



**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 MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.

---

**AUTOR:** Luis Alfredo Toapanta Muyulema

**TUTOR:** Ing. María Belén Paredes, Mg

**Ambato –Ecuador**

**2018**

## **APROBACIÓN POR EL TUTOR**

### **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.”, elaborado por el Sr. Luis Alfredo Toapanta Muyulema, portador de la cédula de ciudadanía: 1804162558, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

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

.....  
Ing. María Belén Paredes, Mg

TUTOR

## **AUTORÍA DEL TRABAJO**

Declaro que el presente Trabajo Experimental bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.”, en su totalidad, incluyendo ideas, criterios, análisis y conclusiones son de mi completa autoría.

Ambato, Julio del 2018

.....  
Luis Alfredo Toapanta Muyulema

C. I.: 180416255-8

**AUTOR**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este trabajo experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

.....  
Luis Alfredo Toapanta Muyulema

C. I.: 180416255-8

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por el estudiante Luis Alfredo Toapanta Muyulema de la carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.”.

Ambato, Julio del 2018

Para constancia firman:

.....  
Ing. Christian Castro, Mg

.....  
Ing. Cristian Pérez, Mg

## **DEDICATORIA**

*A todas las personas que de alguna u otra manera confiaron en mí y en mis capacidades para poder lograr mis metas.*

*En especial a toda mi familia a mis padres Luis Toapanta y María Muyulema quienes me enseñaron muchos valores como el respeto y la honestidad, por la cual tienen mi total admiración y son un ejemplo a seguir.*

*A mis hermanas Tania, Karina, Johana, y a mi hermano que está en el cielo Javier, por apoyarme en todo, dándome ánimos para seguir y no rendirme.*

*A mis amigos que me acompañaron durante toda mi vida estudiantil compartiendo momentos inolvidables.*

*LUIS TOAPANTA.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A toda mi familia, amigos, a las autoridades y profesores de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por los consejos y enseñanzas que me han brindado, a mi profesor tutor Ing. María Belén Paredes por ayudarme con mi proyecto, a las autoridades del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero en especial al Ing. Esteban López e Ing. Fernando Galarza por ayudarme con las utilización de las instalaciones y sus conocimientos necesarios para desarrollar este proyecto.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

### PÁGINAS PRELIMINARES

APROBACIÓN POR EL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO .....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDICE DE TABLAS .....	XV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVIII
EXECUTIVE SUMMARY.....	XIX
CAPÍTULO I.....	2
1.1 TEMA:.....	2
1.2 ANTECEDENTES:.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN:.....	4
1.4 OBJETIVOS:.....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	5
CAPÍTULO II .....	6
FUNDAMENTACIÓN .....	6
2.1 CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES .....	6
2.2 MATERIALES COMPUESTOS .....	7
2.1.1 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS.....	8
2.3 MATRICES Y REFUERZOS .....	9
2.3.1 MATRIZ.....	9



2.3.2 REFUERZO .....	10
2.3.3 INTERFAZ .....	10
2.4 MATRICES POLIMÉRICAS .....	11
2.4.1 MATRICES TERMOPLÁSTICAS .....	11
2.4.2 MATRICES TERMOESTABLES .....	11
2.4.3 MATRICES ELASTÓMEROS .....	12
2.5 RESINA EPÓXICA .....	12
2.5.1 PROPIEDADES Y APLICACIÓN DE LA RESINA EPÓXICA.....	14
2.5.2 TIPOS DE RESINA EPÓXICA .....	15
2.5.3 PROCESO DE CURADO DE LA RESINA EPÓXICA.....	17
2.6 REFUERZO CON FIBRAS .....	18
2.6.1 LONGITUD Y DIÁMETRO DE FIBRAS .....	19
2.6.2 CANTIDAD Y ORIENTACIÓN DE FIBRA .....	20
2.7 REGLA DE LAS MEZCLAS DE UN MATERIAL COMPUESTO REFORZADA CON FIBRA.....	22
2.8 FIBRA DE POLIPROPILENO .....	23
2.8.1 ESTRUCTURA Y PROPIEDADES .....	24
2.9 CONFORMACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON FIBRAS.....	25
2.9.1 ESTRATIFICACIÓN MANUAL.....	25
2.9.2 ESTRATIFICACIÓN DE PREIMPREGNADOS .....	27
2.9.3 MOLDE POR ASPERSIÓN.....	28
2.10 ENSAYOS DE MATERIALES .....	29
2.10.1 ENSAYOS A TRACCIÓN.....	29
2.10.2 ENSAYOS A FLEXIÓN.....	30
2.10.3 ENSAYOS A IMPACTO .....	31
2.11 HIPÓTESIS .....	31

2.12 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....	31
2.12.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	31
2.12.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	31
CAPÍTULO III.....	32
3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.1.1 DESCRIPTIVO .....	32
3.1.2 CORRELACIONAL.....	32
3.1.3 EXPLICATIVA .....	32
3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	32
3.2.1 POBLACIÓN.....	32
3.2.2 MUESTRA .....	33
3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	34
3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.....	34
3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE.....	35
3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	36
3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....	36
3.5.1 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	37
3.6 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO.....	37
3.6.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA RESINA EPÓXICA .	39
3.6.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO.....	39
3.6.3 DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICA .....	40
3.6.4 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL COMPUESTO CON FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE MATRIZ (80%) Y REFUERZO (20%).....	41
3.6.5 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL COMPUESTO CON FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE MATRIZ (75%) Y REFUERZO (25%).....	42

3.6.6 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL COMPUESTO CON FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE MATRIZ (70%) Y REFUERZO (30%).....	44
3.6.7 CARACTERIZACIÓN DIMENSIONAL ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA FIBRA.....	46
3.6.8 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE .....	46
3.6.9 MOLDEO POR ESTRATIFICACIÓN MANUAL.....	47
3.6.10 CONTROL DE CALIDAD DE DEL MATERIAL COMPUESTO .....	52
3.6.11 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO.....	53
3.6.12 CORTAR LAS PROBETAS SEGÚN LAS DIMENSIONES YA ESTABLECIDAS.....	54
CAPÍTULO IV.....	57
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	57
4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS .....	57
4.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA .....	57
4.2.1 ENSAYO A TRACCIÓN.....	58
4.2.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN.....	78
4.2.3 ENSAYO A FLEXIÓN .....	79
4.2.4 ENSAYO DE IMPACTO .....	94
4.2.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO. ....	100
4.2.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS FINALES .....	103
4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	103
4.4 POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.....	116
CAPÍTULO V .....	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119

