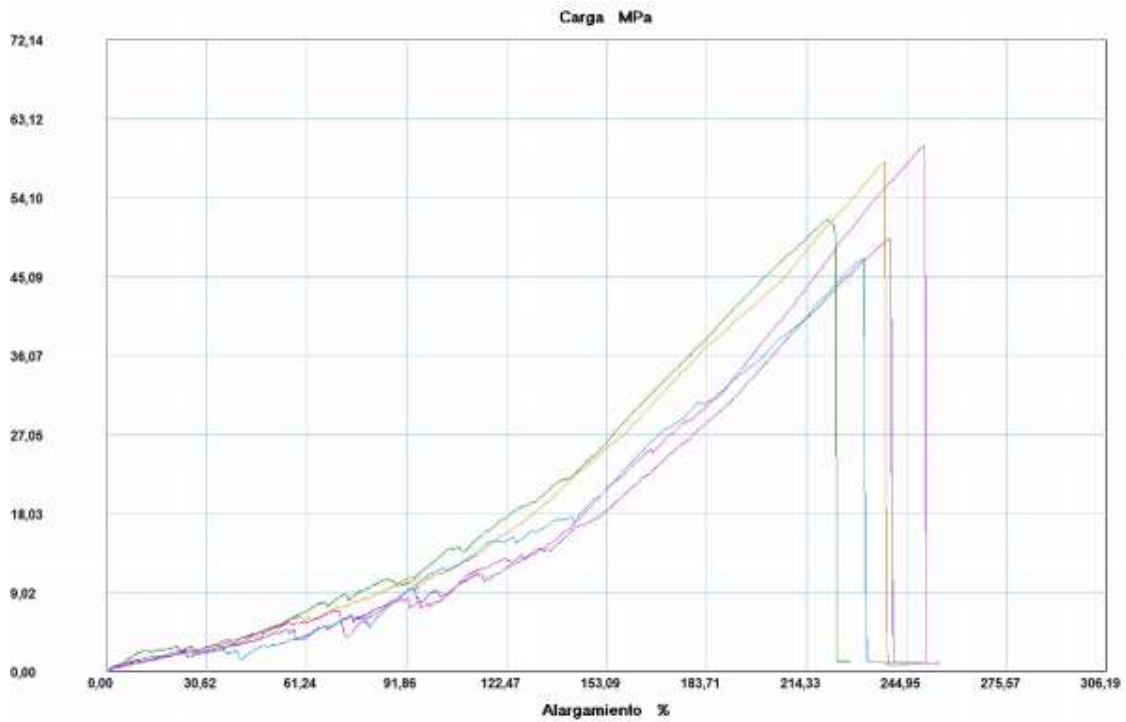
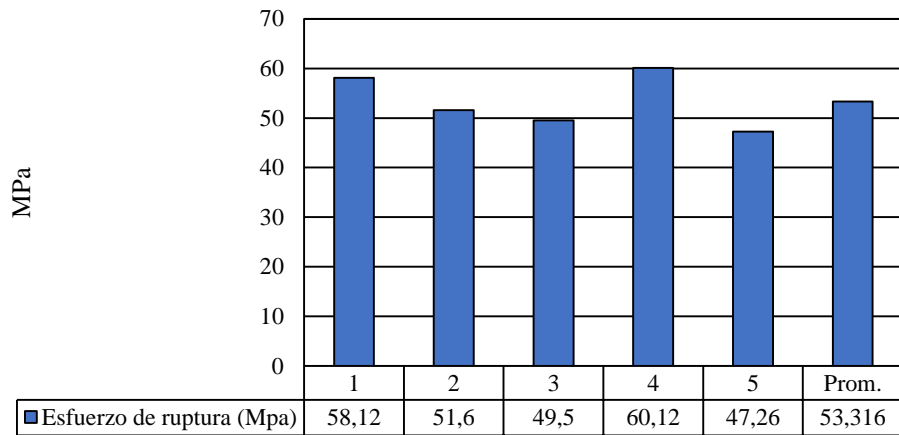
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	54.656MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1113.392 MPa
Espesor real promedio:	2.45mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039		
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%		
Refuerzo:	TG+TG+TG	Fracción volumétrica	30%		
Orientación:	45°+0°+135°	Curado:	Ambiente		
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5		
Espesor promedio:	2.57mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min		
Temperatura:	21.4°C	Humedad relativa:	53.4%		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	3597.40	58.12	1355.68	4.29	LGT
2	3253.44	51.60	1287.21	4.01	LGT
3	3515.35	49.50	1145.45	4.32	LGM
4	3677.87	60.12	1333.53	4.51	LGT
5	2696.47	47.26	1132.90	4.17	AGT
Promedio	3348.106	53.316	1250.955	4.259	-
Des. Est.	397.635	5.557	105.083	0.185	-
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo de ruptura (Mpa)



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	3597,40	94,67	3597,40	58,12	1,53	58,12
2	3253,44	159,36	3212,41	51,60	2,53	50,95
3	3515,35	124,65	3493,26	49,50	1,76	49,19
4	3677,87	112,02	3677,87	60,12	1,83	60,12
5	2696,47	96,25	2696,47	47,26	1,69	47,26
Media	3348,106	117,390	3335,482	53,316	1,866	53,124
Desv. Std	397,635	26,486	398,186	5,557	0,386	5,668
Coef. V.	0,119	0,226	0,119	0,104	0,207	0,107
+3 Sigma	4541,010	196,849	4530,039	69,988	3,024	70,126

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	53.316 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1250.955 MPa
Espesor real promedio:	2.57mm



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA**



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50		
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%
Refuerzo:	TFV+TG+TG	Fracción volumétrica	30%
Orientación:	Ran + 45° + 135°	Curado:	Ambiente
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5
Espesor promedio:	1.96mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min
Temperatura:	26.8°C	Humedad relativa:	42.3%

RESULTADOS

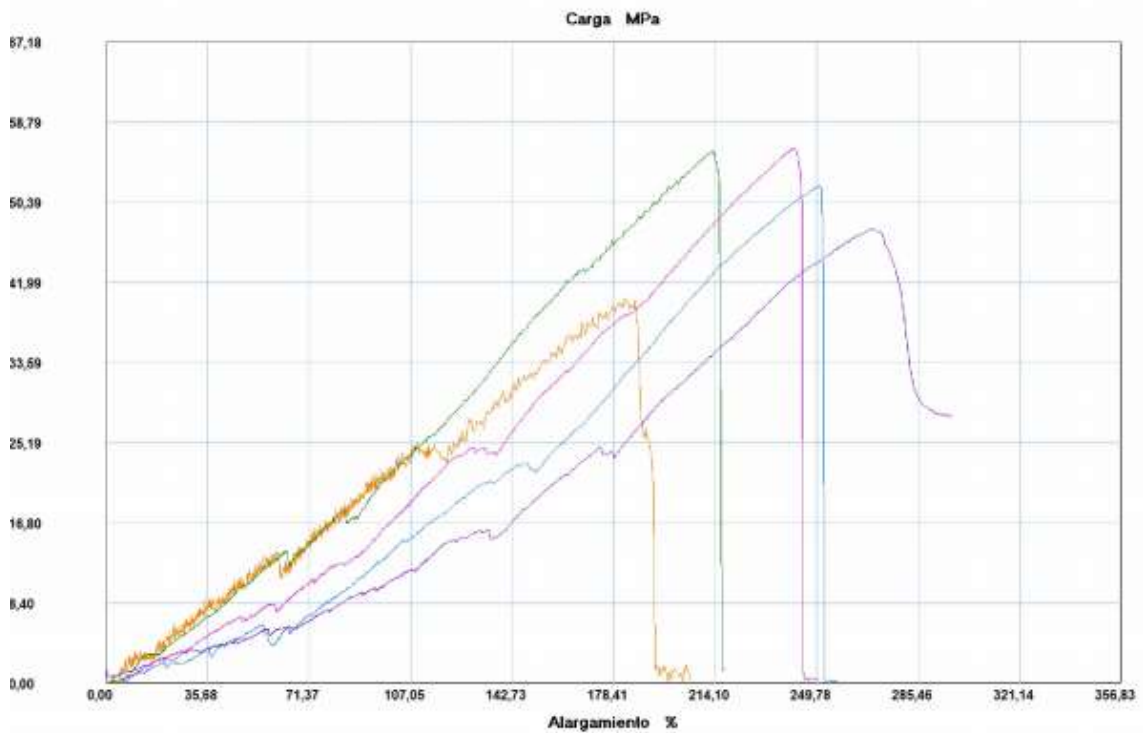
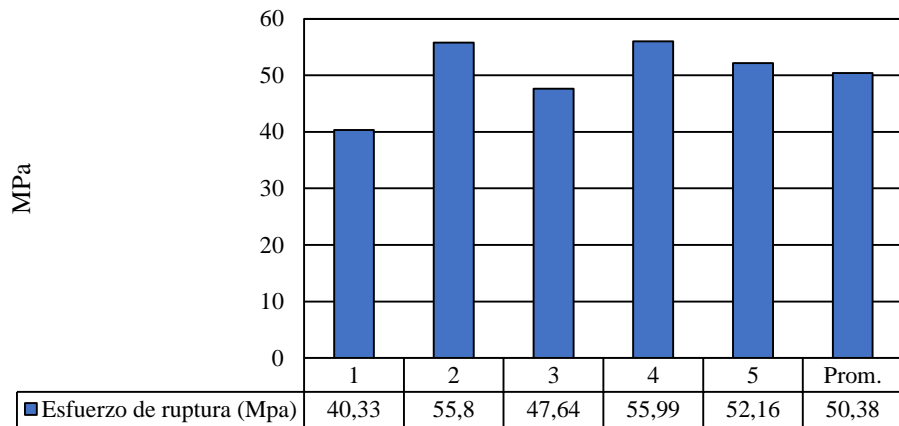
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	1959.64	40.33	1205.34	3.35	AGT
2	2688.58	55.80	1443.84	3.86	AGM
3	2300.44	47.64	948.24	5.02	AGM
4	2592.34	55.99	1279.75	4.37	AGT
5	2491.36	52.16	1152.22	4.23	LGT
Promedio	2406.472	50.38	1205.88	0.64	-
Des. Est.	288.201	6.57	181.20		-

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



GRÁFICAS

Esfuerzo de ruptura (Mpa)



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1959,64	165,67	1950,17	40,33	3,41	40,14
2	2688,58	149,89	2612,85	55,80	3,11	54,22
3	2300,44	119,91	1999,08	47,64	2,48	41,40
4	2592,34	104,13	2559,20	55,99	2,25	55,27
5	2491,36	86,78	2467,69	52,16	1,82	51,66
Media	2406,472	125,276	2317,798	50,381	2,614	48,538
Desv. Std	288,201	32,386	318,013	6,566	0,645	7,229
Coef. V.	0,120	0,259	0,137	0,130	0,247	0,149
+3 Sigma	3271,075	222,434	3271,838	70,079	4,550	70,225

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo Máximo Promedio:	50.38 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	1205.88 MPa
Espesor real promedio:	1.96mm



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	29-06-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero		
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50		
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca Mg

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM-D3039
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica	70%
Refuerzo:	TG+TG	Fracción volumétrica	30%
Orientación:	45° + 135°	Curado:	Horno
Dimensiones:	(250x25xe)mm	Número de probetas	5
Espesor promedio:	1.92mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min
Temperatura:	21.0°C	Humedad relativa:	54.5%

RESULTADOS

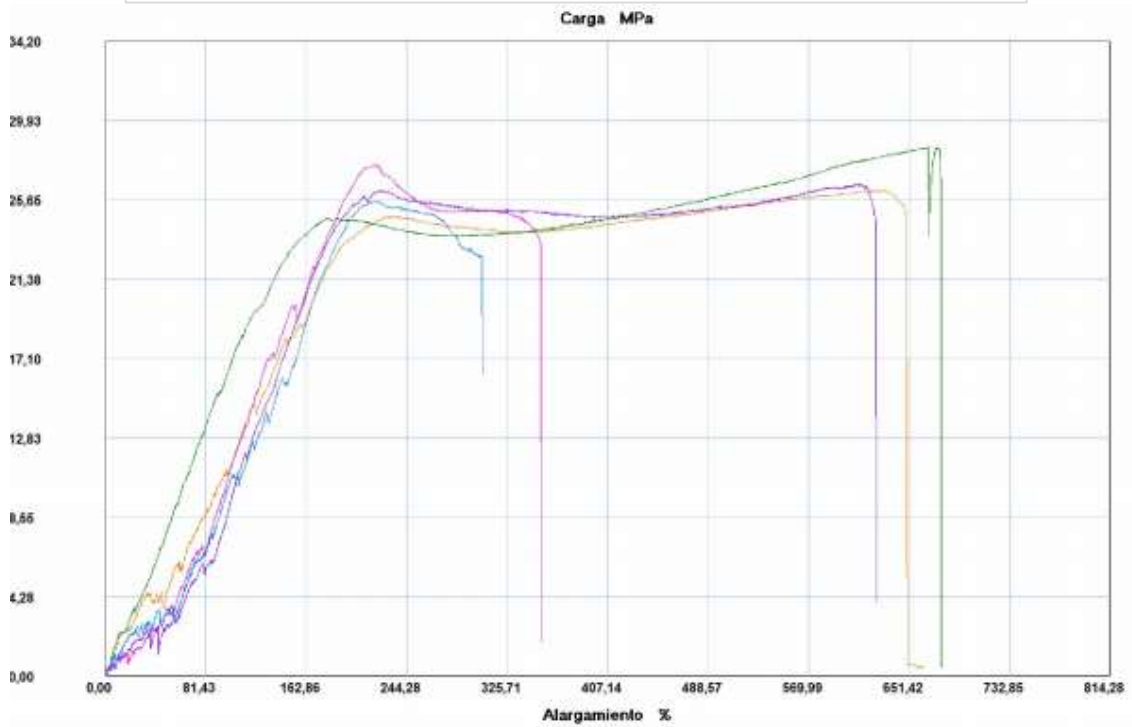
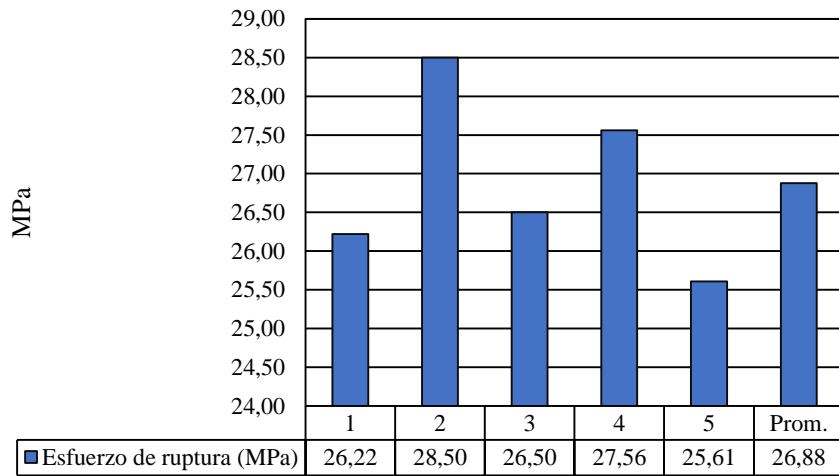
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación a ruptura (%)	Tipo de falla
1	1237.00	26.22	225.12	11.65	LGM
2	1412.14	28.50	218.86	13.02	LGM
3	1241.73	26.50	238.05	11.13	AGM
4	1296.96	27.56	433.77	6.35	AGM
5	1173.89	25.61	466.32	5.49	LAT
Promedio	1272.344	26.880	316.425	9.530	-
Des. Est.	89.483	1.147	122.713	3.378	-

FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO



GRÁFICAS

Esfuerzo de ruptura






Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	1237,00	194,07	1194,40	26,22	4,11	25,32
2	1412,14	238,25	1328,51	28,50	4,81	26,81
3	1241,73	94,67	1229,11	26,50	2,02	26,23
4	1296,96	55,22	1099,73	27,56	1,17	23,37
5	1173,89	97,82	1036,62	25,61	2,13	22,62
Media	1272,344	136,006	1177,674	26,880	2,850	24,871
Desv. Std	89,483	76,679	113,631	1,147	1,537	1,814
Coef. V.	0,070	0,564	0,096	0,043	0,539	0,073
+3 Sigma	1540,792	366,042	1518,568	30,322	7,460	30,313