5.1 CONCLUSIONES .....	119
5.2 RECOMENDACIONES .....	120
BIBLIOGRAFÍA.....	121
ANEXOS.....	124

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2. 1.</b> Diagrama que muestra como la ciencia e ingeniería de los materiales forma un puente de conocimiento desde la ciencia básica hasta la ciencia de la ingeniería.....	6
<b>Figura 2. 2.</b> Sectores más comunes donde se utiliza materiales compuestos.....	7
<b>Figura 2. 3.</b> Red conceptual de un material compuesto .....	8
<b>Figura 2. 4.</b> Clasificación de los materiales compuestos .....	9
<b>Figura 2. 5.</b> Configuración de un material compuesto.....	9
<b>Figura 2. 6.</b> Tipos de refuerzos de materiales compuestos .....	10
<b>Figura 2. 7.</b> Estructura química de un grupo epoxi.....	13
<b>Figura 2. 8.</b> Estructura química de una resina epoxi con sus agentes de curado. ....	13
<b>Figura 2. 9.</b> Estructura química de la resina a fase bisfenol A.....	16
<b>Figura 2. 10.</b> Estructura química de la resina a base bisfenol F.....	16
<b>Figura 2. 11.</b> Estructura química de la resina bromada.....	16
<b>Figura 2. 12.</b> Estructura química de la resinas epoxi flexibles .....	17
<b>Figura 2. 13.</b> Parámetros a tomar en cuenta cuando se refuerza un material compuesto con fibras.....	18
<b>Figura 2. 14.</b> Al incrementar la longitud de la fibras recortadas de vidrio E en una matriz epoxi aumenta la resistencia del compuesto. En este ejemplo la fracción en volumen de las fibras de vidrio es aproximadamente de 0.5 .....	19
<b>Figura 2. 15.</b> Deformación de la matriz que rodea a la fibra sometida a tracción ....	20
<b>Figura 2. 16.</b> Representación esquemática de un material compuesto reforzado con fibra, (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas, (c) discontinuas y alineadas al azar .....	20
<b>Figura 2. 17.</b> Efecto de la orientación de la fibra en la resistencia a la tensión de compuestos epoxi reforzado con fibra de vidrio .....	21
<b>Figura 2. 18.</b> Relación esfuerzo deformación entre la fibra y la matriz.....	22
<b>Figura 2. 19.</b> Unidad estructural química repetitiva del polipropileno, punto de fusión 1665-167°C .....	23
<b>Figura 2. 20.</b> Tipos de fibras de polipropileno, monofilamento, multifilamento y fibrilada .....	23

<b>Figura 2. 21.</b> (a) Fibras fibriladas de polipropileno manufacturadas en pequeños paquetes, (b) paquetes abiertos en fibras individuales para reforzar un material compuesto .....	24
<b>Figura 2. 22.</b> Esquema de un proceso de estratificación manual .....	26
<b>Figura 2. 23.</b> Esquema del proceso de estratificación de Preimpregnados .....	27
<b>Figura 2. 24.</b> Preimpregnado de Polieteretercetona (PEEK) y fibra de carbono .....	27
<b>Figura 2. 25.</b> Proceso del moldeo por aspersión .....	29
<b>Figura 2. 26.</b> Esquema de la máquina universal .....	30
<b>Figura 2. 27.</b> Esquema del ensayo a flexión a tres puntos .....	30
<b>Figura 3. 1.</b> Plan de recolección de la información.....	36
<b>Figura 3. 2.</b> Plan estratégico para la obtención de las probetas del material compuesto. ....	38
<b>Figura 3. 3.</b> Molde de madera y balanza digital.....	39
<b>Figura 3. 4.</b> Cálculo del volumen de la fibra de polipropileno. ....	40
<b>Figura 3. 5.</b> Distribución de las probetas en el molde.....	46
<b>Figura 3. 6.</b> Distribución de las probetas en el molde.....	47
<b>Figura 3. 7.</b> Fibra de polipropileno pesada.....	47
<b>Figura 3. 8.</b> Molde limpio. ....	48
<b>Figura 3. 9.</b> Aplicación de una capa de cera desmoldante. ....	48
<b>Figura 3. 10.</b> Alcohol poli vinílico.....	48
<b>Figura 3. 11.</b> Colocación de una capa de alcohol poli vinílico en el molde y en la tapa. ....	49
<b>Figura 3. 12.</b> Resina epoxi y endurecedor.....	49
<b>Figura 3. 13.</b> Vaso de precipitación y jeringuilla.....	49
<b>Figura 3. 14.</b> Mescla de la resina epoxi con el endurecedor. ....	50
<b>Figura 3. 15.</b> Dispersión de la resina con el rodillo para sacar las burbujas de aire. ....	50
<b>Figura 3. 16.</b> Colocación de la fibra en el molde. ....	51
<b>Figura 3. 17.</b> Molde cerrado.....	51
<b>Figura 3. 18.</b> Material compuesto curado listo para sacarlo. ....	52
<b>Figura 3. 19.</b> Proceso de cortado de las probetas en una máquina láser. ....	54
<b>Figura 3. 20.</b> Probetas para ensayos a tracción. ....	55
<b>Figura 3. 21.</b> Probetas para ensayos a flexión.....	55

<b>Figura 3. 22.</b> Probetas para ensayos a impacto. ....	56
<b>Figura 4. 1.</b> Plan estratégico para la caracterización mecánica del material compuesto. ....	57
<b>Figura 4. 2.</b> Distribución t-Student según el nivel de significancia y los grados de libertad.....	106
<b>Figura 4. 3.</b> Distribución t-Student según el nivel de significancia y los grados de libertad.....	110
<b>Figura 4. 4.</b> Distribución t-Student según el nivel de significancia y los grados de libertad.....	114

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1.</b> Características de matrices termoestables .....	12
<b>Tabla 2. 2.</b> Clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura que soportan .....	12
<b>Tabla 2. 3.</b> Características mecánicas de la Resina Epoxi frente a otras resinas o matrices termoestables .....	14
<b>Tabla 2. 4.</b> Unidades funcionales y aplicaciones de la resina epoxi frente a otras resinas.....	15
<b>Tabla 2. 5.</b> Eficiencia del reforzamiento con fibra orientada en varias direcciones y esfuerzos aplicados en varias direcciones .....	21
<b>Tabla 3. 1.</b> Variable independiente (Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de polipropileno).....	34
<b>Tabla 3. 2.</b> Variable dependiente (Propiedades mecánicas).....	35
<b>Tabla 3. 3.</b> Dimensiones de la probeta de resina epoxi. ....	39
<b>Tabla 3. 4.</b> Densidad de la fibra de polipropileno. ....	40
<b>Tabla 3. 5.</b> Masa de refuerzo nominal y real.....	45
<b>Tabla 3. 6.</b> Dimensión, orientación y distribución de la fibra de polipropileno.....	46
<b>Tabla 3. 7.</b> Porcentaje de catalizador utilizado en la mezcla del material compuesto. ....	50
<b>Tabla 3. 8.</b> Control de calidad de las probetas del material compuesto. ....	52

<b>Tabla 3. 9.</b> Dimensionamiento de probetas para el ensayo a Tracción según la norma ASTM D3039.....	53
<b>Tabla 3. 10.</b> Dimensionamiento de probetas para el ensayo a flexión según la norma ASTM D7264.....	53
<b>Tabla 3. 11.</b> Dimensionamiento de probetas para el ensayo a impacto según la norma ASTM D5628.....	54
<b>Tabla 4. 1.</b> Tipos de fallas que se presentan en las probetas de ensayo de tracción.	59
<b>Tabla 4. 2.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C1).....	61
<b>Tabla 4. 3.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C2).....	64
<b>Tabla 4. 4.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C3).....	67
<b>Tabla 4. 5.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C4).....	70
<b>Tabla 4. 6.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C5).....	73
<b>Tabla 4. 7.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C6).....	76
<b>Tabla 4. 8.</b> Interpretación de resultados del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción.....	79
<b>Tabla 4. 9.</b> Códigos para identificar los tipos de fallas para ensayo de flexión. ....	81
<b>Tabla 4. 10.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C1). ....	83
<b>Tabla 4. 11.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C2). ....	86
<b>Tabla 4. 12.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C3). ....	89
<b>Tabla 4. 13.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C6). ....	92
<b>Tabla 4. 14.</b> Tipos de fallas en los ensayos de impacto. ....	95



<b>Tabla 4. 15.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (C1).....	96
<b>Tabla 4. 16.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (C2).....	97
<b>Tabla 4. 17.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (C3).....	98
<b>Tabla 4. 18.</b> Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (C6).....	99
<b>Tabla 4. 19.</b> Recolección de información del material compuesto que mejor comportamiento presenta a ensayos de tracción, flexión e impacto. ....	100
<b>Tabla 4. 20.</b> Interpretación de resultados del comportamiento del material compuesto a diferentes ensayos mecánicos. ....	102
<b>Tabla 4. 21.</b> Recolección de información del comportamiento del material a ensayos de tracción, flexión e impacto. ....	103
<b>Tabla 4. 22.</b> Resultados de ensayos de tracción del material compuesto en fibra larga y fibra corta.....	107
<b>Tabla 4. 23.</b> Resultados de ensayos de flexión del material compuesto en fibra larga y fibra corta. ....	111
<b>Tabla 4. 24.</b> Resultados de ensayos de impacto del material compuesto en fibra larga y fibra corta. ....	115
<b>Tabla 4. 25.</b> Comparación de las propiedades mecánicas del material compuesto de resina epóxica y fibra de polipropileno con otros materiales compuestos. ....	117

## RESUMEN EJECUTIVO

CARACTERIZACIÓN MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.

**Autor:** Toapanta Muyulema Luis Alfredo

**Tutor:** Ing. Mg. María Belén Paredes

### RESUMEN

El proyecto de investigación se basó en la caracterización mecánica del material compuesto de resina epóxica y fibra de polipropileno, con diferentes configuraciones como la longitud del refuerzo que en este caso se utilizó fibra corta de 10mm y fibras larga de 54mm con distribuciones al azar y longitudinal, además se utilizaron diferentes fracciones volumétricas (80-20%, 75-25%, 70-30%) que corresponden al porcentaje de la matriz y refuerzo respectivamente, con la finalidad de establecer el material compuesto que mejor comportamiento presente en los ensayos de tracción, flexión e impacto, para su posterior aplicación en la industria. Los ensayos de tracción, flexión e impacto se los realizó bajo la norma ASTM D3039, ASTM D7464, ASTM D5628, respectivamente. Con los datos de los ensayos de tracción se hizo una primera evaluación para determinar los materiales que pasan a los siguientes ensayos de flexión e impacto, los mismos que fueron los materiales del caso 1.- 80% Matriz – 20% Refuerzo, fibra corta de polipropileno (10mm), orientación al azar, caso 2.- 80% Matriz – 20% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm), orientación longitudinal, caso 3.- 75% Matriz – 25% Refuerzo, fibra corta de polipropileno (10mm), orientación al azar y el caso 6.- 70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm), orientación longitudinal. Una vez obtenidos los datos de los ensayos de flexión e impacto se realizó una segunda evaluación para determinar el material que mejor comportamiento presente, que en este caso fue el material del caso 6, con lo cual se determinó que este material es el que mejor comportamiento mecánico presenta.

## EXECUTIVE SUMMARY

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF A MATERIAL COMPOSED OF EPOXY MATRIX REINFORCED WITH POLYPROPYLENE FIBERS AND ITS POSSIBLE INDUSTRIAL APPLICATION.

**Autor:** Toapanta Muyulema Luis Alfredo

**Tutor:** Ing. Mg. María Belén Paredes

### ABSTRACT

The research project was based on the mechanical characterization of the material composed of epoxy resin and polypropylene fiber, with different configurations such as the length of the reinforcement that in this case was used short fiber of 10mm and long fibers of 54mm with random and longitudinal distributions. In addition, different volumetric fractions (80-20%, 75-25%, 70-30%) were used, corresponding to the percentage of the matrix and reinforcement, respectively, in order to establish the composite material with the best performance in the traction, bending and impact, for its later application in the industry. Tensile, bending and impact tests were performed under ASTM D3039, ASTM D7464, ASTM D5628, respectively. With the data of the tensile tests a first evaluation was made to determine the materials that pass to the following tests of flexion and impact, the same as the materials of the case 1.- 80% Matrix - 20% Reinforcement, short fiber of polypropylene (10mm), random orientation, case 2.- 80% Matrix - 20% Reinforcement, polypropylene long fiber (54mm), longitudinal orientation, case 3.- 75% Matrix - 25% Reinforcement, polypropylene short fiber (10mm), random orientation and case 6.- 70% Matrix - 30% Reinforcement, long polypropylene fiber (54mm), longitudinal orientation. Once the data of the flexion and impact tests were obtained, I made a second evaluation to determine the material with the best behavior present, which in this case was the material of case 6, which determined that this material is the best behavior Mechanical presents.

# **CAPÍTULO I**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 TEMA:**

CARACTERIZACIÓN MECÁNICO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y SU POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL.

### **1.2 ANTECEDENTES:**

Para la realización de nuestro trabajo experimental se tomara como referencia algunos trabajos que se han realizado en el país y en el exterior, a continuación detallaremos algunas conclusiones a las que han llegado otros autores:

Autor: Alex David Jácome León

Tema: ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS.

Este trabajo fue realizado en la Universidad Técnica de Ambato” UTA” en el año 2015, y como conclusión tenemos:

El material compuesto de matriz epoxi y fibra de piña que mejores propiedades mecánicas presenta es el que está compuesto por fibra larga, con una fracción volumétrica de 30% de fibra de piña y 70% de matriz epoxi, la cual presenta propiedades mecánicas aceptables, con una carga máxima a tracción de 9652.5 N, Esfuerzo máximo a tracción de 102.8MPa, Módulo de elasticidad de 13272.3 MPa, Carga máxima a flexión de 314 N, Esfuerzo máximo a flexión de 108.6 MPa y un Módulo de flexión de 7382.

Autor: Víctor Patricio Pachacama Nasimba

Tema: DISEÑO, CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO CON BASE DE RESINA EPOXI Y REFUERZO DE FIBRAS

## ORGÁNICAS PARA LA APLICACIÓN EN UN PROTOTIPO DE CAPOT DE LA CAMIONETA MAZDA BT50 2010.

Este trabajo fue realizado en la Universidad de las Fuerzas Armadas” ESPE” en el año 2015, y como conclusión más importante tenemos:

El material compuesto de resina epoxi y reforzada con fibra de cabuya presento propiedades mecánicas muy aceptables, Resistencia a la tracción 85.92 MPa este valor es superior con un 44% a la Resistencia a la tracción de un material compuesto de resina poliéster y fibra de cabuya.

Con respecto al módulo de elasticidad el ensayo presento un 8.66% de incremento con respecto al material compuesto de resina poliéster y fibra de cabuya. En cuanto a los ensayos de flexión en material tiene un decremento del 26% con respecto al material compuesto de resina poliéster y fibra de cabuya.

Autor: German Morales Antigüedad

Tema: PROCESADO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADOS CON NANOFIBRAS DE CARBONO PARA APLICACIONES TECNOLÓGICAS.

Este trabajo fue realizado en la Universidad Complutense de Madrid” UCM” en el año 2008, y es importante ya que las fibras de carbono y las fibras de polipropileno presentan propiedades similares, como conclusión final tenemos:

Se ha desarrollado materiales compuestos de nanofibras de carbono con buena conductividad de matriz termoestable que son viables económicamente usando técnicas de fabricación habituales en composites, dicho material presenta buenas propiedades mecánicas y buenas propiedades de conductividad eléctrica además de ser muy económicas y se podrían implantar en la industria a gran escala en un tiempo corto.

Autor: Carlos Javier Mendoza, Carlos Aire y Paula Dávila

Tema: INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADOS PLÁSTICOS Y ENDURECIDOS.