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

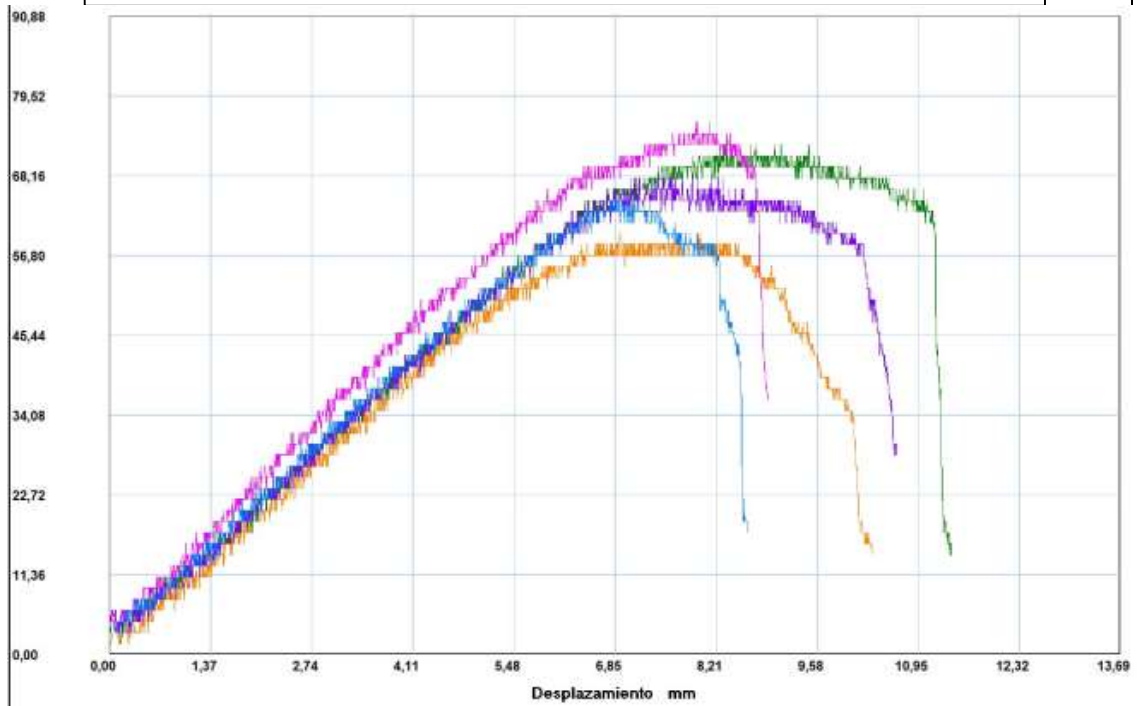
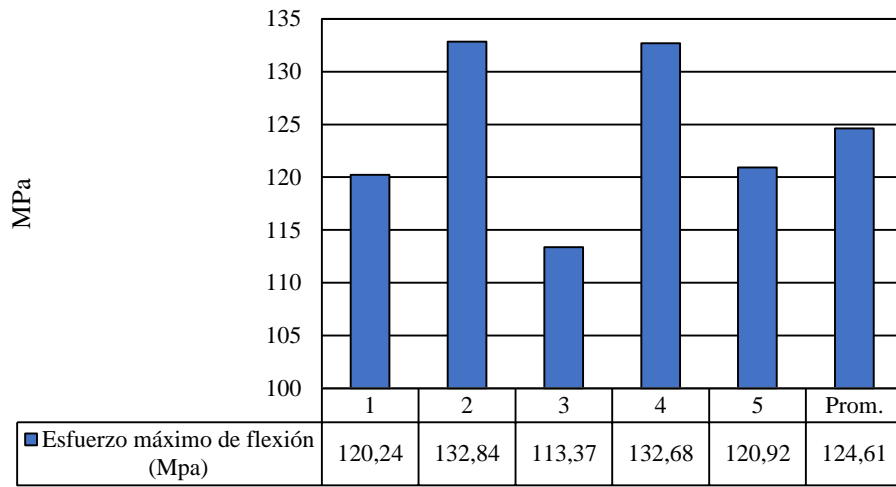
Esfuerzo Máximo Promedio:	26.880 MPa
Módulo de elasticidad promedio:	316.425MPa
Espesor real promedio:	1.92mm

4.1.2 Fichas de reporte ensayos de flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	14-07-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D7264		
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	TFV+TG+TG	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación:	Ran+0°+0°	Curado:	Horno		
Dimensiones:	(160x13xe)mm	Número de probetas:	5		
Espesor promedio:	2.09mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min		
Temperatura:	24.5°C	Humedad relativa:	46.2%		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	59.96	120.24	7068.04	6.912	OAT
2	72.58	132.84	6256.16	8.337	OAT
3	67.84	116.37	6238.97	7.052	OAT
4	75.73	132.68	6404.36	7.943	OAT
5	64.69	120.92	7040.19	6.776	OAT
Promedio	68.160	124.61	6601.54	7.4	
Desv Est	6.249	7.64	418.23	0.69	
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo máximo de Flexión



Probeta	FMax N
1	59,96
2	72,58
3	67,84
4	75,73
5	64,69
Media	68,160
Desv. Std	6,249
Coef. V.	0,092
+3 Sigma	86,908

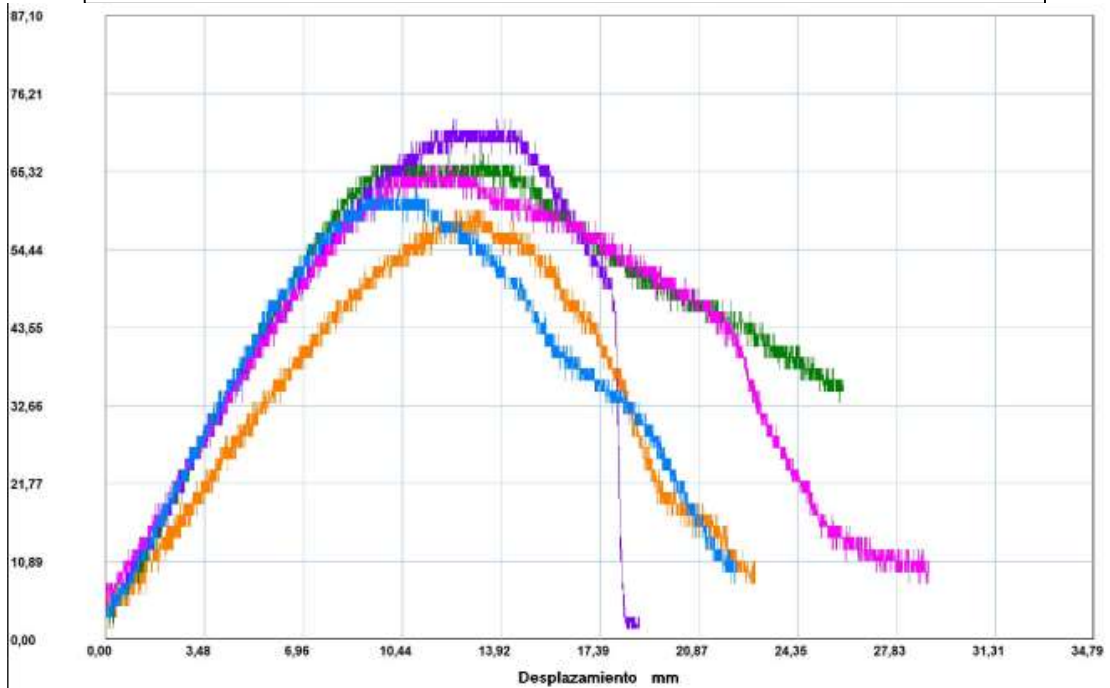
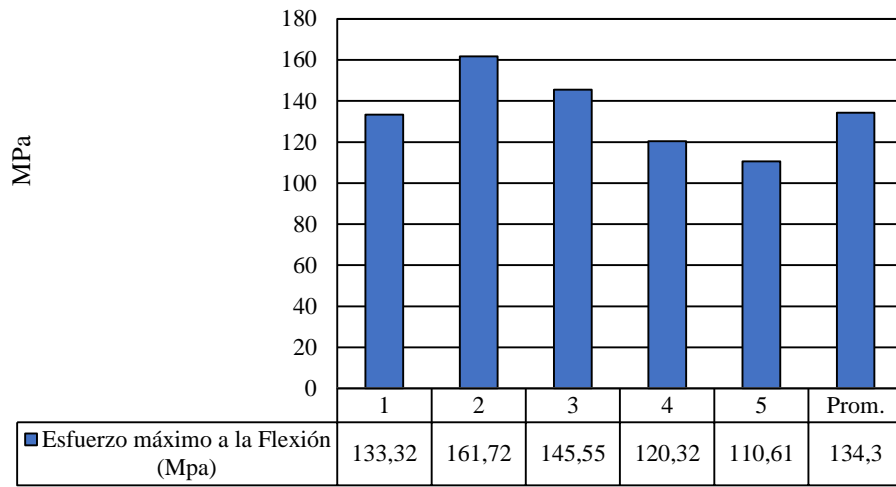
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo máximo promedio:	124.61MPa
Módulo de Flexión promedio:	6601.54MPa
Espesor real promedio:	2.09mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	14-07-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D7264		
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	TFV+TG+TFV	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación:	Ran+0°+Ran	Curado:	Horno		
Dimensiones:	(160x13xe)mm	Número de probetas:	5		
Espesor promedio:	1.99mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min		
Temperatura:	24.4°C	Humedad relativa:	43.8%		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	59.96	133.32	4762.91	12.290	OAB
2	67.84	161.72	6613.01	10.854	OAT
3	72.58	145.55	4833.81	12.234	OAB
4	66.27	120.32	4359.96	10.681	OAB
5	63.11	110.61	4562.96	9.208	OAB
Promedio	65.952	134.30	5026.53	11.05	
Desv Est	4.785	20.22	905.92	1.28	
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					
					

GRÁFICAS




Esfuerzo máximo a la Flexión



Probeta	FMax N
1	59,96
2	67,84
3	72,58
4	66,27
5	63,11
Media	65,952
Desv. Std	4,785
Coef. V.	0,073
+3 Sigma	80,306

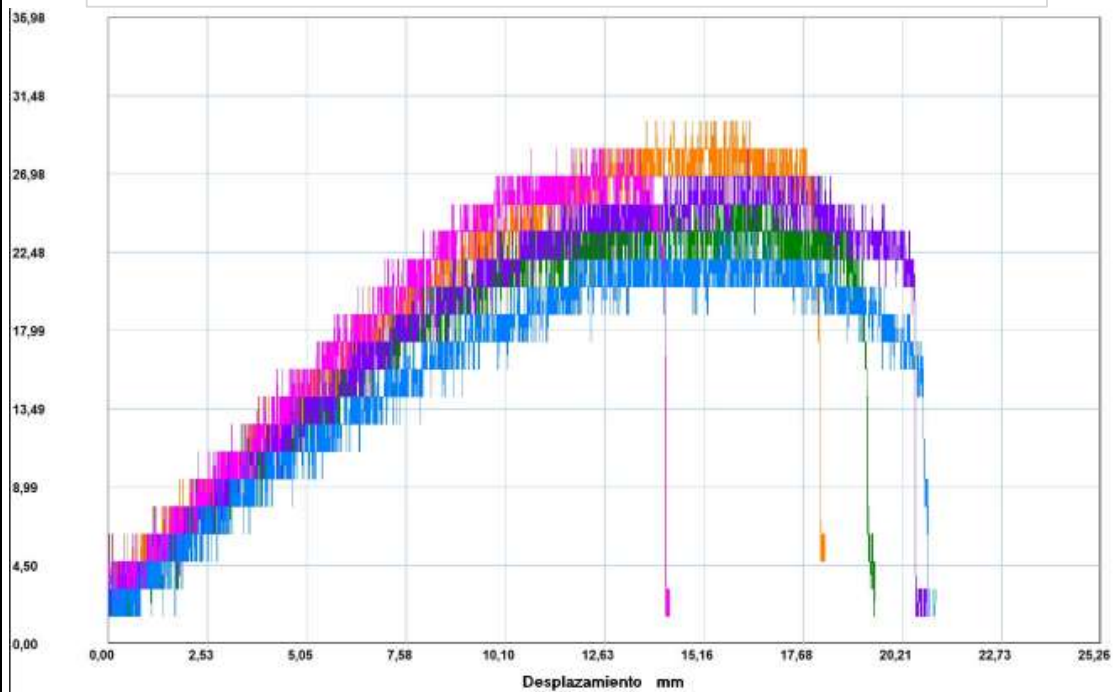
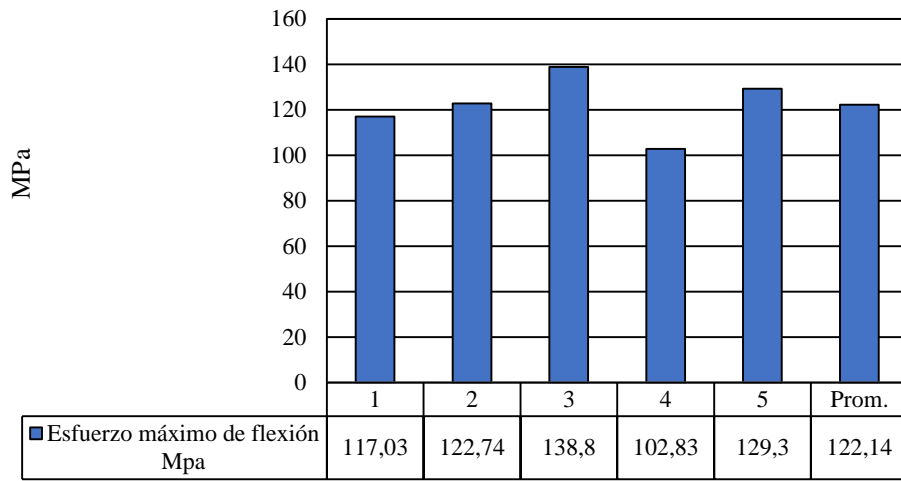
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo máximo promedio:	134.30MPa
Módulo de Flexión promedio:	5026.53MPa
Espesor real promedio:	1.99mm

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	14-07-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina Universal de Ensayos MTE-50				
Realizado por:	Pablo Mazón	Revisado por:	Ing. Henry Vaca		
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM-D7264		
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción volumétrica:	70%		
Refuerzo:	TFV+TG	Fracción volumétrica:	30%		
Orientación:	Ran+0°	Curado:	Horno		
Dimensiones:	(160x13xe)mm	Número de probetas:	5		
Espesor promedio:	1.34mm	Velocidad de ensayo:	10mm/min		
Temperatura:	24.°C	Humedad relativa:	44.3%		
RESULTADOS					
Probeta	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	29.98	117.03	4914.9	13.694	OAB
2	26.82	122.74	5130.77	14.913	OAB
3	28.4	138.80	5481.88	16.282	OAB
4	28.4	102.83	5308.29	10.762	OAB
5	25.24	129.30	5086.52	16.742	OAT
Promedio	27.768	122.14	5184.47	14.48	
Desv Est	1.801	13.49	217.33	2.40	
FOTOGRAFÍA DEL ENSAYO					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo máximo de Flexión










Probeta	FMax N
1	29,98
2	26,82
3	28,40
4	28,40
5	25,24
Media	27,768
Desv. Std	1,801
Coef. V.	0,065
+3 Sigma	33,172

EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES

Esfuerzo máximo promedio:	122.14MPa
Módulo de Flexión promedio:	5184.47MPa
Espesor real promedio:	1.34mm

4.1.3 Fichas de reporte ensayos de impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	10-07-2018	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM				
Máquina:	Máquina de impacto por dardos				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM – 5628		
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío		
Matriz:	Resina Epoxi	Orientación:	Ran + 0° + 0°		
Refuerzo:	FV + TG + TG	Curado:	Horno		
Dimensiones:	(58x58xe)	Número de probetas:	8		
Espesor promedio:	1.8mm	Masa del dardo:	0.2304 Kg		
Diámetro de dardo:	20mm	Geometría de dardo:	FE		
RESULTADOS					
Probeta	Altura (mm)	Peso dardo (Kg)	Coficiente	Resistencia a impacto (J)	Tipo de falla
1	1000	0.3360	9.80665×10^{-3}	3.295	A
2	1000	0.4416	9.80665×10^{-3}	4.33	A
3	1000	0.5475	9.80665×10^{-3}	5.37	A
4	1000	0.6006	9.80665×10^{-3}	5.89	A
5	1000	0.6531	9.80665×10^{-3}	6.40	B
6	1000	0.7056	9.80665×10^{-3}	6.92	B
7	1000	0.7581	9.80665×10^{-3}	7.43	B
8	1000	0.8623	9.80665×10^{-3}	8.45	B
FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO					
Probeta:	1	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.3360
Piezas adicionales:	6	Peso adicional (Kg):	0.1056	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					

Probeta:	2	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.4416
Piezas adicionales:	12	Peso adicional (Kg):	0.2112	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	3	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.5475
Piezas adicionales:	18	Peso adicional (Kg):	0.3171	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	4	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.6006
Piezas adicionales:	21	Peso adicional (Kg):	0.3702	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					

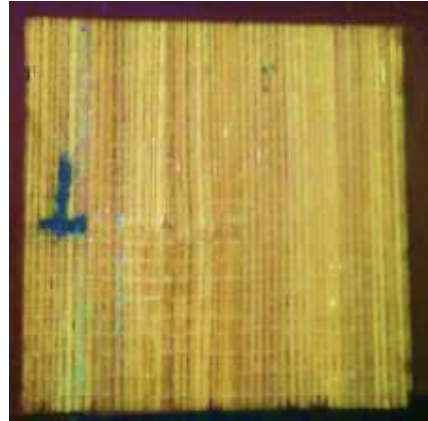
Probeta:	5	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.6531
Piezas adicionales:	24	Peso adicional (Kg):	0.4227	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)



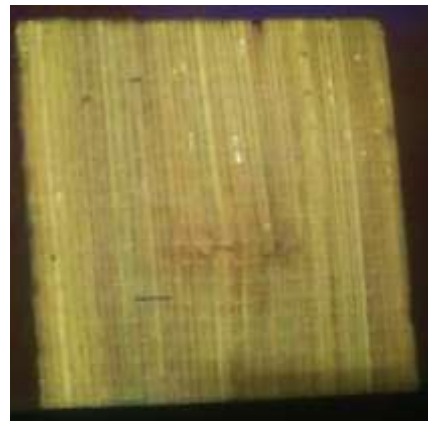
Probeta:	6	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.7056
Piezas adicionales:	27	Peso adicional (Kg):	0.4752	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)



Probeta:	7	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.7591
Piezas adicionales:	30	Peso adicional (Kg):	0.5277	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)



Probeta:	8	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.8623
Piezas adicionales:	36	Peso adicional (Kg):	0.6319	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	10-07-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM		
Máquina:	Máquina de impacto por dardos		

PARÁMETROS DE ENSAYO

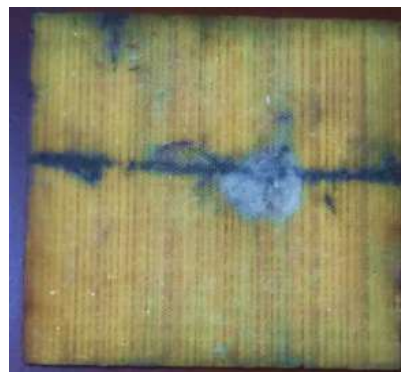
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM – 5628
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío
Matriz:	Resina Epoxi	Orientación:	Ran + 0° + Ran
Refuerzo:	FV + TG + TV	Curado:	Horno
Dimensiones:	(58x58xe)	Número de probetas:	8
Espesor promedio:	1.73mm	Masa del dardo:	0.2304 Kg
Diámetro de dardo:	20mm	Geometría de dardo:	FE




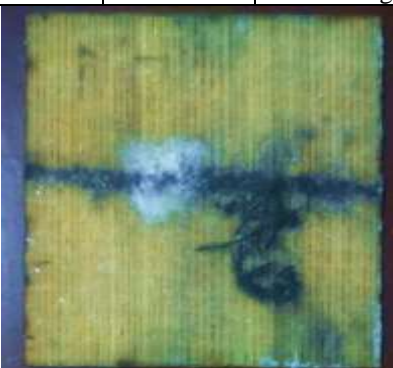

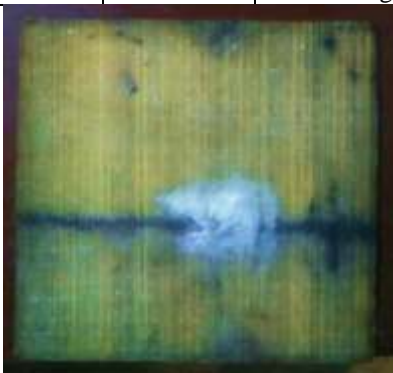
RESULTADOS




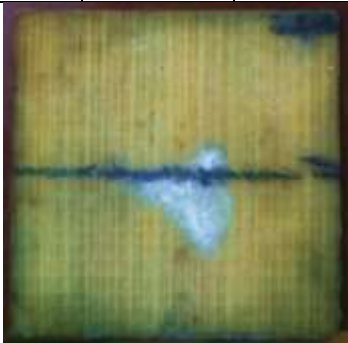


Probeta	Altura (mm)	Peso dardo (Kg)	Coefficiente	Resistencia a impacto (J)	Tipo de falla
1	1000	0.2832	9.80665×10^{-3}	2.777	A
2	1000	0.3888	9.80665×10^{-3}	3.81	A
3	1000	0.441	9.80665×10^{-3}	4.32	A
4	1000	0.494	9.80665×10^{-3}	4.844	A
5	1000	0.5475	9.80665×10^{-3}	5.36	A
6	1000	0.6	9.80665×10^{-3}	5.88	A
7	1000	0.6531	9.80665×10^{-3}	6.40	B
8	1000	0.7581	9.80665×10^{-3}	7.43	B



FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO

Probeta:	1	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.2832
Piezas adicionales:	3	Peso adicional (Kg):	0.0528	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)



Probeta:	2	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.3888
Piezas adicionales:	9	Peso adicional (Kg):	0.1584	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	3	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.441
Piezas adicionales:	12	Peso adicional (Kg):	0.2106	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	4	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.494
Piezas adicionales:	15	Peso adicional (Kg):	0.2636	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					

Probeta:	5	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.5475
Piezas adicionales:	18	Peso adicional (Kg):	0.3171	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	6	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.6
Piezas adicionales:	21	Peso adicional (Kg):	0.3696	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	7	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.6531
Piezas adicionales:	24	Peso adicional (Kg):	0.4227	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)
					

Probeta:	8	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.7581
Piezas adicionales:	30	Peso adicional (Kg):	0.5277	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)
					



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS

Fecha:	10-07-2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato FICM		
Máquina:	Máquina de impacto por dardos		

PARÁMETROS DE ENSAYO

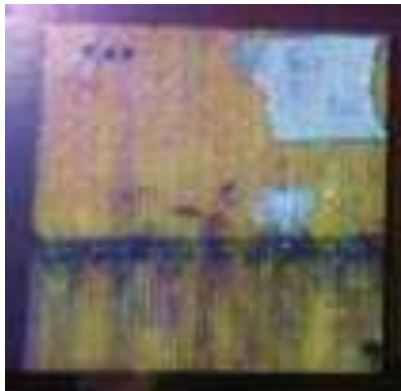
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM – 5628
Configuración:	Tejido	Estratificación:	Vacío
Matriz:	Resina Epoxi	Orientación:	Ran + 0°
Refuerzo:	FV + TG	Curado:	Horno
Dimensiones:	(58x58xe)	Número de probetas:	8
Espesor promedio:	1.23mm	Masa del dardo:	0.2304 Kg
Diámetro de dardo:	20mm	Geometría de dardo:	FE







RESULTADOS





Probeta	Altura (mm)	Peso dardo (Kg)	Coefficiente	Resistencia a impacto (J)	Tipo de falla
1	800	0.2304	9.80665×10^{-3}	1.807	A
2	800	0.2832	9.80665×10^{-3}	2.22	A
3	800	0.336	9.80665×10^{-3}	2.64	A
4	800	0.388	9.80665×10^{-3}	3.04	A
5	800	0.442	9.80665×10^{-3}	3.47	B
6	1000	0.336	9.80665×10^{-3}	3.29	B
7	1000	0.388	9.80665×10^{-3}	3.80	B
8	1000	0.442	9.80665×10^{-3}	4.33	B





FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO

Probeta:	1	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.2304
Piezas adicionales:	0	Peso adicional (Kg):	0	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)



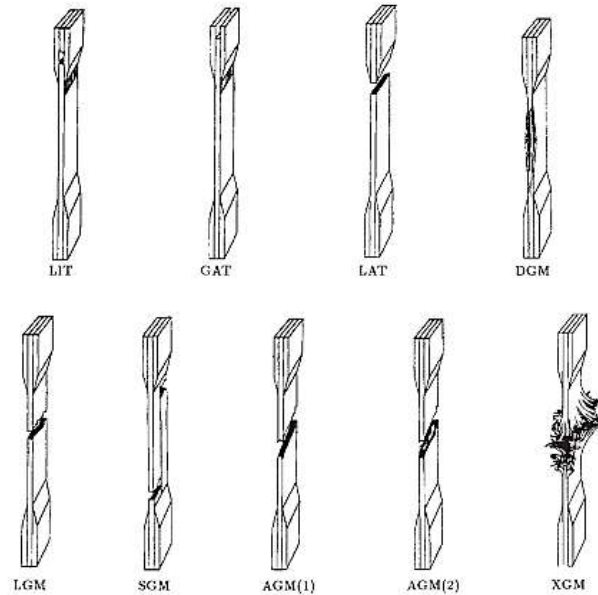
Probeta:	2	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.2832
Piezas adicionales:	3	Peso adicional (Kg):	0.0528	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	3	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.336
Piezas adicionales:	6	Peso adicional (Kg):	0.1056	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					
Probeta:	4	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.388
Piezas adicionales:	9	Peso adicional (Kg):	0.1584	Tipo de falla:	Falla tipo A: Grieta o grietas en una sola superficie (la placa aún podrá contener agua)
					

Probeta:	5	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.442
Piezas adicionales:	12	Peso adicional (Kg):	0.2112	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)
					
Probeta:	6	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.336
Piezas adicionales:	6	Peso adicional (Kg):	0.1056	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)
					

Probeta:	7	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.388
Piezas adicionales:	9	Peso adicional (Kg):	0.1584	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)
					
Probeta:	8	Peso dardo (Kg):	0.2304	Peso total (Kg):	0.442
Piezas adicionales:	12	Peso adicional (Kg):	0.2112	Tipo de falla:	Falla tipo B: Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa)
					

4.1.4 Nomenclatura de tipos de falla utilizada en las fichas técnicas

Es importante conocer varias partes de la norma ASTM D – 3039 para interpretar de la manera correcta el tipo de fracturas que se presentaron en los ensayos de tracción en la figura 4.1 se observar los distintos tipos de fracturas.



Primer código		Segundo código		Tercer código	
Tipo de falla	Código	Área de falla	Código	Localización de falla	Código
Angular	A	Dentro agarre/lengüeta	I	Parte inferior	B
Borde delaminación	D	Agarre pestaña	A	Arriba	T
Agarre/pestaña	G	> 1W Desde agarre/pestaña	W	Izquierda	L
Lateral	L	Gage	G	Derecha	R
Multi-modo largo	M(xyz)	Múltiples áreas	M	Media	M
División larga	S	Varios	V	Varios	V
Explosiva	X	Desconocido	U	Desconocido	U
Otros	O				

Figura 4.1.- Tipos de fracturas en ensayos a tracción. [15]

Una vez realizado los ensayos de flexión aparecerán varias fallas las cuales se pueden analizar basándose en la norma ASTM D – 7264, la tabla 4.1 muestra las combinaciones de fallas que se pueden presentar.

Tabla 4.1.- Tipo de fallas en ensayos de flexión. [15]

Primer código		Segundo código		Tercer código	
Tipo de falla	Código	Área de falla	Código	Localización de falla	Código
Tensión	T	En la punta de carga	A	Parte posterior	T
Compresión	C	Entre las puntas de cargas	B	Fondo	B
Pandeo	B	En la punta de soporte	S	Izquierda	L
Corte interlaminar	S	Entre carga y punta de soporte	L	Derecha	R
Modo múltiple	M(xyz)	Desconocido	U	En el medio	M
Otros	O			Varios	V
				Desconocido	U

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se toma en cuenta el tipo de curado que se realizó y la incidencia que tiene este proceso en los resultados obtenidos en los ensayos a tracción. En la tabla 4.2 se encuentran los datos de esfuerzos máximos a la tracción de las familias o combinaciones a analizar.

Tabla 4.2.- Datos de esfuerzo máximo a la tracción. [Autor]

Número	Descripción	Esfuerzo de tracción MPa
1	Combinación 3 curada al horno	54,656
2	Combinación 3 curada al ambiente	50,38
3	Combinación 6 curada al horno	54,814
4	Combinación 6 curada al ambiente	53,316

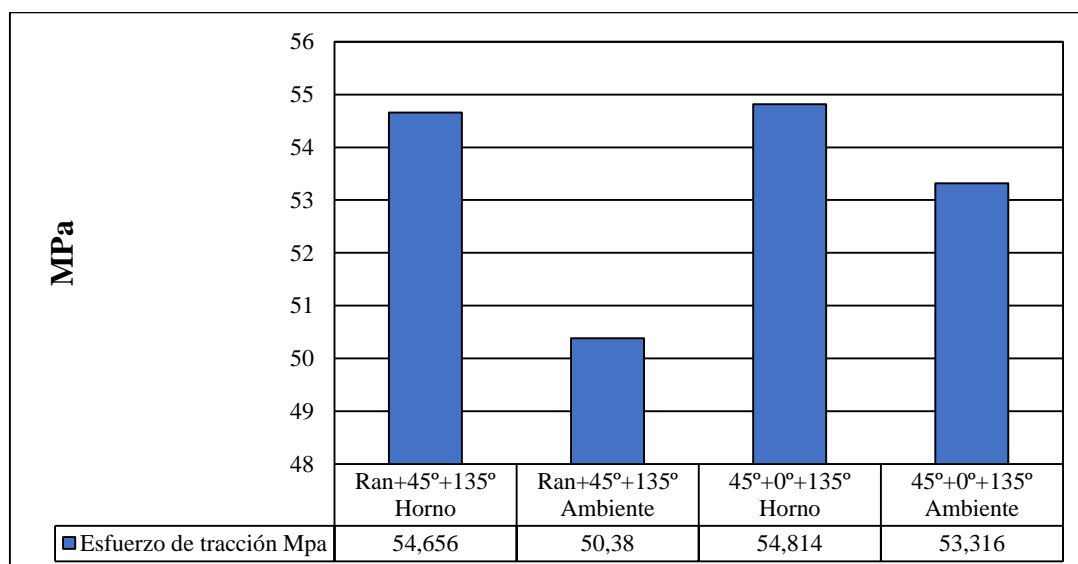


Figura 4.2.- Gráfica comparativa de esfuerzo de tracción. [Autor]

En la figura 4.2 se observa la comparación de los métodos de curado, para la combinación Ran+45°+135° curada al horno arrojó un esfuerzo máximo a la tracción de 54.656 MPa y el resultado cuando fue curada al ambiente fue 50.38 MPa, así mismo se puede observar que el curado al horno de las combinación de tres capas dispuestas a 45°+0°+135° obtuvo un esfuerzo máximo a la tracción de 54.814MPa y al ambiente 53.316MPa, por lo expuesto anteriormente se puede aseverar que el curado al horno arrojará mejores resultados de esfuerzo máximo a la tracción.

Una vez analizado el mejor tipo de curado de las probetas antes de ensayarlas y obtener sus resultados se analiza cual fue la combinación que obtuvo mejores resultados de

esfuerzo máximo a la tracción. En la tabla 4.3 se puede apreciar los datos obtenidos en los ensayos a tracción de todas las combinaciones.

Tabla 4.3.- Esfuerzo máximo a la tracción. [Autor]

Número	Combinación	Esfuerzo MPa
1	Combinación 1	128,541
2	Combinación 2	108,682
3	Combinación 3	54,656
4	Combinación 3A	50,38
5	Combinación 4	131,654
6	Combinación 5	26,88
7	Combinación 6	54,814
8	Combinación 6A	53,316

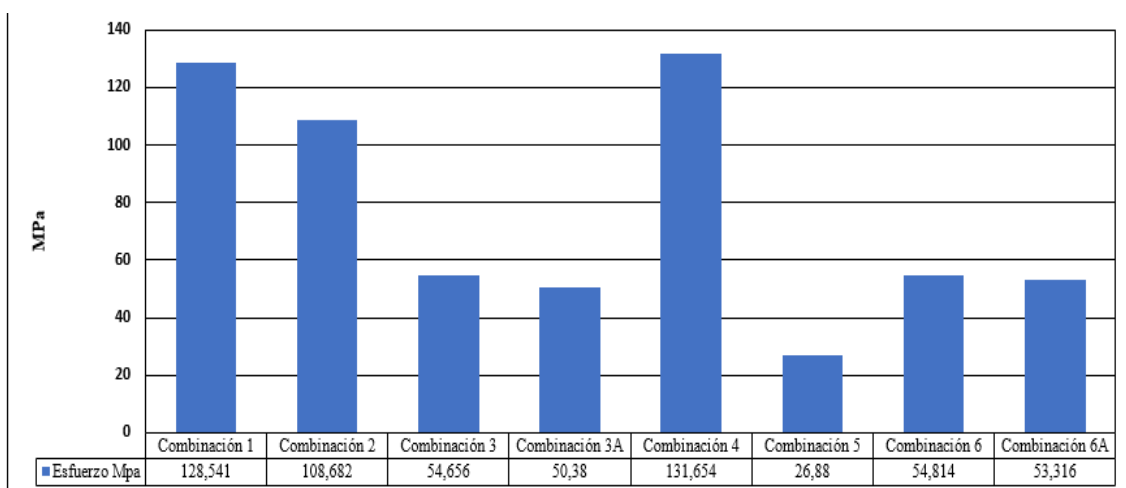


Figura 4.3.- Comparación de esfuerzo máximo a la tracción. [Autor]

En la figura 4.3 se observa la comparación de los esfuerzos máximos a la tracción de las ocho combinaciones que se ensayaron obteniendo los mejores resultados en las combinaciones 1,4 y 2 debido a que sus esfuerzos sobrepasan los 100MPa.