Este trabajo fue realizado en la Universidad Nacional Autónoma de México” UNAM” en el año 2011, y los autores son miembros del Instituto de Ingeniería-Estructuras y Materiales de la ciudad de México. Esta información nos sirve de mucho ya que se trata de la misma fibra (Polipropileno) que utilizaremos en nuestro trabajo. Como conclusión importante tenemos:

El empleo de la fibra de polipropileno en el concreto con un consumo de  $5\text{kg/m}^3$  modifica sus propiedades mecánicas pero los resultados no son significativos en la resistencia a la compresión, resistencia a la tensión por flexión, en el módulo de poisson y módulo de elasticidad, pero la resistencia del concreto al impacto se incrementa considerablemente, además la tenacidad del concreto se modificada considerablemente con el consumo de fibra de polipropileno con un grueso de 9.5mm, además con un consumo de  $3\text{kg/m}^3$  de fibra de polipropileno reduce significativamente el agrietamiento por causa de la contracción plástica.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN:**

El estudio de nuevos materiales que pueda sustituir en cierto porcentaje a materiales tradicionales es muy importante, ya que con la combinación de propiedades se puede lograr materiales de baja densidad que sean resistentes y rígidos.

Este trabajo experimental tiene como finalidad encontrar un material compuesto que presente ventajas mecánicas frente a materiales tradicionales, lo que contribuirá a la ciencia con el desarrollo de nuevos materiales compuestos.

Con la utilización de materiales desechables como las fibras de polipropileno que son utilizadas para la fabricación de botellas, se caracterizó un material compuesto de matriz epóxica reforzada con fibras de polipropileno. Las fibras de polipropileno se los puede extraer de las botellas que son desechadas comúnmente y además es un material barato, debido a que son fabricados de materiales petroquímicos de bajo costo, además presenta buenas propiedades físicas como por ejemplo baja densidad entre ( $0.900$  a  $0.910 \text{ g/cm}^3$ ), buena dureza superficial, buena resistencia química y es muy resistente a la penetración de microorganismos.

La resina epóxica tiene buenas propiedades mecánicas y si introducimos fibras de polipropileno se mejorar las propiedades mecánicas ya que las fibras de

polipropileno ayudara a elevar la resistencia y rigidez a una baja densidad, el material compuesto que se consiga será una buena alternativa para ser utilizada en la industria.

Con el desarrollo de este estudio se conseguirá un material compuesto con una buena resistencia mecánica, que además contribuirá a reducir la contaminación ambiental ya que se promueve a la reutilización de desechos comunes como son las botellas y vasos desechables, encontrándoles un nuevo uso y reutilizándolos como refuerzo de nuestro material compuesto, con lo que además causaremos un impacto social al reducir la contaminación ambiental por desechos, ya que se tendrá una alternativa más en cuanto a la búsqueda de nuevos materiales que puedan sustituir a materiales tradicionales, este estudio se puede realizar ya que se cuenta con los conocimientos necesarios para su ejecución además de laboratorios y profesionales que conocen del tema que puedan darnos asesoramiento.

#### **1.4 OBJETIVOS:**

##### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz epóxica y fibra de Polipropileno.

##### **1.4.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Analizar las fracciones volumétricas del material compuesto así como orientación y distribución de la fibra de polipropileno.
- Determinar el proceso de obtención de probetas que se utilizarán para los diferentes ensayos mecánicos
- Establecer las propiedades mecánicas mediante ensayos de tracción, flexión e impacto según normas ASTM.
- Evaluar los resultados obtenidos y seleccionar el material compuesto que mejor propiedades mecánicas presente para su posible aplicación en la industria.

## CAPÍTULO II

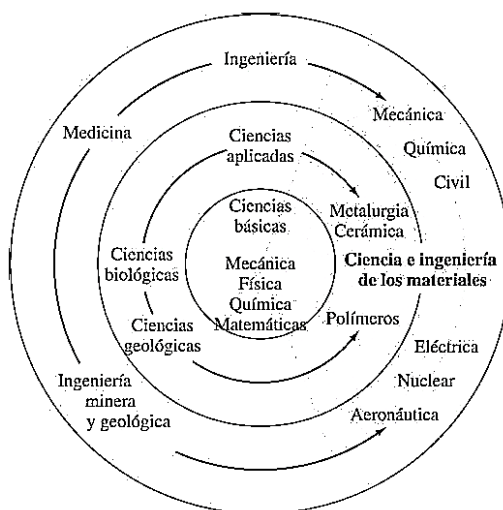
### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1 CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

En general y por definición los materiales son sustancias por las cuales están construidas o compuestas muchas cosas. Desde el inicio de la civilización los materiales han sido utilizados por el ser humano para mejorar la calidad de vida, los materiales más comunes que encontramos en la sociedad son: la madera, plástico, hormigón, aluminio, acero, vidrio y caucho, pero existen muchos materiales más.

Si queremos diseñar cualquier producto se debe empezar por el material del que va estar fabricado, por lo que es de mucha importancia que los ingenieros conozcan las propiedades físicas y mecánicas de los materiales para poder tener un buen diseño y darle la aplicación adecuada ya que esto constituye una parte importante de nuestra económica actual, las constantes investigaciones dan origen a encontrar nuevos materiales que presenten mejores propiedades que los materiales existentes.

Continuamente se avanza en la investigación de nuevos materiales por ejemplos los ingenieros aeronáuticos están interesados en encontrar un material que soporte altas temperaturas hasta 1800°C para alcanzar velocidades muy altas, de igual modo existen investigaciones de materiales de aleación de titanio y fibras de carburo de silicio para estructuras que soportan grandes cargas y materiales compuesto de fibra de carbono con matriz epoxi para tanques de combustibles.



*Figura 2. 1. Diagrama que muestra como la ciencia e ingeniería de los materiales forma un puente de conocimiento desde la ciencia básica hasta la ciencia de la ingeniería [1].*



## 2.2 MATERIALES COMPUESTOS

Un material compuesto se lo define como aquel que tienes dos o más componentes o materiales que se unen para formar un nuevo material. El nuevo material tendrá mejores propiedades en comparación con los materiales que los conforman por separado, un material compuesto está formado por dos partes que son la matriz y el refuerzo, cave recalcar que los componentes no se disuelven y se los puede identificar a cada uno de ellos gracias a la interfaz que existe entre ellos. [1], [2].

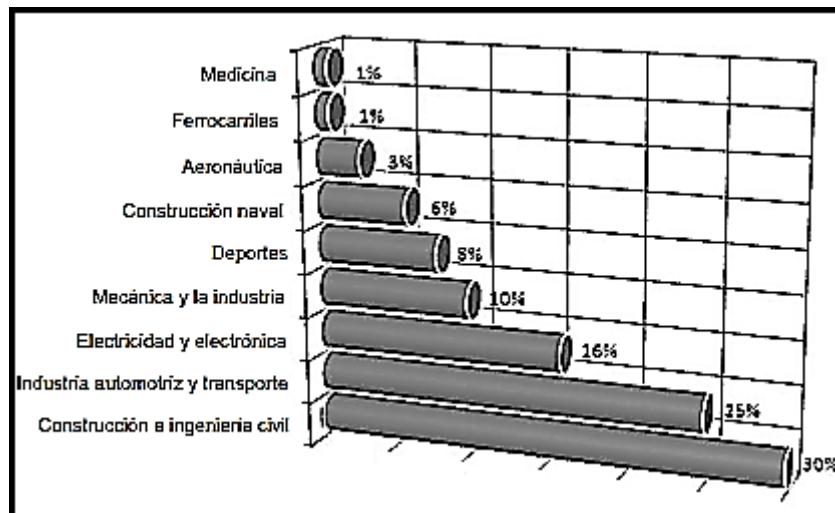


Figura 2. 2. Sectores más comunes donde se utiliza materiales compuestos [4].