Estos resultados se verificarán con el método “T Student” con una distribución de diferencia entre medias para este fin se establece la hipótesis que a continuación se presenta:

Las tres capas de tejido de caña guadua y algodón dispuesta con una orientación de 45° 0° y 135° respectivamente, utilizadas como refuerzo de un material compuesto de resina epoxi, estratificada al vacío y curada a horno obtendrá los mejores resultados en los ensayos de tracción.

Las variables que intervienen en la hipótesis son:

Variable dependiente

Resultados sobresalientes en los ensayos a tracción

Variable independiente

Material compuesto de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de algodón y caña guadua.

Simbología:

Ha= Hipótesis alternativa

Ho= Hipótesis nula

X= Resultados de los ensayos a tracción estratificación a horno

Y= Resultados de ensayos a tracción estratificación al ambiente

n1= Población 1

n2= Población 2

α = Margen de error

Hipótesis alternativa Ha

Las tres capas de tejido de caña guadua y algodón dispuesta con una orientación de 45° 0° y 135° respectivamente, utilizadas como refuerzo de un material compuesto de resina epoxi, estratificada al vacío y curada a horno obtendrá los mejores resultados en los ensayos de tracción.

Hipótesis nula Ho

Las tres capas de tejido de caña guadua y algodón dispuesta con una orientación de 45° 0° y 135° respectivamente, utilizadas como refuerzo de un material compuesto de resina epoxi, estratificada al vacío y curada a horno no obtendrá los mejores resultados en los ensayos de tracción.

Módulo matemático

$$H_0 = \mu_x = \mu_y$$

$$H_a = \mu_x \neq \mu_y$$

Nivel de significancia

$$\alpha/2 = 0.05/2 = 0.025$$

Grados de libertad

$$V = n_1 + n_2 - 2$$

$$V = 6 + 2 - 2$$

$$V = 6$$

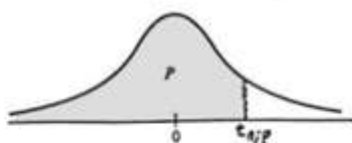
Selección de t_0

$$t_0 = 0.975 \text{ (Sugerido para trabajos experimentales)}$$

Resolución

Distribución t tabulado

Distribución *t* de Student



La tabla A.4 da distintos valores de la función de distribución en relación con el número de grados de libertad; concretamente, relaciona los valores p y $t_{n,p}$ que satisfacen

$$P(t_n \leq t_{n,p}) = p.$$


n	$t_{0,55}$	$t_{0,60}$	$t_{0,70}$	$t_{0,80}$	$t_{0,90}$	$t_{0,95}$	$t_{0,975}$	$t_{0,99}$	$t_{0,995}$
1	0,1584	0,3249	0,7265	1,3764	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567
2	0,1421	0,2887	0,6172	1,0607	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248
3	0,1366	0,2767	0,5844	0,9785	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409
4	0,1338	0,2707	0,5686	0,9410	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041
5	0,1322	0,2672	0,5594	0,9195	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321
6	0,1311	0,2648	0,5534	0,9057	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074
7	0,1303	0,2632	0,5491	0,8960	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995
8	0,1297	0,2619	0,5459	0,8889	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554
9	0,1293	0,2610	0,5435	0,8834	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498
10	0,1289	0,2602	0,5415	0,8791	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693
11	0,1286	0,2596	0,5399	0,8755	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058
12	0,1283	0,2590	0,5386	0,8726	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545
13	0,1281	0,2586	0,5375	0,8702	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123
14	0,1280	0,2582	0,5366	0,8681	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768
15	0,1278	0,2579	0,5357	0,8662	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467
16	0,1277	0,2576	0,5350	0,8647	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208
17	0,1276	0,2573	0,5344	0,8633	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982
18	0,1274	0,2571	0,5338	0,8620	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784
19	0,1274	0,2569	0,5333	0,8610	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609
20	0,1273	0,2567	0,5329	0,8600	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453
21	0,1272	0,2566	0,5325	0,8591	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314
22	0,1271	0,2564	0,5321	0,8583	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188
23	0,1271	0,2563	0,5317	0,8575	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073
24	0,1270	0,2562	0,5314	0,8569	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969
25	0,1269	0,2561	0,5312	0,8562	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874
26	0,1269	0,2560	0,5309	0,8557	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787
27	0,1268	0,2559	0,5306	0,8551	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707
28	0,1268	0,2558	0,5304	0,8546	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633
29	0,1268	0,2557	0,5302	0,8542	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564
30	0,1267	0,2556	0,5300	0,8538	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500
40	0,1265	0,2550	0,5286	0,8507	1,3031	1,6839	2,0211	2,4233	2,7045
50	0,1263	0,2547	0,5278	0,8489	1,2987	1,6759	2,0086	2,4033	2,6778
60	0,1262	0,2545	0,5272	0,8477	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603
80	0,1261	0,2542	0,5265	0,8461	1,2922	1,6641	1,9901	2,3739	2,6387
100	0,1260	0,2540	0,5261	0,8452	1,2901	1,6602	1,9840	2,3642	2,6259
120	0,1259	0,2539	0,5258	0,8446	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174
∞	0,126	0,253	0,524	0,842	1,282	1,645	1,960	2,327	2,576

Figura 4.4.- Distribución T Student.

T tabulado = 2.4469

Cálculo de distribución T

Tabla 4.4.- Resultados de ensayos a tracción. [Autor]

	Curado	
	Horno (MPa)	Ambiente (MPa)
Combinación 1	128.541	-
Combinación 2	108.682	-
Combinación 3	54.656	50.38
Combinación 4	131.654	-
Combinación 5	26.880	-
Combinación 6	54.814	53.316
Media	84.2045	51.848

$$S^2 = \frac{E(X1 - X2)^2 + E(Y1 - Y2)^2}{n1 + n2 - 2}$$

$$S^2 = \frac{(9839.342) + (4.310)}{6}$$

$$S^2 = 1640.60$$

Sustituyendo en la siguiente ecuación:

$$s^2 = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{S^2}{n1} + \frac{S^2}{n2}}}$$

$$s^2 = \frac{84.205 - 51.848}{\sqrt{\frac{1640.60}{6} + \frac{1640.60}{2}}}$$

$$s^2 = \frac{32.357}{33.07}$$

$$s^2 = 0.9783$$

El t calculado = 0.9783 menor t tabulado = 2.4469

Según el análisis de T Student el valor de t calculado es menor al valor de t tabulado por lo tanto se acepta la hipótesis nula la cual dice:

Las tres capas de tejido de caña guadua y algodón dispuesta con una orientación de 45° 0° y 135° respectivamente, utilizadas como refuerzo de un material compuesto de resina epoxi, estratificada al vacío y curada a horno no obtendrá los mejores resultados en los ensayos de tracción.

En la tabla 4.5 se muestra los resultados obtenidos en los ensayos de flexión donde se puede determinar mediante un gráfico el mejor resultado entre las combinaciones ya seleccionadas.

Tabla 4.5.- Esfuerzo máximo a la flexión. [Autor]

Número	Combinación	Esfuerzo MPa
1	Combinación 4	124,61
2	Combinación 1	134,30
3	Combinación 2	122,14

En la figura 4.5 se observa gráficamente los resultados de los esfuerzos máximos de flexión, dando como resultado que la combinación 1 tiene 134.3 MPa siendo este el mejor resultado.

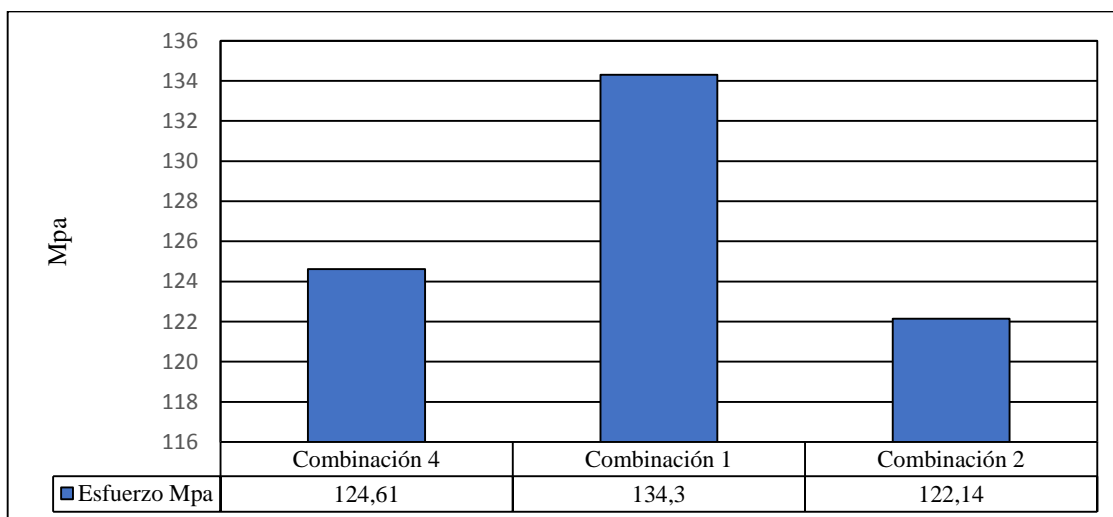


Figura 4.5.- Esfuerzo máximo a la flexión. [Autor]

Los ensayos de impacto se realizaron con diferentes pesos para conocer el comportamiento de las probetas de cada una de las combinaciones que se escogieron para

este tipo de ensayo. En la tabla 4.6 se aprecia la energía promedio ocupada en cada una de las combinaciones.

Tabla 4.6.- Resultados de ensayos de impacto. [Autor]

Número de probetas	Impacto (J)		
	Combinación 4	Combinación 1	Combinación 2
Probeta 1	3,295	2,777	1,807
Probeta 2	4,33	3,81	2,22
Probeta 3	5,37	4,32	2,64
Probeta 4	5,89	4,844	3,04
Probeta 5	6,4	5,36	3,47
Probeta 6	6,92	5,88	3,29
Probeta 7	7,43	6,4	3,8
Probeta 8	8,45	7,43	4,33
Promedio	6.01	5.10	3.07

En la figura 4.6 se aprecia los resultados de los ensayos de impacto de forma gráfica evidenciando que los mejores resultados se dieron en la combinación número 4 con un máximo de 8.45 J ocasionando una falla de tipo B.

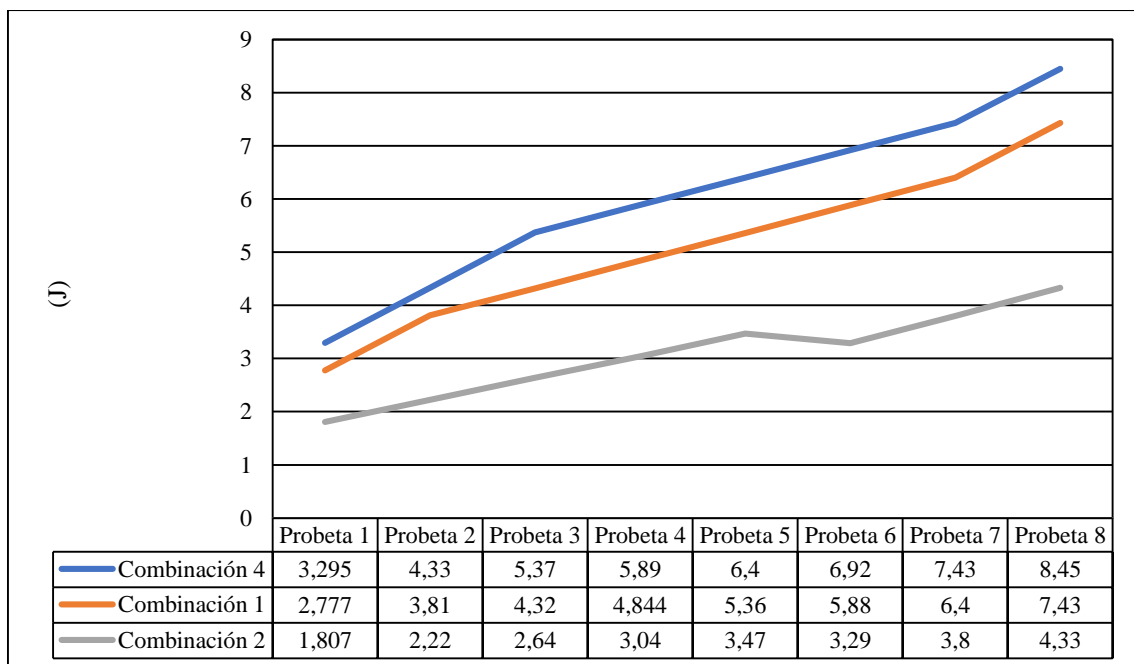


Figura 4.6.- Energía absorbida en el impacto. [Autor]

4.3 APLICACIONES INDUSTRIALES

4.3.1 Industria automotriz

En esta industria existe un avance visible en la utilización de materiales compuestos reforzados con fibras naturales para reducir sea el peso del vehículo y reducir la utilización de materiales sintéticos como la fibra de vidrio, en esta área son pocas las investigaciones que se han realizado con fibra de caña guadua, pero hay varias investigaciones con fibra de coco en la construcción de alerones los cuales no tienen mucha incidencia ya que son utilizados solo como un accesorio complementario para vehículos deportivos. Otra de las fibras naturales ya analizadas en este campo es la cabuya la cual se ha comparado con las propiedades de un compuesto utilizado comúnmente en guardachoques de autobuses estos resultados se compararán con los resultados obtenidos en esta investigación. En la tabla 4.7 Se observa las propiedades de cada uno de estos materiales.

Tabla 7- Comparación de esfuerzos máximos a la tracción. [5, Autor]

Composición	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)
Común (FV+RP)	75,64
Híbrido (FV+FC+RP)	78,24
Híbrido (FV+TG+RE)	108,682

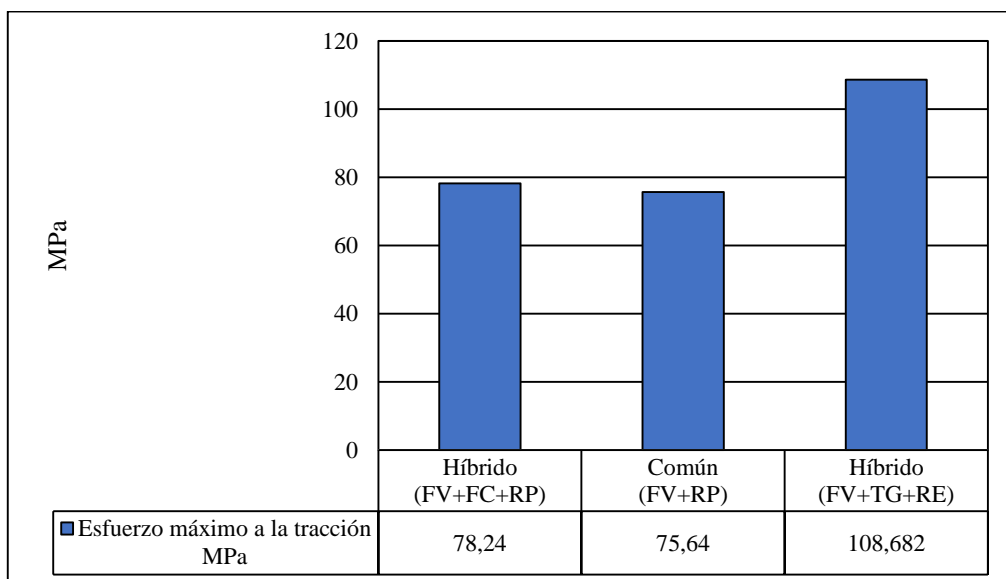


Figura 4.7.- Comparación gráfica del esfuerzo máximo a la tracción de varios compuestos. [Autor, 5]

En la figura 4.7 se observa la comparación de los esfuerzos máximos a la tracción obtenidos en cada una de las investigaciones dando como resultado que el mejor compuesto es el de resina epoxi, tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón más fibra de vidrio con 108.682 MPa.

Gracias a la comparación de resultados de varias combinaciones utilizadas para la construcción de guardachoques de autobuses se puede afirmar que la combinación utilizada en esta investigación puede ser utilizada para la creación de este accesorio en la industria automotriz.

4.3.2 Industria de la construcción

En la industria de la construcción uno de los materiales más utilizados para abaratar costos son los techos falsos ya que solo son utilizados como componente decorativo y no están expuesta a grandes esfuerzos, estos componentes son utilizados en un gran porcentaje en edificios remplazando al enlucido, pintado y mano de obra, el yeso es el material predominante en este tipo de componentes.

La norma española ASTM C472 nos los parámetros necesarios que debe poseer el yeso para que pueda ser utilizado caso contrario será rechazado como por ejemplo la resistencia a la tracción que oscila entre 12 y 25(Kgf/cm²) lo que en el sistema internacional equivale a 11.76 y24.5 MPa, comparando con los resultados obtenidos en esta investigación todas las combinaciones que se experimentaron son aceptables para remplazar este tipo de componentes en la construcción sin atentar con la seguridad de las personas que habiten estas instalaciones.

4.3.3 Industria del mueble

En lo que respecta a la industria del mueble este tipo de material investigado tiene un acabado que ayudará a la decoración de lugares sin necesidad de utilizar pintura por lo que se reduce el costo comparando con la utilización de madera, mdf, melamina.

PROPIEDADES	MÉTODO DE REFERENCIA	UNIDAD	ESPESOR						
			9	12	15	18	20	25	30
Densidad	EN 323	[kg/m ³]	620	620	620	620	620	620	620
Flexión	EN 310	[N/mm ²]	29	28	28	28	27	27	23
Tracción	EN 319	[N/mm ²]	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Figura 4.8.- Propiedades mecánicas de melamina. [28]

El material investigado debido a sus propiedades mecánicas puede fácilmente remplazar al mdf incluso a la melamina en la construcción de estanterías, marcos de fotografías, cubiertas de escritorios, mesas entre otros gracias a su resistencia a la tracción como a la flexión, en la figura 4.8 se puede apreciar las propiedades mecánicas de la melamina las cuales están muy por debajo de las propiedades del material analizado en este trabajo experimental.

4.4 VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

Para la verificación de hipótesis se ha utilizado varios métodos como son: el método gráfico, método estadístico donde se trabajaron con diagramas de dispersión y de barras, por último, el método de medias aritméticas con T Student para verificar los resultados obtenidos. Con los datos obtenidos se puede aseverar que no se puede aceptar la hipótesis planteada la cual reza:

Las tres capas de tejido de caña guadua y algodón dispuesta con una orientación de 45° 0° y 135° respectivamente, utilizadas como refuerzo de un material compuesto de resina epoxi, estratificada al vacío y curada a horno tendrá los mejores resultados en los ensayos de tracción. En la figura 4.9 se observa los esfuerzos máximos a tracción de las combinaciones ensayadas donde se puede observar los resultados más relevantes donde se observa de manera clara que los mejores resultados tiene otra combinación.

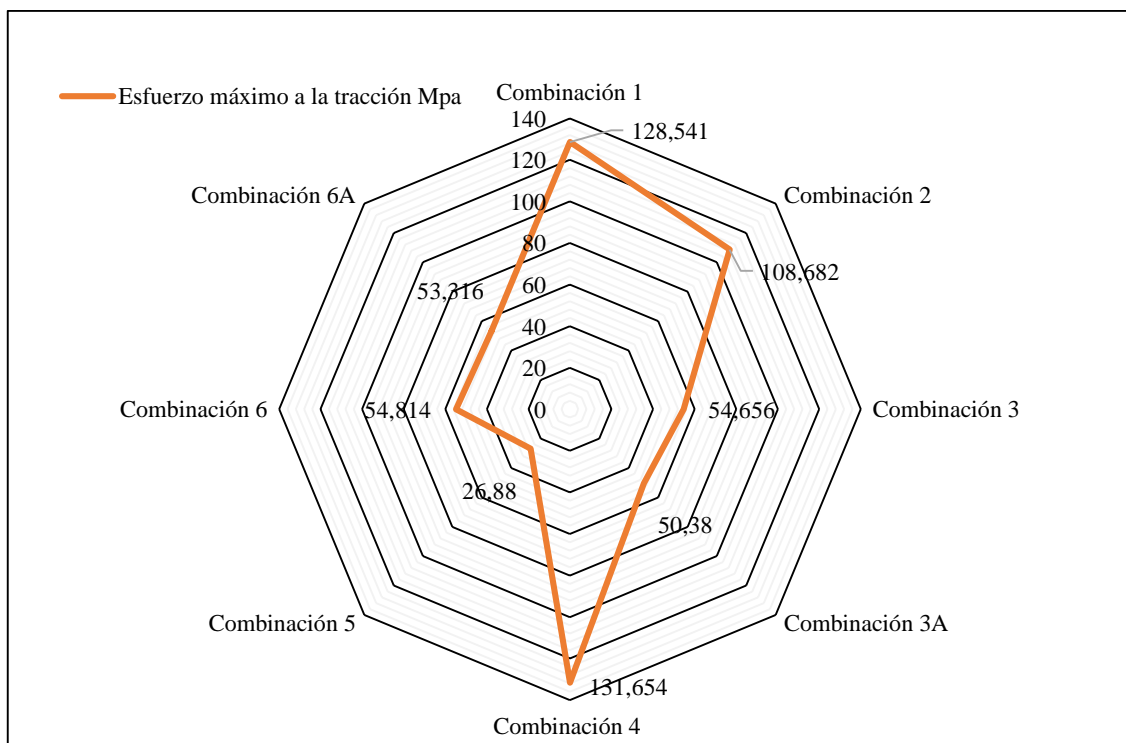


Figura 4.9.- Esfuerzo máximo de tracción. [Autor]

En la figura 4.10 se observa una gráfica de efectos principales para combinaciones donde se presenta de manera clara los resultados de esfuerzos máximos a tracción, flexión y resistencia al impacto de las mejores familias para posteriormente realizar una ponderación donde se obtendrá la mejor combinación de este material.

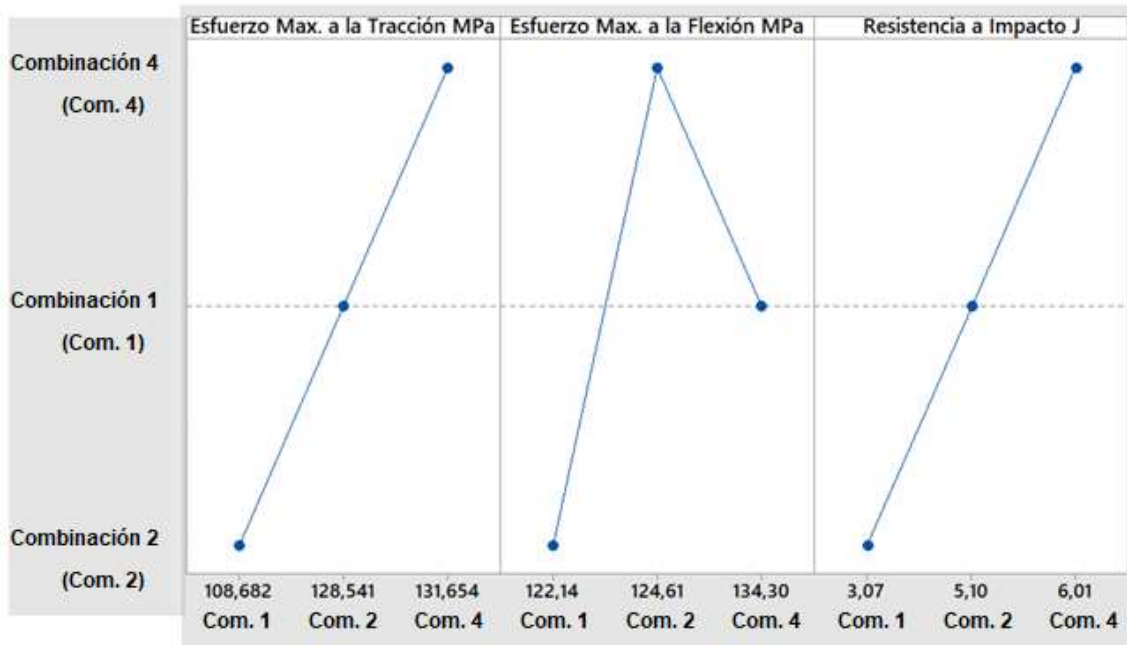


Figura 10.- Efectos principales para combinaciones. [Autor]

Para realizar la ponderación de las combinaciones y determinar el mejor resultado los valores a utilizar en cada uno de los ensayos será 10 al menor resultado 20 al resultado intermedio y 30 al mayor resultado según sea el caso, en la tabla 4.8 se observa la ponderación y la mejor combinación.

Tabla 8.- Ponderación de combinaciones. [Autor]

	Combinación 4	Combinación 1	Combinación 2
Esfuerzo máximo a tracción (MPa)	30	20	10
Esfuerzo máximo a flexión (MPa)	20	30	10
Resistencia a impacto (J)	30	20	10
Total	80	70	30

La ponderación realizada nos da como resultado que la combinación 4 (matriz epoxi reforzada con una capa de fibra de vidrio y dos capas de tejido de fibras vegetales de algodón y caña guadua) tiene los mejores resultados por lo tanto se la acepta como la mejor combinación del material híbrido, en la tabla 4.9 se observa las propiedades mecánicas de esta combinación, en la figura 4.10 se aprecia un diagrama de líneas con las propiedades mecánicas.

Tabla 9.- Propiedades mecánicas de material híbrido. [Autor]

PROPIEDADES MECÁNICAS	
Fuerza máxima de tracción (N)	7615,126
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	131,654
Módulo de elasticidad en tracción(MPa)	2694,962
Elongación (%)	4,898
Deflexión (mm)	7,4
Fuerza máxima de flexión (N)	68,16
Esfuerzo máximo de flexión(MPa)	124,61
Módulo de elasticidad de flexión (Mpa)	6601,54
Resistencia al impacto (J)	6,01

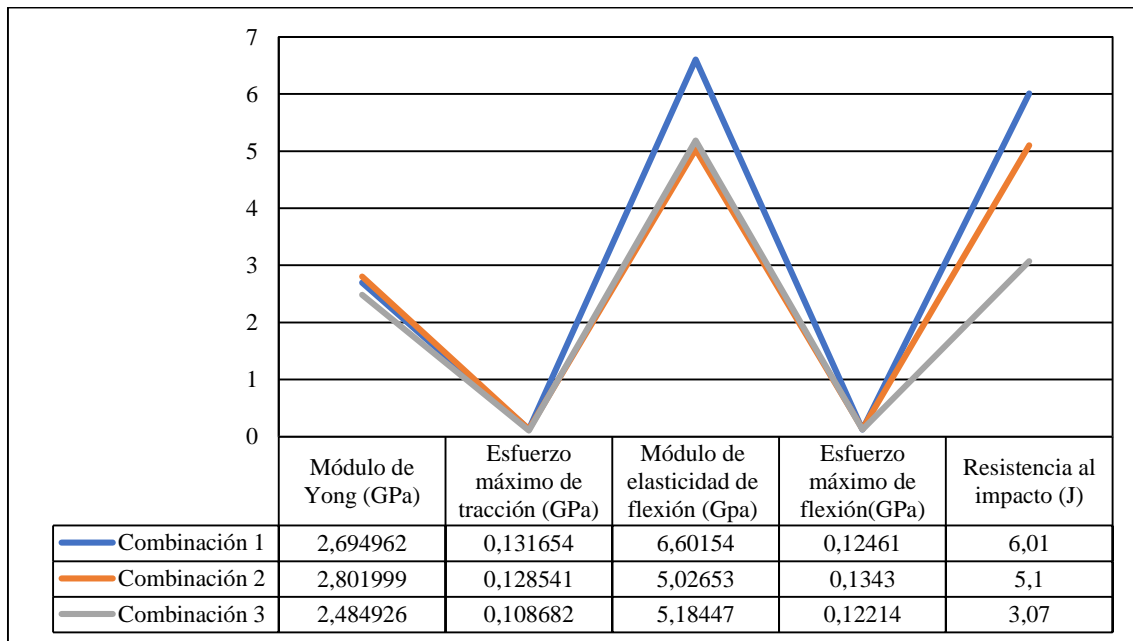


Figura 11.- Efectos principales para combinaciones. [Autor]

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El curado de las probetas es uno de los procesos más relevantes ya que al curar en horno el esfuerzo máximo a la tracción es mayor como se puede evidenciar en los resultados obtenidos en la combinación tres que dio un resultado de 54.656MPa curada en un horno mientras cuando se curó a temperatura ambiente dio un resultado de 50.38MPa, para corroborar esta afirmación tenemos la combinación seis la cual arrojo un valor de 54.814 curado a horno mientras cuando se curó a temperatura ambiente el resultado fue 53.316MPa.
- Las propiedades mecánicas del material híbrido de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón en ensayo de tracción se obtuvo un esfuerzo máximo promedio de 76.11MPa en los ensayos de flexión se obtuvo un esfuerzo máximo promedio de 127.02MPa y por último en los ensayos de impacto se obtuvo 4.72J, siendo estos valores aceptables considerando investigaciones anteriores de materiales híbridos con características similares.
- La mejor combinación fue la que está constituida de una capa de fibra de vidrio más dos capas de tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón con una orientación de 0° y curada al horno a una temperatura de 80°C por seis horas dando un resultado en su esfuerzo máximo a la tracción de 131.654MPa.
- La mejor combinación del material híbrido de matriz epoxi reforzado con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón es de una capa de fibra de vidrio y dos capas del tejido de fibras naturales la cual posee 131MPa de esfuerzo máximo de tracción, 2694.962MPa Módulo de elasticidad en tracción, 124.61MPa de esfuerzo máximo de flexión, 6601.54MPa módulo de elasticidad de flexión, 7.4mm de deformación, y una resistencia al impacto de 6.01J.
- La combinación con uno de los menores esfuerzos máximos a la tracción fue la constituida por una capa de fibra de vidrio y dos capas de caña guadua dispuestas a 45° y 135° curado al ambiente con 50.34MPa, por lo que se puede afirmar que la orientación ya sea a 45° o 135° no es favorable en cualquier combinación de capas.

- En los ensayos a flexión la combinación que obtuvo el mejor resultado de esfuerzo máximo a la flexión fue la combinación 1 con 134.3MPa constituida por dos capas de fibra de vidrio y una capa de tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón dispuestas fibra de vidrio tejido de fibras naturales a 0° y tejido de fibra de vidrio.
- En los ensayos de impacto la combinación con los mejores resultados fue el número uno con un promedio de 6.01 J y cuatro de sus probetas alcanzaron una falla tipo A (grieta o grietas en una sola superficie la placa aún podrá contener agua) y las restantes una falla tipo B (Grietas que penetran en todo el espesor (el agua probablemente penetra a través de la placa).

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la obtención de la materia prima es necesario buscar un método automatizado para que el tiempo que se ocupa en esta tarea se reduzca considerablemente y también así disminuir daños con elementos cortopunzantes utilizados para la extracción manual
- Actuar rápidamente una vez mezclado el catalizador y la resina epoxi ya que en unos cuantos minutos esta combinación reacciona y se solidificará, en caso de terminar antes que se solidifique desechar los residuos o mantener en un lugar controlado ya que al momento de reacción aumenta la temperatura y puede ocasionar daños en el lugar de trabajo
- Realizar siempre una o dos probetas más para cada uno de los ensayos ya que puede ocurrir algún daño sea en el corte de las probetas, en el curado de las probetas incluso al momento de adecuar las probetas para ensayarlas.
- Sobredimensionar los tejidos de fibras naturales de caña guadua y algodón ya que una vez fuera del telar se contraen y no tendrá las dimensiones deseadas para el siguiente proceso
- Centrar la máquina utilizada para los ensayos de impacto con una plomada ya que al no realizar esta calibración el tiro puede fallar y arrojar datos incorrectos o golpear en la base reduciendo el impacto real que aguantará la probeta.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Thwe, K. Liao. (2002, Nov.). “DURABILITY OF BAMBOO-GLASS FIBER REINFORCED POLYMER MATRIX HIBRID COMPOSITES.” *ScienceDirect*. [On -line]. 63(3-4), pp. 375-387. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0266353802002257> [Dic 22,2017].
- [2] A. Cuéllar, I. Muñoz. (2009, Mar.). “BAMBOO FIBER REINFORCEMENT FOR POLYMER MATRIX.” *Unal*. [On -line]. 77(162). Disponible: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/rt/printerFriendly/15843/36177> [Dic 22,2017].
- [3] M. Estrada. “Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua Angustifolia*) para su uso potencial como refuerzo de materiales compuestos,” Universidad de los Andes, Bogotá, 2010.
- [4] L. Valarezo. “Obtención experimental de un material biocompuesto a base de una matriz polimérica y reforzadas con fibras naturales de *guadua angustifolia* proveniente del Ecuador,” Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2013.
- [5] J. Paredes. “Estudio de polímeros híbridos de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [6] G. Benavides. “Caracterización de las propiedades mecánicas del material híbrido utilizando matriz epóxica reforzada con tejido de fibra vegetal de algodón y fibra natural de abacá,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [7] S. Pacha. “Caracterización mecánica y numérica del material híbrido de matriz epoxi reforzado con tejido plano de fibra vegetal (algodón) y fibra natural (cabuya),” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.
- [8] V. Guerrero, J Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor, C. Valdivieso. “Nuevos Materiales,” Aplicaciones estructurales e industriales, Quito. 2011.
- [9] ISR. (2007, Octubre) “Reciclaje de aviones”, [On-line]. Disponible: http://www.isrcer.org/detalle:content.aso?id_content=3819&id_warmer=15. [Dic 23, 2017].
- [10] M. Lucena, A. Suarez, I. Zamudio. (Feb 2009). “Desarrollo de un material compuesto a base de fibras de bambú para aplicaciones aeronáuticas.” *Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*. [On -line]. (3), pp. 1107-1114.