Las propiedades mecánicas de un material compuesto dependen exclusivamente de cuatro factores que son:

- Propiedades de los materiales que los constituyen
- Su geometría
- Su distribución
- Y su fracción volumétrica

Un material compuesto ha ido remplazando a materiales tradicionales como el acero debido a que los materiales compuestos presentan elevadas relaciones de resistencia y rigidez-peso, en muchos casos un material compuesto puede presentar similares propiedades que un metal pero con menor densidad y por tanto con menor peso [1], [2].

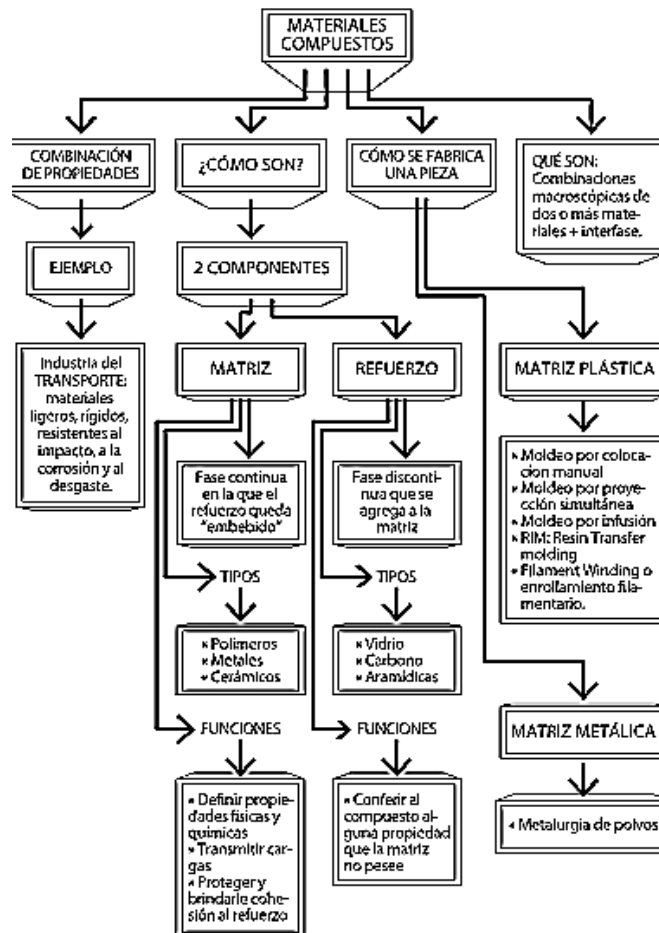


Figura 2. 3. Red conceptual de un material compuesto [5].

### 2.1.1 CLASIFICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos se pueden clasificar en función de los materiales que forman la matriz y según el tipo de refuerzo. Los materiales que conforman la matriz pueden ser: matrices poliméricas, metálica y cerámicas, en consecuencia va hacer la matriz quien dé el carácter del material compuesto. En cuanto a la clasificación según a los refuerzos tenemos: refuerzo con partículas, fibras y estructural



Figura 2. 4. Clasificación de los materiales compuestos [3].

## 2.3 MATRICES Y REFUERZOS

Un material compuesto está formado por dos partes la matriz y el refuerzo, cuando hablamos de materiales compuestos de matrices poliméricas estos pueden ser: matrices termoplásticas y termoestables.

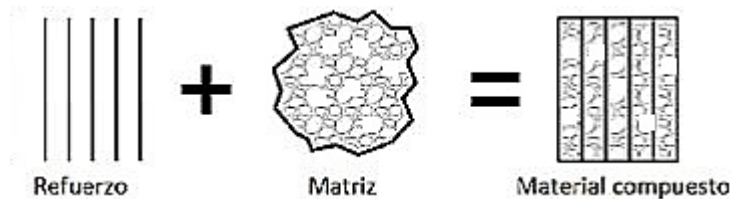


Figura 2. 5. Configuración de un material compuesto [4].

### 2.3.1 MATRIZ

La matriz es el elemento que se presenta de forma continua en el material compuesto actuando como aglutinante, además la matriz es el que da el carácter del material compuesto es decir es el que define su comportamiento o modo de falla, si actúa como un metal, polímero, cerámico.

Entre las funciones básicas de la matriz tenemos:

- Aglutinar los refuerzos
- Transferir las cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos
- Proteger la superficie de los refuerzos de la abrasión mecánica
- Proteger al refuerzo contra la humedad
- Provee soporte lateral a la fibra contra la posibilidad de pandeo si se somete a cargas de compresión

### 2.3.2 REFUERZO

Con respecto al refuerzo, la principal función es mejorar las características de la matriz, cabe recalcar que el refuerzo es el componente que soporta las cargas del material compuesto [4].

Un material compuesto puede estar reforzado con partículas, fibras o plaquetas, como se muestra en la figura 2.6.

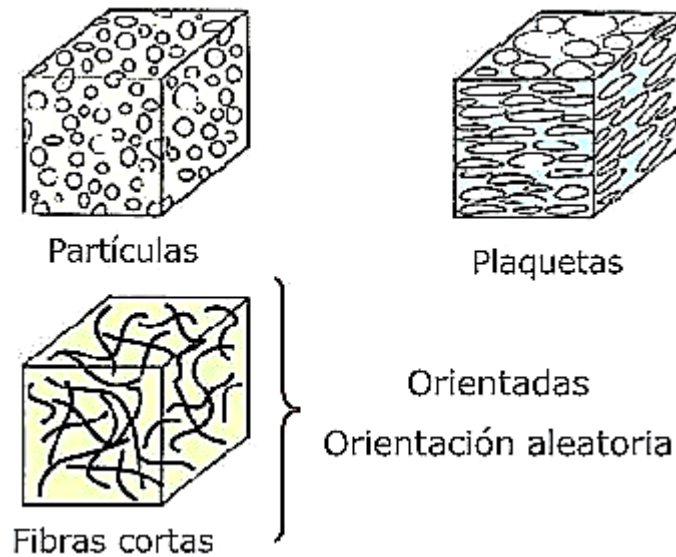


Figura 2. 6. Tipos de refuerzos de materiales compuestos [5].

### 2.3.3 INTERFAZ

En un material compuesto es importante que exista buena unión entre la matriz y el refuerzo, a lo que nos referimos es al espacio que existe entre la matriz y el refuerzo llamado interfaz. Cuando el refuerzo está unido fuertemente a la matriz decimos que la interfaz es buena caso contrario no, en el caso de un material compuesto reforzado con fibras el papel de la interfaz es todavía más importante ya que de esto depende las propiedades mecánicas del material, si la unión es buena permitirá que los esfuerzos mecánicos transmitan por toda la matriz hacia el esfuerzo, si la unión es mala el refuerzo no cumplirá su papel y se saldrá de la matriz.

Para que el refuerzo pueda impregnarse a la matriz es necesario que la matriz este en estado líquido, y todo dependerá de la mojabilidad de la matriz que es la capacidad que tiene para extenderse sobre una superficie sólida [4].

## **2.4 MATRICES POLIMÉRICAS**

Los materiales con matrices poliméricas son muy comunes porque son relativamente baratos y más fáciles de fabricarlos aunque no son muy resistentes a altas temperaturas, un material con matriz polimérica está sometido a reforzamiento con fibras naturales o sintéticas. [6]

La palabra polímeros viene del griego y significa (muchos miembros o partes). Si hablamos de una definición química podemos decir que es un material constituido por grandes moléculas que se forman a partir de la secuencia repetitiva de moléculas más pequeñas o agrupaciones de átomos simples que se enlazan unas a otras por enlaces primarios covalentes simples. Las moléculas pequeñas que dan origen a los polímeros se llaman monómeros. [7]

Las matrices poliméricas se pueden clasificar en: termoestables, termoplásticos y elastómeros.

### **2.4.1 MATRICES TERMOPLÁSTICAS**

Los polímeros termoplásticos son aquellos que al calentarse a altas temperaturas pasan por el estado líquido es decir que se transforman en un fluido, con lo cual permite su moldeabilidad. La estructura molecular de un termoplástico puede ser lineal o ramificada lo cual permite su transformación a estado líquido al someterla a calor. Algunos ejemplos de termoplásticos pueden ser: polietileno, polipropileno, policarbonatos, poliuretanos. [7]

### **2.4.2 MATRICES TERMOESTABLES**

Los polímeros termoestables son aquellos que al calentarse no pasan por el estado líquido con lo cual no permite ser remodelados. Si hablamos de su estructura molecular son polímeros entrecruzados, y tienden a ser muy rígidos y cuando se los somete a altas temperaturas se descompone químicamente (carbonización).

Como ejemplos de termoestables tenemos: resina epoxi, resina poliéster, resina viniléster, resina urea-formaldehído [8], [9].

*Tabla 2. 1. Características de matrices termoestables [8].*

<b>Resinas</b>	<b>Características</b>
Poliéster	Utilizado ampliamente en aplicaciones comerciales, de bajo costo y flexibilidad en el procesamiento, empleada con bajas temperaturas
Vinil éster	Similar al poliéster pero con mejores propiedades mecánicas y mayor resistencia a la humedad y al fuego. Son de elevado costo.
Epóxicas	Son costosas, de alto rendimiento, usadas primordialmente con compuestos de fibra continua. Tiene mejor rendimiento a temperaturas elevadas que el poliéster y el vinil.
Bismaleimidas	Usadas a temperaturas de 135-177°C. Requieren post-curado a elevadas temperaturas.
Poliamidas	Resinas usadas a muy altas temperaturas con un rango de 280-316°C. difíciles de procesar.
Fenólicas	Resinas de alta temperaturas, usadas en aeronaves. La resistencia al fuego es excelente. Son difíciles de procesar.
Esteres cianato	Son matrices versátiles que ofrecen elevadas resistencia, dureza, propiedades eléctricas y baja absorción de humedad. Fueron creadas para competir con las bismaleimidas. Son empleadas en la fabricación de antenas, misiles y microelectrónica

*Tabla 2. 2. Clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura que soportan [9].*

<b>BAJAS TEMPERATURAS</b>	<b>Poliéster:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Isoftálica</li> <li>• Ortoftálica</li> </ul>
<b>MEDIAS TEMPERATURAS</b>	Viniléster, Epoxi
<b>MEDIAS-ALTAS TEMPERATURAS</b>	Fenólica
<b>ALTAS TEMPERATURAS</b>	Bismaleimida, Poliimida Esteres cianato, Polieteramida

### 2.4.3 MATRICES ELASTÓMEROS

Los elastómeros son polímeros que poseen cadenas con mucha flexibilidad es decir que sus moléculas tienen libertad de movimiento, tiene doble enlaces a lo largo de sus cadenas, pero reticulados en menor extensión, a consecuencia de esto los elastómeros presentan un comportamiento gomoeástico, además son infusibles e insolubles pero hinchables. Como ejemplos de elastómeros tenemos: el caucho natural y sintético. [7]

### 2.5 RESINA EPÓXICA

Denominamos resina a todo aquello que necesita un proceso de curado para obtener una estructura reticulada. La resina epoxi son polímeros termoestables, estas resinas

son las más utilizadas en los materiales compuestos de altas prestaciones debido a que poseen mejores propiedades físicas y mecánicas que las resinas poliéster y vinilester. Los epoxis no generan productos de reacción durante el curado y por ello tiene poca contracción al momento de curar [1], [10].

Las resinas epoxi se caracteriza por tener dos o más grupos epoxi por cada molécula, como estructura química de un grupo epoxi tenemos:

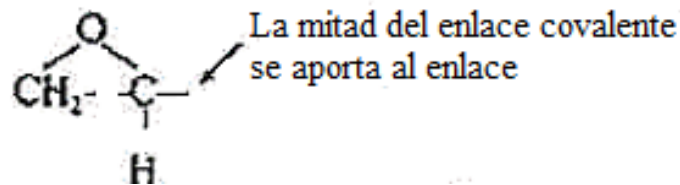


Figura 2. 7. Estructura química de un grupo epoxi [1].

Por otra parte la mayoría de las resinas epoxi de uso comercial tiene una estructura química general donde esta añadido agentes catalizadores y acelerantes para el curado o entrecruzamiento, además que los agentes de entrecruzamiento poseen productos de condensación como aminas, aldehídos y anhídridos.

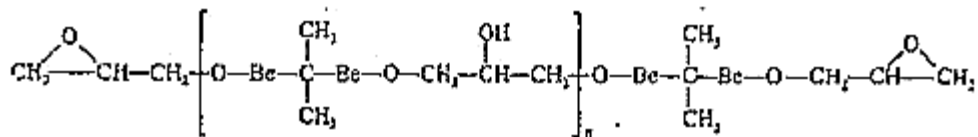


Figura 2. 8. Estructura química de una resina epoxi con sus agentes de curado [1].

Dicho todo esto a continuación presentamos una tabla con características mecánicas de diferentes resinas usadas como matrices en los materiales compuestos.

Tabla 2. 3. Características mecánicas de la Resina Epoxi frente a otras resinas o matrices termoestables [9].

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Viniléster	Resina Poliimida
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,17-1,26	1,17-1,25	1,25-1,3	1,17-1,25	1,27-1,42
Alargamiento (%)	< 3	6-8	< 3	3,5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de Moldeo (°C)	T <sub>amb</sub> hasta 180	T <sub>amb</sub> hasta 170	150-190	T <sub>amb</sub> hasta 175	≥ 350
Temperatura de Reblandecimiento	80 - 160	80 - 130	100 - 150	100 - 150	260
Propiedades reológicas	Muy buenas				Función de la resina
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría de la pieza				
Contracción de fraguado (%)	6 - 10	1 - 3	0,5 - 1,5	0,1 - 1	0,5 - 0,7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0,4	Hasta 1	Casi ninguna
Resiste a:	Agua, soluciones acuosas, fuel, gasolina	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	37% HCl, ClO <sub>2</sub> , agua salina, alquitranes	-
No resiste a:	Agua hirviendo, ácidos y lejías, benzol y alcohol	Agua hirviendo, ésteres, ácidos y bases, cetonas.	Ácidos y bases concentradas	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 75%, NaCl al 6%, NaOH al 15%, agua hirviendo	-
Inflamabilidad	No autoextinguible	Difícilmente inflamable, después arde	Difícilmente inflamable	No autoextinguible	-

### 2.5.1 PROPIEDADES Y APLICACIÓN DE LA RESINA EPÓXICA

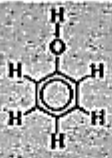
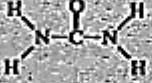
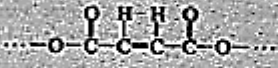
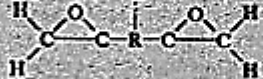

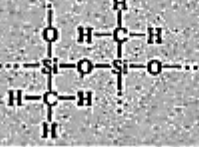
Debido al bajo peso molecular de una resina epoxi no curado en estado líquido les confiere una movilidad molecular muy buena, esta propiedad permite a la resina epoxi moje rápidamente y completamente a las superficies que los rodea, es por esta razón que las resinas epoxi se utiliza como adhesivos. Las resinas epoxi tienen otras propiedades como: buen aislamiento eléctrico, buena resistencia mecánica, resiste temperaturas elevadas, poca contracción al curar (0-1%) y tiene buena resistencia química.