- Disponible: <https://www.rlmm.org/archivos/S01/N3/RLMMArt-09S01N3-p1107.pdf> [Dic 22,2017].
- [11] B. Cardozo, J. Briseño, R. Mendoza, M. Márquez, G. Peluffo. (2017). “Fabricación de paneles laminados en materiales compuestos reforzados con fibra natural de coco para su aplicación en embarcaciones navales.” *Cardozo et. [On -line]*, pp. 155-158. Disponible: <https://www.evistas.unicordoba.edu.co/conferencias/index.php/siga/2017/paper/viewFile/143/156> [Dic 22,2017].
- [12] W. Smith, J. Hashemi. *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales*. México: McGraw-Hill, 2014, pp. 5-25.
- [13] W. Callister. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, México: Editorial Reverté S.A, 2007.
- [14] D. Askeland. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, Missouri: Thomson Editores, 2011.
- [15] G. Mazón. “Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [16] A. Jácome, “Estudio de la configuración de fibras de material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [17] K. Chawla. *Composite Materials Science and Engineering*. Alabama: Springer, 2012, pp. 11-15.
- [18] D. Parra, M. Sánchez. “Desarrollo material polímero reforzado con fibras naturales,” Universidad EAN, Bogotá, 2012.
- [19] S. K. Bajpai, G Mary, N. Chand. *Biofiber Reinforcements in composite materials*. India: Woodhead Publishing, 2017, pp.320-341.
- [20] H. P. Abdul, M.S. Alwani, M.N. Islam, S.S. Sunhaily, R. Dungani, Y. M. H’ng. *Biofiber Reinforcements in composite materials*. India: Woodhead Publishing, 2017, pp.488-524.
- [21] C. Salazar, “Desarrollo de un material compuesto de fibras naturales de bambú para la utilización en viviendas de bajo costo,” Universidad de Las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2015.

- [22] M. Ashby, *Materials Selection in Mechanical Design*. Butterworth-Heinemann: Elsevier, 2010, pp. 299-340.
- [23] J. Cevallos. “Obtención y caracterización de materiales compuestos híbridos de matriz polipropileno reforzadas con fibras de vidrio y abacá mediante moldeo por compresión,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2012.
- [24] C. Izurieta, “Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzada con partículas residuales de cuero en usos industriales,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [25] C. Pérez, “Naval Composites: Los materiales compuestos y la industria naval” Universidad Náutica de Barcelona, Barcelona, 2016.
- [26] S. Sapuan. *Composite Materials*. Butterworth: Elsevier, 2017, pp.1-27
- [27] S. V. Hoa. *Principles of the Manufacturing of Composite Materials*. Quebec: Destech Publications, Inc. 2009, pp. 45-95.
- [28] MASISA. “MASISA MDF MELAMINA”. Internet: http://www.masisa.com/chi/wpcontent/files_mf/1445628034201507FichaMDFMelaminaBAJA.pdf, julio, 2015 [Jul.15, 2018]

ANEXOS

ANEXO A: FICHA TÉCNICA DE LA RESINA EPOXI

Technical Data

LAM-125 LAM-224

LAMINATING EPOXY

COMBINED FEATURES

Low viscosity for quick wet out of synthetic composite fabrics; especially effective with Kevlar® and carbon fiber.

Fast cure speed hardener provides 40 minute working time at 77°F (25°C). A typical laminate will be gelled in about 1.5 to 2 hours.

Optimized for hand wet out and machine impregnation in contact molding, vacuum bagging and Light RTM applications.

Room temperature cure properties suitable for many composite components and structures.

T_g as high as 193°F (90°C) with proper post cure providing excellent temperature stability and great part cosmetics.

Cost effective, high performance epoxy formulation for synthetic composite manufacturing.

Quality-control tinting is available at no extra charge; simply add "QC" after the product code on your order.

Shelf life is 3 years for resin and 2 years for

Property	Standard	Units	72°F (22°C)	77°F (25°C)	85°F (29°C)
100g Pot Life	ASTM D2471	minutes	17	13	11
500g Pot Life	ASTM D2471	minutes	17	12	11
Viscosity (Mixed)	ASTM D2196	cP	694	616	501
Viscosity (Resin)	ASTM D2196	cP	1731		
Viscosity (Hardener)	ASTM D2196	cP	75		

MIX RATIO

Method	Resin:Hardener	Resin:Hardener
Weight	3.5:1	100:28.6
Weight Range	3.96:1-3.24:1	100:25.2-100:30.8
Volume	3.00:1	100:33.3
Volume Range	3.47:1-2.84:1	100:28.6-100:35.3

DENSITY

State	Units	72°F (22°C)
Cured	lb/gal (g/cc)	9.69 (1.16)
Resin	lb/gal (g/cc)	9.58 (1.15)
Hardener	lb/gal (g/cc)	8.38 (1.00)

VISCOSITY VS TEMPERATURE

LAM-125~LAM-224

LAMINATING EPOXY

MECHANICAL PROPERTIES

Property	Standard	Units	72°F (22°C) x 4 wk	77°F (25°C) x 2 wk	RT Gelation + 120°F (49°C) x 8 hrs	RT Gelation + 140°F (60°C) x 8 hrs	RT Gelation + 180°F (82°C) x 8 hrs
Hardness	ASTM D2240	Type D	85	87	81	82	86
Compression Yield	ASTM D695	psi (MPa)	15,800 (109)	16,300 (112)	14,600 (101)	14,600 (101)	14,600 (101)
Tensile Strength	ASTM D638	psi (MPa)	10,900 (75)	11,400 (79)	11,000 (76)	11,000 (76)	11,100 (77)
Tensile Modulus	ASTM D638	psi (GPa)	5.35E+05 (3.69)	5.72E+05 (3.94)	5.47E+05 (3.77)	5.22E+05 (3.6)	4.96E+05 (3.41)
Tensile Elongation	ASTM D638	%	3.2	4.0	5.6	5.6	5.6
Flexural Strength	ASTM D790	psi (MPa)	17,500 (121)	18,300 (128)	18,000 (130)	18,900 (130)	19,700 (136)
Flexural Modulus	ASTM D790	psi (GPa)	5.26E+05 (3.63)	5.41E+05 (3.73)	5.12E+05 (3.53)	5.07E+05 (3.5)	4.75E+05 (3.28)

THERMAL PROPERTIES

Property	Standard	Units	72°F (22°C) x 4 wk	77°F (25°C) x 2 wk	RT Gelation + 120°F (49°C) x 8 hrs	RT Gelation + 140°F (60°C) x 8 hrs	RT Gelation + 180°F (82°C) x 8 hrs
T _g DMA Peak Tan Delta	ASTM E1640	°F (°C)	170 (77)	170 (76)	195 (91)	201 (94)	216 (102)
T _g DMA Onset Storage Modulus	ASTM E1640	°F (°C)	151 (66)	151 (66)	171 (77)	177 (81)	193 (90)
T _g DSC Onset- 1st Heat	ASTM E1356	°F (°C)	139 (60)	138 (59)	155 (68)	178 (81)	184 (84)
Heat Deflection Temperature	ASTM D648	°F (°C)	135 (57)	137 (58)	148 (64)	161 (72)	179 (82)
T _g DSC Ultimate	ASTM E1356	°F (°C)			192 (89)		

ANEXO B: NORMA DE ENSAYO A TRACCIÓN ASTM-3039.



Designation: D 3039/D 3039M – 00¹

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

¹ Note—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins³
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials⁴
- D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

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

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

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature³

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶

E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages³

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁷

E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages³

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

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

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

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

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

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

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

3.3.6 *F^{su}*—ultimate tensile strength in the test direction.

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

3.3.8 *h*—coupon thickness.

3.3.9 *L_g*—extensometer gage length.

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

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

3.3.12 *P*—load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 *w*—coupon width.

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

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

3.3.20 ϵ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength.

5.1.2 Ultimate tensile strain.

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity.

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

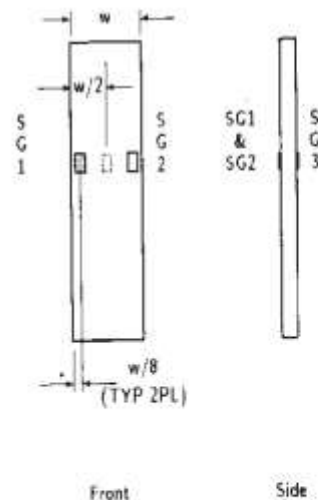


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

$$B_y = \frac{\epsilon_{2y} - \epsilon_1}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4.3(\epsilon_1 - \epsilon_2)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

where:

B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;

B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;

$\epsilon_1, \epsilon_2, \text{ and } \epsilon_3$ = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and

ϵ_{ave} = $(|\epsilon_1| + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$.

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

⁷ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3% or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

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

8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

^a See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations⁴

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, ⁵
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

⁴ Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

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

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

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

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

where:

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

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

⁹ E-Z Flex Metalite K224 cloth, Gei 120-1, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

- IMPERFECT DRAWING IS ACCORDANCE WITH ANGLE 45° AND SHALL BE TO THE FIBER DIRECTION.
1. ALL DIMENSIONS ON MULTIPLE WITH DIMENSIONS SHALL BE AS FOLLOWS:

$$\pm 0.25 \text{ mm} \left(\begin{array}{l} \pm 0.01 \text{ in.} \\ \pm 0.005 \text{ in.} \end{array} \right)$$
 2. ALL DIMENSIONS WITH TOLERANCE SHALL BE ± 0.25 .
 3. FIBER ORIENTATION DIRECTION FOR FRANCHES SHALL BE $\pm 5^\circ$ WITHIN ± 0.25 .
 4. FINISH ON MACHINE TOOLS NOT TO EXCEED $1.6 \mu\text{m}$ (BY METRIC) IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1 WITH TOLERANCE $\pm 0.25 \mu\text{m}$ (BY METRIC).
 5. WIDTH TO BE PROVIDED FOR: (a) TO PROVIDE TABS TO ALL SAMPLES SHOWN ON FIG. 2 (b) TO PROVIDE SUFFICIENT LAY-UP, FIBER ORIENTATION REFERENCE BE FIBER TO $\pm 5^\circ$ (c) TO PROVIDE SUFFICIENT GAGE LENGTH (d) TO PROVIDE SUFFICIENT MATERIAL TAB LENGTHS (e) TO PROVIDE SUFFICIENT TAB AREA.
 6. TO PROVIDE SUFFICIENT FIBER AREA.

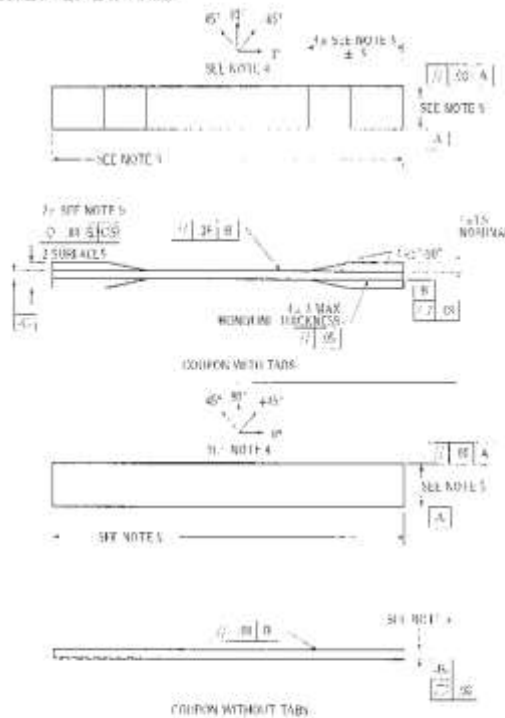


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

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

ASTM D 3039/D 3039M - 00¹

- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1987, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

X	.XX	.XXX
+1	-.01	-.01
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO \bar{A} WITHIN $\pm 5^\circ$.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $4\sqrt{R}$ (SYMBOLS IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ADD DIMENSIONS SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO \bar{A} , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

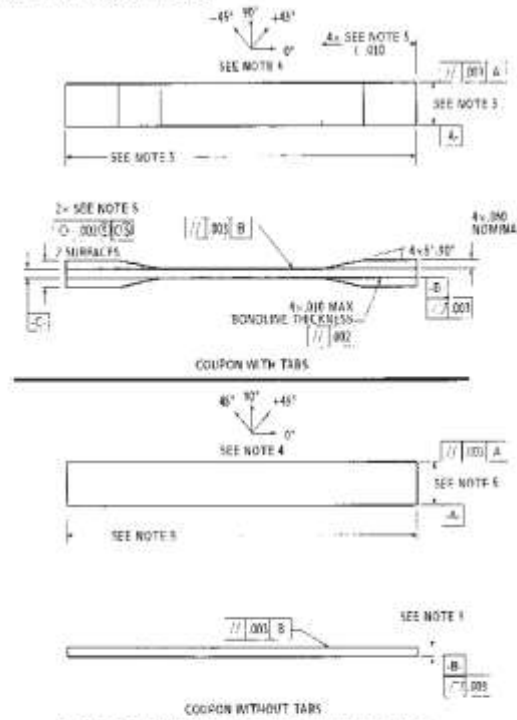


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point μm^a	End Point μm	μm
1000 ^b	3000	2000

^a 1000 μm = 0.001 absolute strain.
^b This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 μm , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

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

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

where:

ϵ_f = indicated strain from front transducer, μe ;
 ϵ_b = indicated strain from back transducer, μe ; and
 B_y = percent bending in specimen.

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

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

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

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

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

12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

ϵ_i = tensile strain at i th data point, μe ;
 δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
 L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

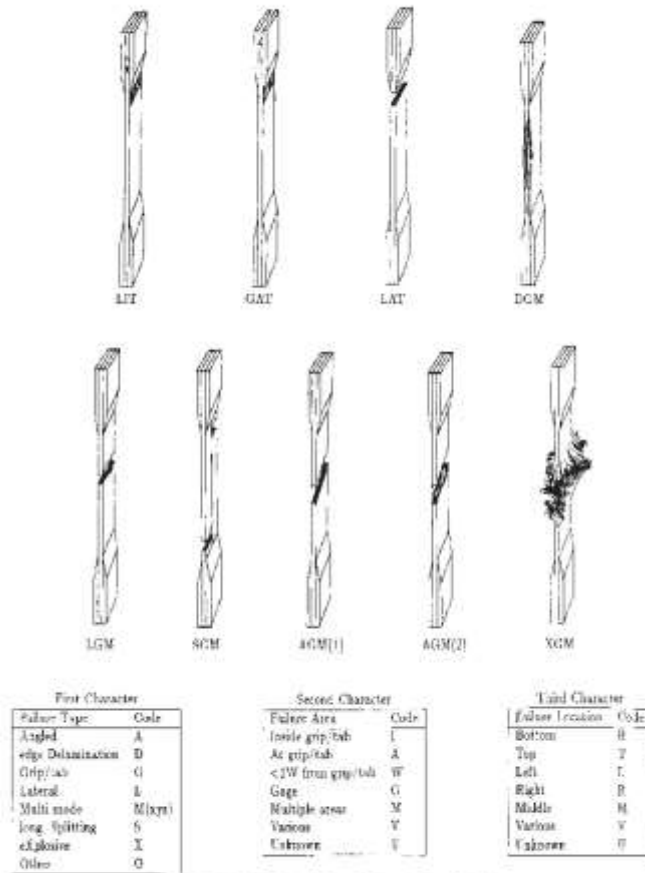


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

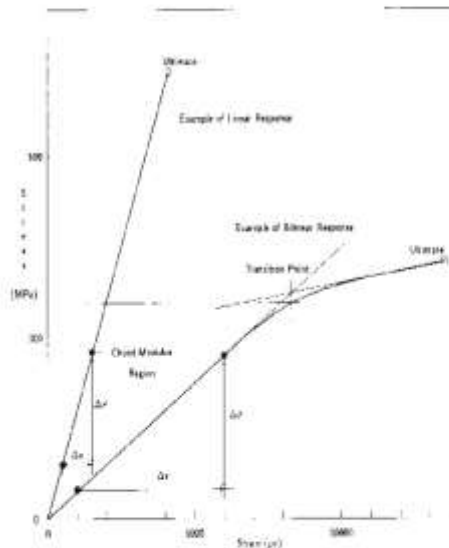


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_t/\Delta\epsilon_l \quad (10)$$

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_t$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta\epsilon_l$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1} / \bar{x} \quad (13)$$

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{n-1} = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- n = number of specimens; and
- x_i = measured or derived property.

13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

- A IM-6/3501-6 uni-tape (0/n)
- B IM-6/3501-6 uni-tape (90/n)
- C IM-6/3501-6 uni-tape (90/0/n)
- F Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)-warp aligned
- G Carbon/epoxy fabric (th108 carbon/Ciba R 6376)

TABLE 4 Precision Statistics

Material	<i>n</i>	<i>s</i> , <i>f</i>	<i>S_e</i>	<i>S_R</i>	<i>S_e/X</i> , %	<i>S_R/X</i> , %
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.63	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of *S_e/X* and *S_R/X* represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S_p/X , %	Average of S_d/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9555 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO C: NORMA PARA ENSAYOS A FLEXIÓN ASTM 7462

Downloaded by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded at 1:28:200817:27:41AM single-user license only. Copying and networking prohibited.



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

Note 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials

E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 *Other Documents*:

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.04 on Laminas and Laminas Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

- 3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:
- 3.2.1 flexural strength, n —the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.
- 3.2.2 flexural modulus, n —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.
- 3.3 Symbols:
- b = specimen width
 - CV = sample coefficient of variation, in percent
 - E_c^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
 - E_c^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
 - h = specimen thickness
 - L = support span
 - m = slope of the secant of the load-deflection curve
 - n = number of specimens
 - P = applied force
 - $s_{n,1}$ = sample standard deviation
 - x_i = measured or derived property
 - \bar{x} = sample mean
 - δ = mid-span deflection of the specimen
 - ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
 - σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

- 4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:
- 4.1.1 Procedure A—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).
- 4.1.2 Procedure B—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).
- 4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.
- 4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

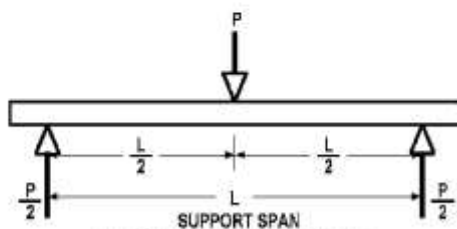


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

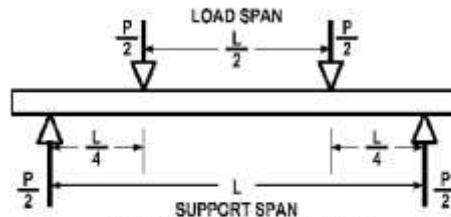


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

5. Significance and Use

- 5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).
- 5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.
- 5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.
- 5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.
- 5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

D 7264/D 7264M – 07

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

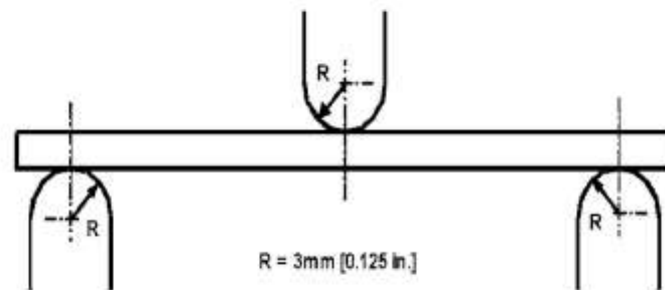
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

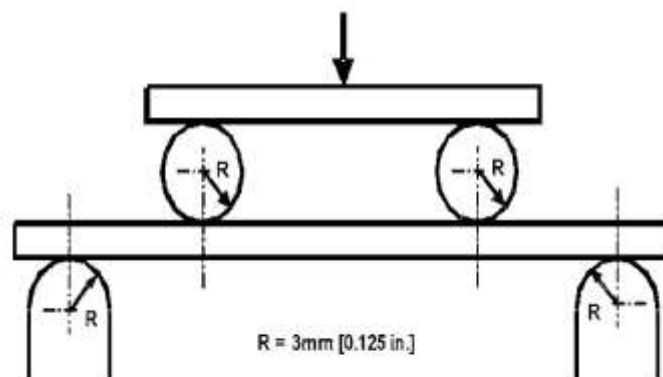
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

D 7264/D 7264M - 07

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 Micrometers—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 Deflection Measurement—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 Conditioning Chamber—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method D 5229/ D 5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

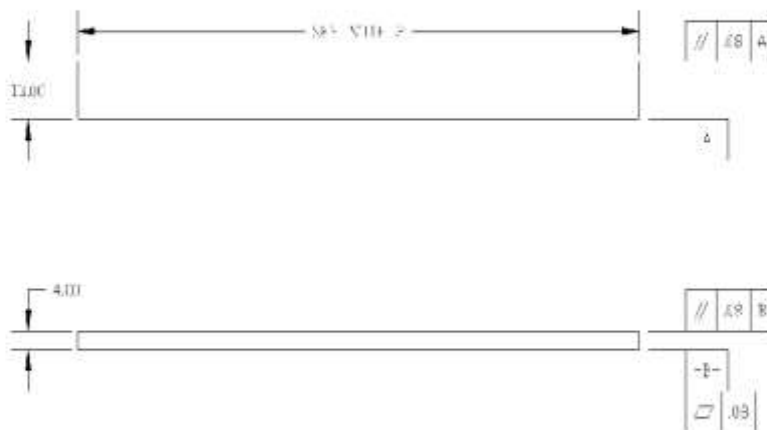
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 Specimen Preparation—Guide D 5687/D 5687M provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 Specimen Size is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide D 6856. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

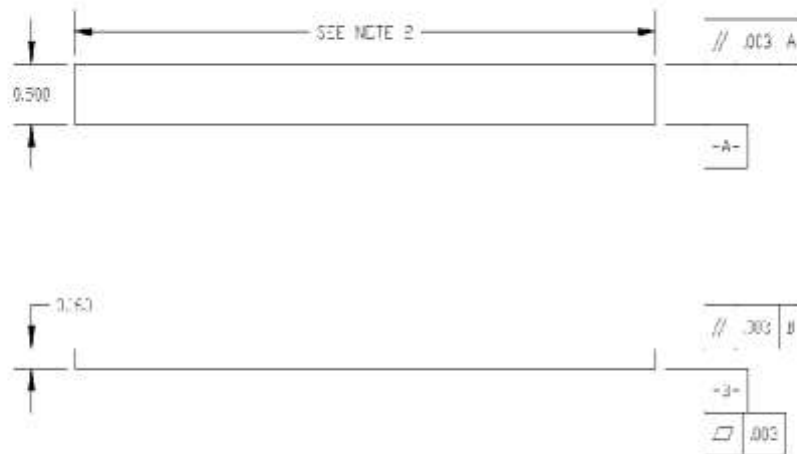


NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

D 7264/D 7264M - 07



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSYS 14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.
 NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

D 7264/D 7264M - 07

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 Failure Modes—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

11.7.1 Failure Identification Codes—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

13. Calculation

NOTE 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 Maximum Flexural Stress, Procedure A—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

where:

- σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 Maximum Flexural Stress, Procedure B—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (2)$$

where:

- σ = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mai, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

h = thickness of beam, mm [in.],

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.³ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites; see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.],
- h = thickness of beam, mm [in.] and
- m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B:*

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \\ s_{n-1} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2}{n-1}} \\ CV &= 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}} \end{aligned} \quad (8)$$

where:

- \bar{x} = average value or sample mean,
- x_i = value of single measured or derived property,
- n = number of specimens,
- s_{n-1} = estimated standard deviation,
- CV = coefficient of variation in percentage.

³For discussion of these effects, see Zweben C, Smith, W. S., and Wardle, M. W. "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates." *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

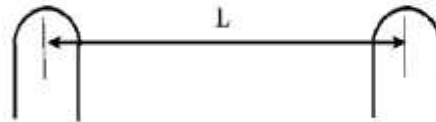


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

A1.2 *Measurement of Span:*

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

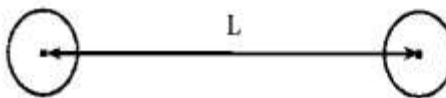


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

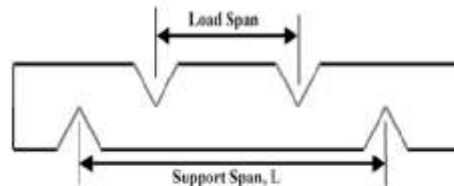


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

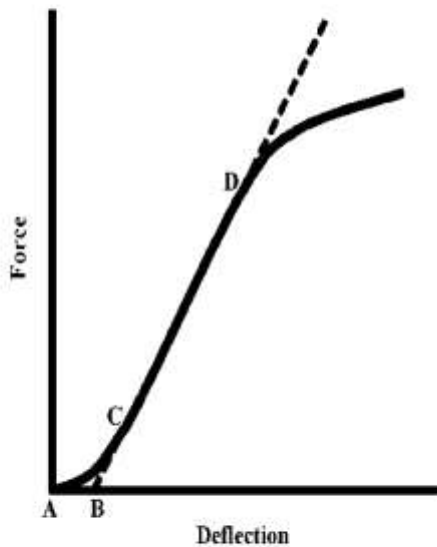


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

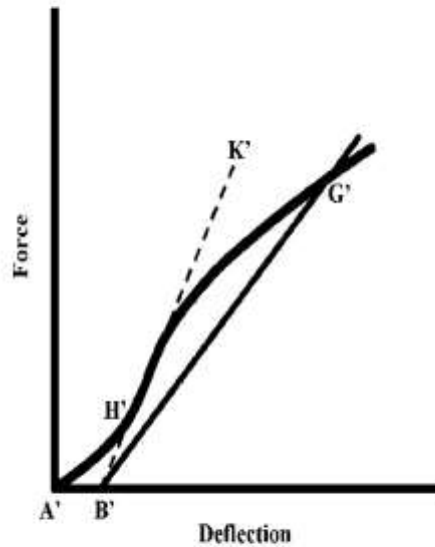


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

 D 7264/D 7264M – 07

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO D: NORMA PARA ENSAYOS A IMPACTO ASTM 5628



Designation: D 5628 – 96 (Reapproved 2001)^{e1}

Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D 5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{e1} Note—Editorial changes were made throughout in November 2001.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative ranking of materials according to the energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific hazard statements are given in Section 8.*

Note 1—This test method and ISO 6603-1:1985 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Brucceton Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation²

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing³

D 883 Terminology Relating to Plastics²

D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics²

D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free Falling Dart Method²

D 1898 Practice for Sampling of Plastics⁴

D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

Tup Falling Weight⁵

D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors⁶

D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA⁶

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁷

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁷

2.2 ISO Standards:

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing⁸

ISO 6603-1 Plastics-Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method⁹

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D 883 and D 1600.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass or the product of the constant mass and mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

Note 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

⁴ Discontinued; see 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.04.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁸ Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to confirm the onset of crack formation.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tip) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

3.2.5 *tip*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tip) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass may be dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass may be dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).² Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different tip and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore may be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach may produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC may be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter tip used in Geometry FB minimizes problems with tip penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D 1709. They have been used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D 3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and tip must be somewhat arbitrary. While any one of the tip geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit somewhat greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials may be expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as may occur during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

¹ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

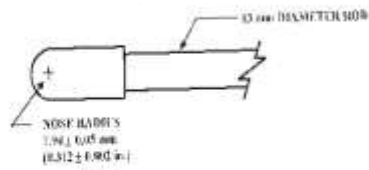


FIG. 1 (a)

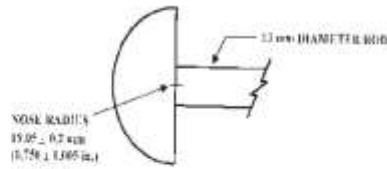
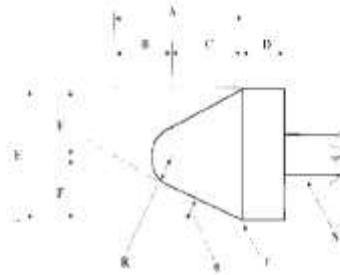


FIG. 1 (c)

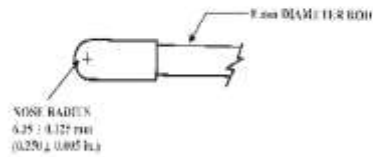


FIG. 1 (d)

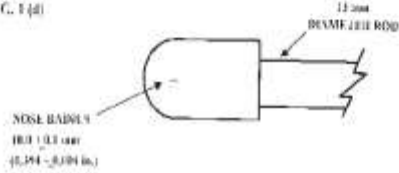


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale)—Fig. 1(b)

Note 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be $\pm 2\%$.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) ^a	6.4	0.25
s	25 ± 1 ^a	25 ± 1 ^a

^aLarger diameter shafts may be used.

FIG. 1 Tip Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

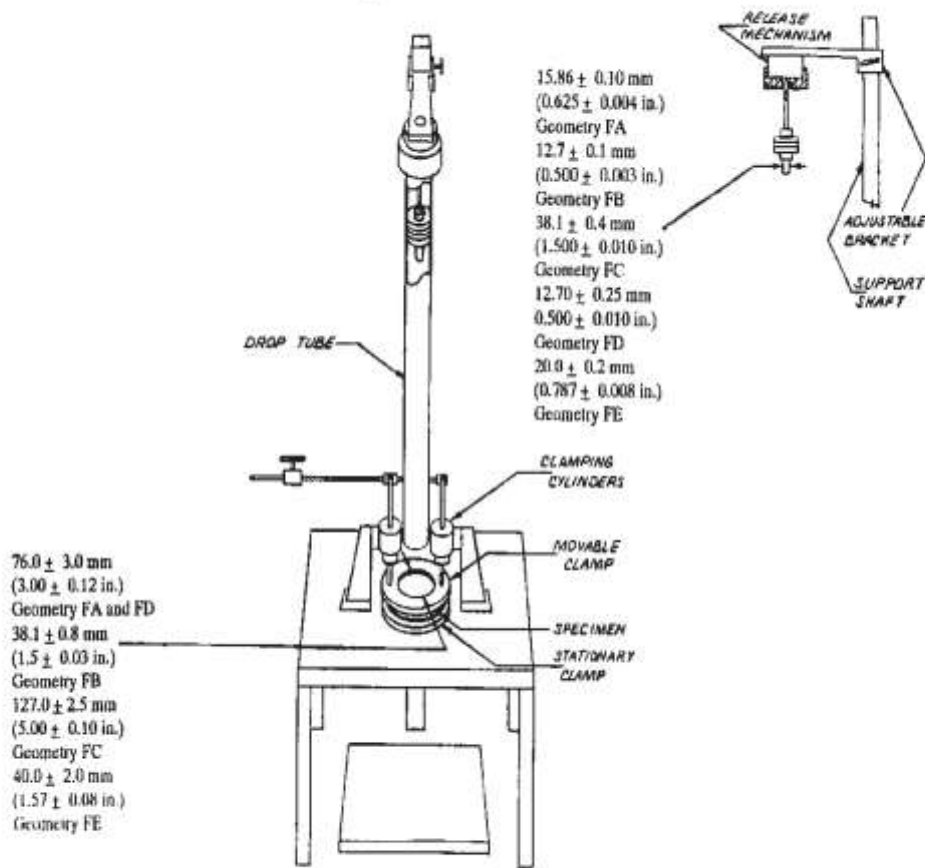


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.).

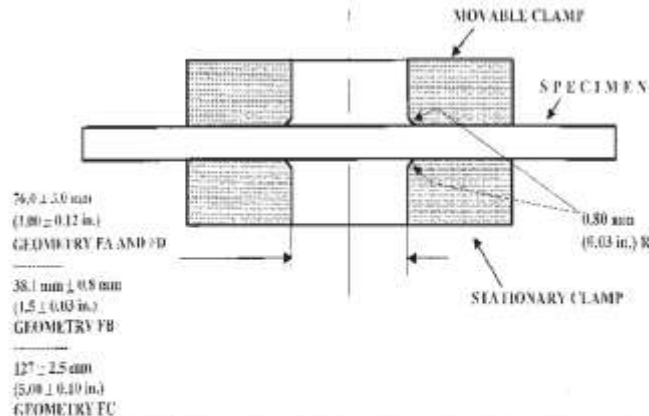


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops may be ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10 -mm (0.625 ± 0.004 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 ± 0.10 (0.625 ± 0.004)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FB	12.7 ± 0.1 (0.500 ± 0.003)	38.1 ± 0.8 (1.5 ± 0.03)
FC	38.1 ± 0.4 (1.5 ± 0.010)	127.0 ± 2.5 (5.00 ± 0.10)
FD	12.70 ± 0.25 (0.500 ± 0.010)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FE	20.0 ± 0.2 (0.787 ± 0.008)	40.0 ± 2.0 (1.57 ± 0.08)

steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25 -mm (0.500 ± 0.010 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2 -mm (0.787 ± 0.008 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

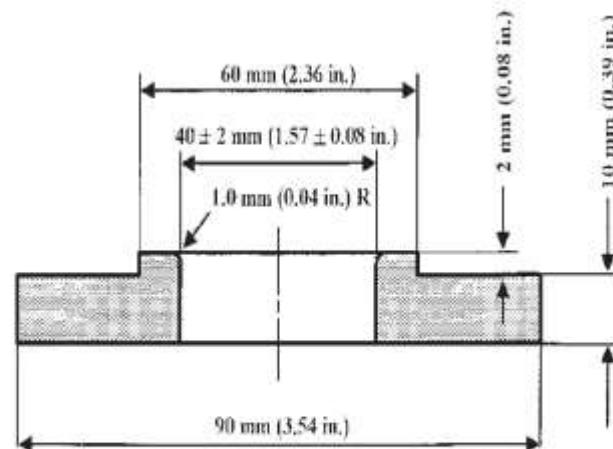


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

tested. For a material of low impact resistance, the tap mass may need to be adjusted by increments of 10 g or less. Materials of high impact resistance may require increments of 1 kg or more.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods D 374 for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tap head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ±1 %.