**Aplicaciones:** como aplicaciones de la resina epoxi tenemos:

Se utiliza en estructuras que requieren alta resistencia con un bajo peso como en embarcaciones, además se utiliza en aplicaciones aeroespaciales, eléctricos, electrónicos, equipos químicos, tanques de almacenamiento y en especial matrices para materiales compuestos y adhesivos [1], [6], [7].



Tabla 2. 4. Unidades funcionales y aplicaciones de la resina epoxi frente a otras resinas [6].

Polímero	Unidades funcionales	Aplicaciones típicas
Fenólicos		Adhesivos, recubrimientos laminados
Aminas	 Urea	Adhesivos, utensilios de cocina, moldes eléctricos
Poliésteres		Moldes eléctricos, laminados decorativos, matriz en compuestos reforzados con fibra de vidrio
Epóxicos		Adhesivos, moldes eléctricos, matrices para materiales compuestos
Ureanos		Fibras, recubrimientos, espumas, aislamiento
Silicona		Adhesivos, juntas, selladores

## 2.5.2 TIPOS DE RESINA EPÓXICA

Las resinas epoxi se clasifican respecto al elemento base que los conforman:

### Resina epoxi a base Bisfenol A.

Este tipo de resina son las más utilizadas debido a su versatilidad, su estructura molecular se da mediante la reacción del hipoclorohidrin y el bisfenol A. Dependiendo del peso molecular estas pueden ser líquidas, semisólidas o sólidas.

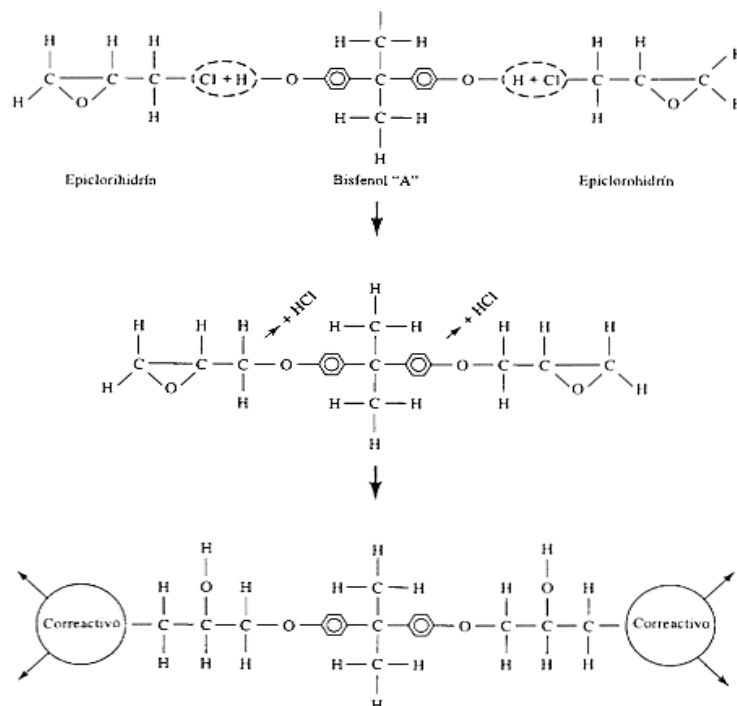


Figura 2. 9. Estructura química de la resina a fase bisfenol A [6].

### Resina epoxi a base Bisfenol F y/o novolac.

En este tipo de resina se reemplaza el bisfenol A por bisfenol F, lo que esto produce es un mayor entrecruzamiento y mejora sus propiedades mecánicas químicas y térmicas, sobre todo si se tiene un curado con aminas aromáticos o anhídridos.

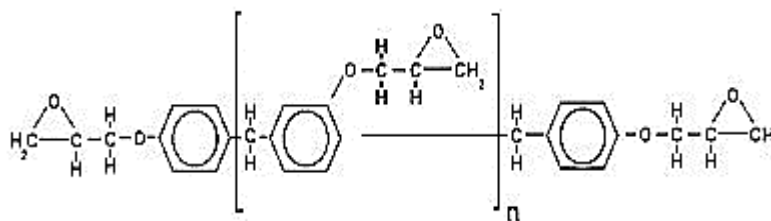


Figura 2. 10. Estructura química de la resina a base bisfenol F [11].

### Resina epoxi bromadas.

Este tipo de resinas son a base de epichlorohidrina y tetrabromobisfenol A, cave recalcar que las cuatro moléculas adicionales de bromo le da a la resina la característica de autoextinción.

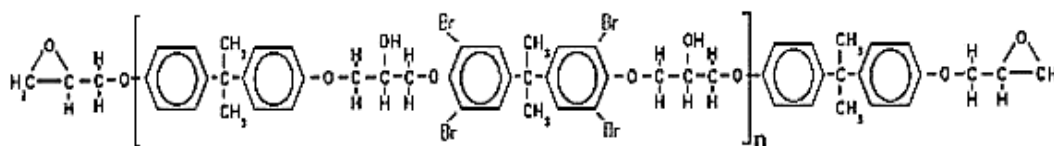


Figura 2. 11. Estructura química de la resina bromada [11].

### Resina epoxi flexibles.

Lo que le da la característica de flexibilidad es que tiene cadenas lineales largas de poliglicoles poco ramificado las cuales sustituyen a los bisfenoles en su estructura. Estas resinas poseen baja reactividad que son utilizados como flexibilizantes reactivos en otras resinas lo cual mejora la resistencia al impacto.

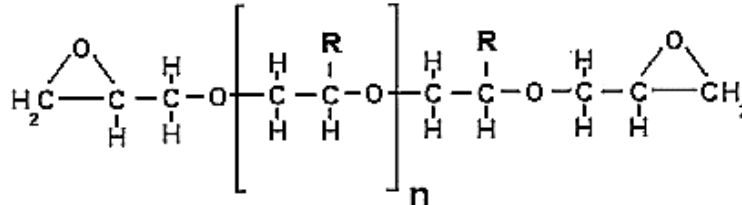


Figura 2. 12. Estructura química de la resinas epoxi flexibles [11].

### 2.5.3 PROCESO DE CURADO DE LA RESINA EPÓXICA

El proceso de curado es en la cual la resina pasa de estado líquido a sólido, este cambio de estado no puede producirse por sí solo. Para facilitar la reacción de polimerización y el cambio de estado de la resina es necesario añadirle iniciadores o también llamados catalizadores y activadores o también llamados aceleradores esto se lo haces con los porcentajes indicados por el fabricante.

Los catalizadores producen radicales libres los que producen el inicio de la reacción y están basados en peróxidos orgánicos, la adición del catalizador se debe hacer según las recomendaciones del fabricante y los porcentajes del mismo suelen ser fijos.

Una falta de catalizador provoca una reacción incompleta y una adición excesiva de catalizador podría causar una reacción diferente, con la modificación del peso molecular de la resina y en consecuencia unas propiedades mecánicas inferiores.

El acelerador va en función del catalizador, si hablamos de curado a temperatura ambiente el acelerador suele ser sales de cobalto que se los adiciona a la resina antes que el catalizador.

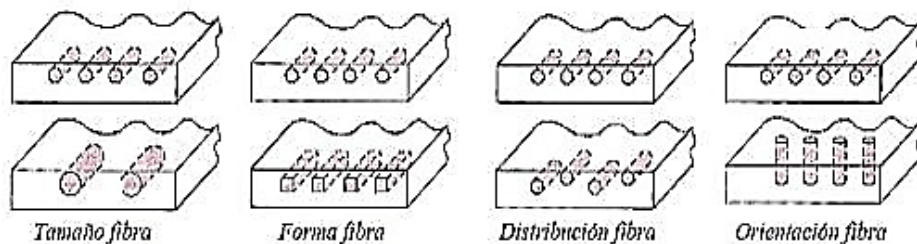
Para que la mayoría de las resinas epoxi curen completamente se debe adicionarle calor externo, a través de un proceso de curado o postcurado. Si se desea obtener buenas propiedades a temperatura ambiente es necesario utilizar agentes catalíticos específicos para dicho fin [7], [12].

## 2.6 REFUERZO CON FIBRAS

Los materiales compuestos con fases dispersas en este caso fibras son los más importantes hablando tecnológicamente. La finalidad de reforzar un material compuesto con fibras es conseguir elevada resistencia y rigidez, por ejemplo, resistencia a la fatiga, todo esto a baja densidad es decir se consigue una mejor relación resistencia-peso.

Estas características se expresan mediante los siguientes parámetros: resistencia específica y módulo específico, que corresponden respectivamente a las relaciones entre la resistencia a la tracción y el peso específico y entre el módulo de elasticidad y el peso específico. Si utilizamos materiales de baja densidad en la matriz y en las fibras, se puede fabricar materiales reforzados con fibras que tienen resistencia y módulos de específicos muy elevados [3], [6].

Los compuestos reforzados con fibras presentan un comportamiento anisotropía. Esto que algunas propiedades varían dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron determinados. Para lograr que un material compuesto presente un comportamiento isotrópico en cuanto a una propiedad en específico como por ejemplo el módulo de Young, es necesario que el refuerzo siendo estas partículas o fibras tenga una distribución aleatoria, sin embargo esto no es tan fácil de lograr debido a que en el proceso de fabricación del material siempre se tiende a tener una orientación de la fibra. De esta manera, se puede tener la posibilidad de orientar a las fibras en la dirección en la que se aplicara una mayor carga, con lo cual incrementaremos la eficiencia del refuerzo [4].

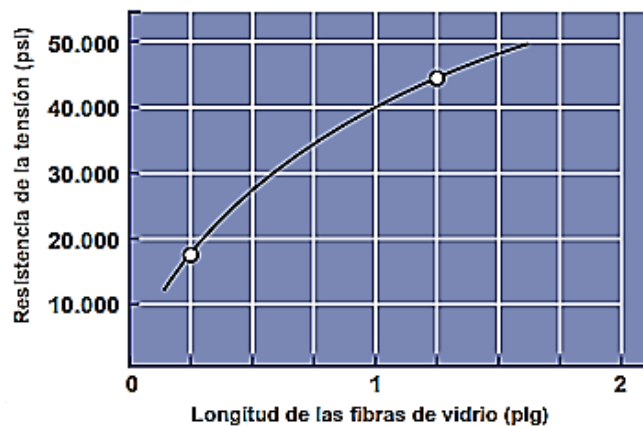


*Figura 2. 13. Parámetros a tomar en cuenta cuando se refuerza un material compuesto con fibras [3].*

### 2.6.1 LONGITUD Y DIÁMETRO DE FIBRAS

Las fibras que se utiliza como refuerzo pueden ser cortas, largas o continuas. Se puede caracterizar sus dimensiones mediante la relación de forma  $l/d$ , donde  $l$  es la longitud de la fibra y  $d$  es su diámetro. Las fibras típicas que se utilizan varían su diámetro entre 10 micrones y 150 micrones. La resistencia de un material compuesto mejora cuando la relación de forma es alto. Es común que las fibras se fracturen debido a defectos de superficie, esto se puede evitar si fabricamos fibras con un diámetro lo más pequeño posible, lo que le da a la fibra una menor área de superficie y en consecuencia tenemos menos defectos que se producen en el proceso de aplicación de carga.

De preferencia se utiliza fibras largas ya que los extremos de una fibra soportan menos carga que el resto de la fibra por tanto si tenemos menos extremos, mayor será la capacidad de la fibra para soportar una carga [6], [12].



*Figura 2. 14.* Al incrementar la longitud de la fibras recortadas de vidrio E en una matriz epoxi aumenta la resistencia del compuesto. En este ejemplo la fracción en volumen de las fibras de vidrio es aproximadamente de 0.5 [12].

Al aplicar un esfuerzo de tracción al material compuesto, la unión fibra-matriz cede en los extremos de la fibra y la matriz se deforma, en pocas palabras lo que se quiere decir es que en los extremos de la fibra no hay transmisión de carga desde la matriz, como ya aviamos menciona anteriormente a menos extremos mayor es la capacidad de la fibra para soportar carga.

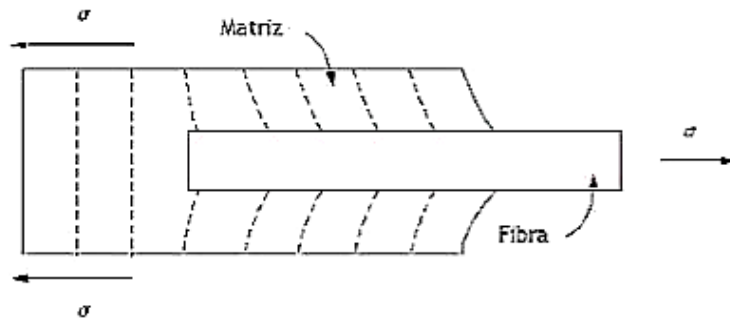


Figura 2. 15. Deformación de la matriz que rodea a la fibra sometida a tracción [13].

## 2.6.2 CANTIDAD Y ORIENTACIÓN DE FIBRA

Una fracción mayor de volumen de fibras en un material compuesto incrementa la resistencia y rigidez, tal y como lo indica la regla de la mezcla. Por otro lado la fracción máxima volumétrica de las fibras es aproximadamente el 80%, más allá de esta cantidad las fibras no quedarán rodeadas por la matriz y no cumplirán con su función.

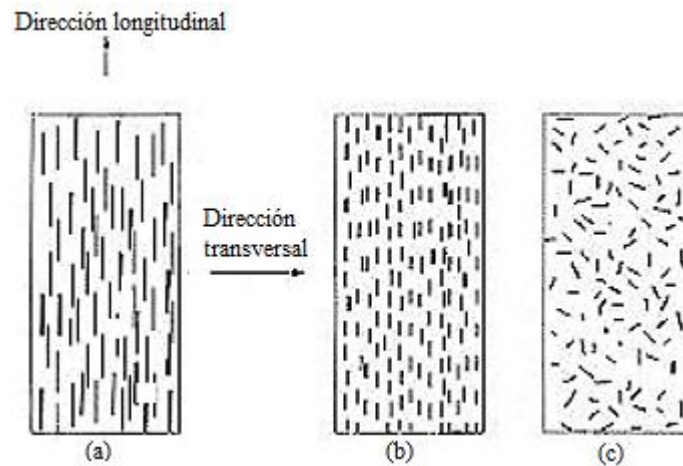