8. Hazards

8.1 *Safety Precautions:*

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tap. A tube or cage can contain the tap if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tap. Figure 2 of Test Method D 2444 shows an effective mechanical "rebound catcher" employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the producer, sample the material in accordance with Sections 9 through 14 of Practice D 1898.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the sample may be tested, but the data shall not be used for referee purposes. For compliance with ISO 6603-1 the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to

determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, condition the test specimens at 23 ± 2°C (73.4 ± 3.6°F) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be ±1°C (±1.8°F) and ±2 % relative humidity. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing "dry as-molded specimens". Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of 23 ± 2°C (73.4 ± 3.6°F) and at 50 ± 5 % relative humidity, unless otherwise specified.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D 618.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in 10.3.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact.

12.5 Choose a specimen at random from the sample. A random-numbers table may be used if desired.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D-618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10% of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X, to indicate a failure and a different symbol, such as O, to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be examined. The specimen may be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior may vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- w = mean-failure mass, kg,
- h = mean-failure height, mm,
- d_w = increment of tup weight, kg,
- d_h = increment of tup height, mm,
- N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- w_o = smallest mass at which an event occurred, kg
- h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=0}^k in_i$,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
- n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
- $w_i = w_o + id_w$, and
- $h_i = h_o + id_h$.

In calculating w or h , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: $MFE = hwf$

where:

- MFE = mean-failure energy, J,
 - h = mean-failure height or constant height as applicable, mm
 - w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and
 - f = factor for conversion to joules.
- Use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ if $h = \text{mm}$ and $w = \text{kg}$.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

s_m = estimated standard deviation, mass, kg
 s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=1}^n \hat{e}_i^2 \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is < 0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_z = Gs_z / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h = Gs_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

s_h = estimated standard deviation of the mean height, mm,
 s_m = estimated standard deviation of the mean mass, kg,
 and

G = factor that is a function of sd (see Appendix X2).

A sample computation of s_m may be found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of G at other levels of sd , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{ME} = s_k w f \quad (8)$$

or

$$S_{ME} = S_e h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

S_{ME} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart.

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range),

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque

is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D 5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin¹⁰ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E 691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

NOTE 9—**Caution:** The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.

15.2 *Concept of r and R* —If V_w and V_b have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

¹⁰ Supporting data are available from ASTM Headquarters, Request RR.D 20-1030.

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, \bar{J}	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_w	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^a	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^a	11.8	14.9	42.2

^a Data generated in three laboratories.
 V_w = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
 $r = 2.63 V_w$.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_L	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.2	18.2	51.8

V_L = within laboratory coefficient of variation of the mean.
 $r = 2.83 V_L$.

means from testing multiple individual specimens (Bruceon Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. SAMPLE CALCULATIONS

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	f	n_1	h_{1x}	$R_{0.9}$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00				O		X	X				X		X								4	1	1	4	4	4
7.00		X		O			O	X		O	O		X	X				O			4	5	0	4	0	0
6.00	O		O							O							O	O			0	5				
												Totals		9	11		9	0	8							
														(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)							

$w_o = 7.00; N = N_o = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00(6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.020 d \{ [N(B - A^2)/9^2] + 0.029 \}$
 $= 1.020 (1.00) \{ [9(8 - 6^2)/9^2] + 0.029 \}$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>n/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.085	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262-277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPH*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285-291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10-22 and 10-23.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2958, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO E: RESULTADOS DEL CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME DE RESULTADOS N°: 180444858520180705-EFC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2018_023

Empresa / Cliente: Pablo Daniel Mazón Ortiz.

RUC/C.I.: 1804448585

Ciudad: Ambato.

Dirección: Calle California, Barrio Los Laureles, Huachi Grande. Teléfono: 0987906558

Correo: pablo_dan25@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

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

Dirección: Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polimeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10mm/min. Precarga: 100 N Distancia entre apoyos: 70 mm.

Fecha de Inicio de Ensayo: 10/07/2018 Fecha de Finalización de Ensayo: 10/07/2018.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales compuestos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Tipo de secado	Orientación del tejido	Orden	Probetas a Ensayar
1	180444858520180705-EFC 01	Horno	Randómica 90°	Fibra de vidrio Tejido natural Tejido natural	5
2	180444858520180705-EFC 02	Horno	Randómica 90°	Fibra de vidrio Tejido natural Tejido natural	5
3	180444858520180705-EFC 03	Horno	Randómica 90°	Fibra de vidrio Tejido natural Tejido natural	5
Total					15

Observaciones: Ninguna.

Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Lugar y Fecha de emisión de Informe: Ambato, 11 de julio de 2018 N°. Factura: 001-002-000005196	



Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
1	180444858520180705-EFC 01-1	24,5	46,2	12,96	2,01	59,96	6,912	120,24	7068,04	1,70	OAT	
2	180444858520180705-EFC 01-2	24,5	46,2	13,26	2,08	72,58	8,337	132,84	6256,16	2,12	OAT	
3	180444858520180705-EFC 01-3	24,5	46,2	13,12	2,16	67,84	7,052	116,37	6238,97	1,87	OAT	
4	180444858520180705-EFC 01-4	24,5	46,2	13,21	2,13	75,73	7,943	132,68	6404,36	2,07	OAT	
5	180444858520180705-EFC 01-5	24,5	46,2	13,11	2,07	64,69	6,776	120,92	7040,19	1,72	OAT	
				Promedio \bar{X}		68,160	7,40	124,61	6601,54		1,90	
				Desviación estándar S_{n-1}		6,249	0,69	7,64	418,23		0,20	
				Coeficiente de variación CV		9,169	9,36	6,13	6,34		10,33	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
6	180444858520180705-EFC 02-1	24,4	43,8	13,65	1,86	59,96	12,290	133,32	4762,91	2,80	OAB	
7	180444858520180705-EFC 02-2	24,4	43,8	13,01	1,84	67,84	10,854	161,72	6613,01	2,45	OAT	
8	180444858520180705-EFC 02-3	24,4	43,8	12,96	2,01	72,58	12,234	145,55	4833,81	3,01	OAB	
9	180444858520180705-EFC 02-4	24,4	43,8	12,99	2,11	66,27	10,681	120,32	4359,96	2,76	OAB	
10	180444858520180705-EFC 02-5	24,4	43,8	12,96	2,15	63,11	9,208	110,61	4562,96	2,42	OAB	
				Promedio \bar{X}		65,952	11,05	134,30	5026,53		2,69	
				Desviación estándar S_{n-1}		4,785	1,28	20,22	905,92		0,25	
				Coeficiente de variación CV		7,255	11,54	15,06	18,02		9,31	



Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
11	180444858520180705-EFC 03-1	24,3	44,3	13,34	1,42	29,98	13,694	117,03	4914,90	2,38	OAB	
12	180444858520180705-EFC 03-2	24,3	44,3	13,37	1,31	26,82	14,913	122,74	5130,77	2,39	OAB	
13	180444858520180705-EFC 03-3	24,3	44,3	13,32	1,27	28,40	16,282	138,80	5481,88	2,53	OAB	
14	180444858520180705-EFC 03-4	24,3	44,3	13,42	1,47	28,40	10,762	102,83	5308,29	1,94	OAB	
15	180444858520180705-EFC 03-5	24,3	44,3	13,33	1,24	25,24	16,742	129,30	5086,52	2,54	OAT	
				Promedio \bar{X}		27,768	14,48	122,14	5184,47	2,36		
				Desviación estándar S_{n-1}		1,801	2,40	13,49	217,33	0,25		
				Coeficiente de variación CV		6,488	16,56	11,05	4,19	10,46		

Nomenclatura de tipo de falla evaluado:

El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

Primer carácter	Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Ubicación de falla
O	A	En el punto de carga	B	Fondo
	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
	U	No conocido	R	Derecha
			M	Medio
			U	Desconocido
			L	Izquierda
			T	Parte superior



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180444858520180621-ETC

DATOS GENERALES

DATOS INFORMATIVOS:

N° de proforma: RM_2018_019

Empresa / Cliente: Pablo Daniel Mazón Ortiz.

RUC/C.L.: 1804448585

Ciudad: Ambato.

Dirección: Huachi Grande, Calle California, Barrio los Laureles.

Teléfono: 0987906558

Correo: pablo_dan25@hotmail.com

DATOS DEL ENSAYO:

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

Dirección: Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polimeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10mm/min.

Precarga: 0 KN.

Fecha de Inicio de Ensayo: 25/06/2018 Fecha de Finalización de Ensayo: 25/06/2018

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *materiales compuestos con tejidos de caña guadua, algodón, resina epoxi y fibra de vidrio*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Tipo de secado	Orientación del tejido	Orden	Probetas a Ensayar
1	180444858520180621-ETC 01	Ambiente	Randómica 45° 135°	Fibra de vidrio Tejido natural Tejido natural	5
2	180444858520180621-ETC 02	Horno	Randómica 90°	Fibra de vidrio Tejido natural	5
3	180444858520180621-ETC 03	Horno	Randómica 45° 135°	Fibra de vidrio Tejido natural Tejido natural	5
4	180444858520180621-ETC 04	Horno	Randómica 90° Randómica	Fibra de vidrio Tejido natural Fibra de vidrio	5

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Esteban López Espinel MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 29 de junio de 2018

N° de Factura: 001-002-000005138



5	180444858520180621-ETC 05	Horno	Randómica 90° 90°	Fibra de vidrio Tejido natural Tejido natural	5
6	180444858520180621-ETC 06	Horno	45° 135°	Tejido natural Tejido natural	5
7	180444858520180621-ETC 07	Horno	45° 90° 135°	Tejido natural Tejido natural Tejido natural	5
8	180444858520180621-ETC 08	Ambiente	45° 90° 135°	Tejido natural Tejido natural Tejido natural	5
Total					40

Nota: La estratificación se realizó al vacío, las probetas al horno se sometieron a un proceso de curado en el rango de 60 a 90°C por 8 horas. El tejido natural está compuesto de fibras de caña guadua más fibras de algodón.

Observaciones: Ninguna.





Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carracero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
1	180444858520180621-ETC 01-1	26,8	42,3	24,54	1,98	1959,64	40,33	1205,34	3,15	AGT
2	180444858520180621-ETC 01-2	26,8	42,3	24,46	1,97	2688,58	55,80	1443,84	3,86	AGM
3	180444858520180621-ETC 01-3	26,8	42,3	24,39	1,98	2300,44	47,64	948,24	5,02	AGM
4	180444858520180621-ETC 01-4	26,8	42,3	24,37	1,9	2592,34	55,99	1279,75	4,37	AGT
5	180444858520180621-ETC 01-5	26,8	42,3	24,37	1,96	2491,36	52,16	1152,22	4,53	LGT
				Promedio \bar{X}		2406,472	50,38	1205,88	4,23	
				Desviación estándar S_{n-1}		288,201	6,57	181,20	0,64	
				Coeficiente de variación CV		11,976	13,03	15,03	15,21	

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
6	180444858520180621-ETC 02-1	25,6	43,5	24,48	1,65	3226,61	79,88	1825,63	4,38	LGM
7	180444858520180621-ETC 02-2	25,6	43,5	24,53	1,26	3551,64	114,91	2805,71	4,10	AGM
8	180444858520180621-ETC 02-3	25,6	43,5	24,63	1,06	3259,75	124,86	3118,94	4,00	LGM
9	180444858520180621-ETC 02-4	25,6	43,5	23,9	1,33	3507,46	110,34	2101,60	5,25	LAT
10	180444858520180621-ETC 02-5	25,6	43,5	24,62	1,19	3322,86	113,42	2572,74	4,41	LGT
				Promedio \bar{X}		3373,664	108,682	2484,926	4,427	
				Desviación estándar S_{n-1}		147,275	16,993	523,018	0,493	
				Coeficiente de variación CV		4,365	15,635	21,048	11,127	

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 3 de 6



Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
11	180444858520180621-ETC 03-1	26,3	42,6	24,49	2,37	2983,63	51,41	1135,58	4,53	LGM	
12	180444858520180621-ETC 03-2	26,3	42,6	24,82	2,58	3474,33	54,26	1149,01	4,72	AGM	
13	180444858520180621-ETC 03-3	26,3	42,6	24,7	2,31	3076,72	53,92	1060,49	5,08	AGM	
14	180444858520180621-ETC 03-4	26,3	42,6	24,71	2,52	3539,02	56,83	1121,61	5,07	AGM	
15	180444858520180621-ETC 03-5	26,3	42,6	24,85	2,48	3504,31	56,86	1100,28	5,17	LGM	
				Promedio \bar{X}		3315,602	54,656	1113,392	4,914		
				Desviación estándar S_{n-1}		263,624	2,284	34,638	0,276		
				Coeficiente de variación CV		7,951	4,180	3,111	5,610		

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
16	180444858520180621-ETC 04-1	25,9	44,3	24,27	1,42	5202,03	150,94	3410,38	4,426	LGT	
17	180444858520180621-ETC 04-2	25,9	44,3	24,37	1,57	5303,01	138,60	3009,67	4,605	LGT	
18	180444858520180621-ETC 04-3	25,9	44,3	24,36	1,56	4966,94	130,70	2708,77	4,825	AGT	
19	180444858520180621-ETC 04-4	25,9	44,3	22,32	2,29	5219,38	102,11	2133,44	4,786	LGT	
20	180444858520180621-ETC 04-5	25,9	44,3	24,16	1,71	4971,67	120,34	2747,73	4,380	AGT	
				Promedio \bar{X}		5132,606	128,541	2801,999	4,604		
				Desviación estándar S_{n-1}		153,893	18,529	466,870	0,203		
				Coeficiente de variación CV		2,998	14,415	16,662	4,401		



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
21	180444858520180621-ETC 05-1	20,7	54,5	24,68	2,30	7450,40	131,25	2951,34	4,447	LGM
22	180444858520180621-ETC 05-2	20,7	54,5	24,68	2,25	7078,04	127,46	2691,14	4,736	LGM
23	180444858520180621-ETC 05-3	20,7	54,5	24,66	2,36	7587,67	130,38	2514,81	5,184	LAT
24	180444858520180621-ETC 05-4	20,7	54,5	24,64	2,34	7893,77	136,91	2708,26	5,055	LAT
25	180444858520180621-ETC 05-5	20,7	54,5	24,49	2,49	8065,75	132,27	2609,26	5,069	LGT
				Promedio \bar{X}		7615,126	131,654	2694,962	4,898	
				Desviación estándar S_{n-1}		386,346	3,440	162,576	0,302	
				Coeficiente de variación CV		5,073	2,613	6,033	6,170	

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
26	180444858520180621-ETC 06-1	21,0	54,6	24,44	1,93	1237,00	26,22	225,12	11,65	LGM
27	180444858520180621-ETC 06-2	21,0	54,6	24,65	2,01	1412,14	28,50	218,86	13,02	LGM
28	180444858520180621-ETC 06-3	21,0	54,6	24,66	1,90	1241,73	26,50	238,05	11,13	AGM
29	180444858520180621-ETC 06-4	21,0	54,6	24,64	1,91	1296,96	27,56	433,77	6,35	AGM
30	180444858520180621-ETC 06-5	21,0	54,6	24,64	1,86	1173,89	25,61	466,32	5,49	LAT
				Promedio \bar{X}		1272,344	26,880	316,425	9,530	
				Desviación estándar S_{n-1}		89,483	1,147	122,713	3,378	
				Coeficiente de variación CV		7,033	4,268	38,781	35,447	

Código: RG-RM-004
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 21-06-2017
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 5 de 6



Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
31	180444858520180621-ETC 07-1	21,4	53,4	24,42	2,45	3264,48	54,56	1348,85	4,05	LGM
32	180444858520180621-ETC 07-2	21,4	53,4	24,31	2,58	3531,13	56,30	1357,28	4,15	LGM
33	180444858520180621-ETC 07-3	21,4	53,4	24,46	2,64	3673,13	56,88	1310,04	4,34	AGT
34	180444858520180621-ETC 07-4	21,4	53,4	24,36	2,47	3389,13	56,33	1360,15	4,14	AGT
35	180444858520180621-ETC 07-5	21,4	53,4	24,51	2,83	3468,02	50,00	1187,03	4,21	AGT
				Promedio \bar{X}		3465,178	54,814	1312,672	4,178	
				Desviación estándar S_{n-1}		153,023	2,830	73,049	0,109	
				Coeficiente de variación CV		4,416	5,163	5,565	2,621	

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
36	180444858520180621-ETC 08-1	21,8	51,7	25,90	2,39	3597,40	58,12	1355,68	4,29	LGT
37	180444858520180621-ETC 08-2	21,8	51,7	24,44	2,58	3253,44	51,60	1287,21	4,01	LGT
38	180444858520180621-ETC 08-3	21,8	51,7	24,49	2,90	3515,35	49,50	1145,45	4,32	LGM
39	180444858520180621-ETC 08-4	21,8	51,7	23,00	2,66	3677,87	60,12	1333,53	4,51	LGT
40	180444858520180621-ETC 08-5	21,8	51,7	24,49	2,33	2696,47	47,26	1132,90	4,17	AGT
				Promedio \bar{X}		3348,106	53,316	1250,955	4,239	
				Desviación estándar S_{n-1}		397,635	5,557	105,083	0,185	
				Coeficiente de variación CV		11,876	10,423	8,400	4,348	

Nomenclatura:

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Área de la falla	Tercer carácter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio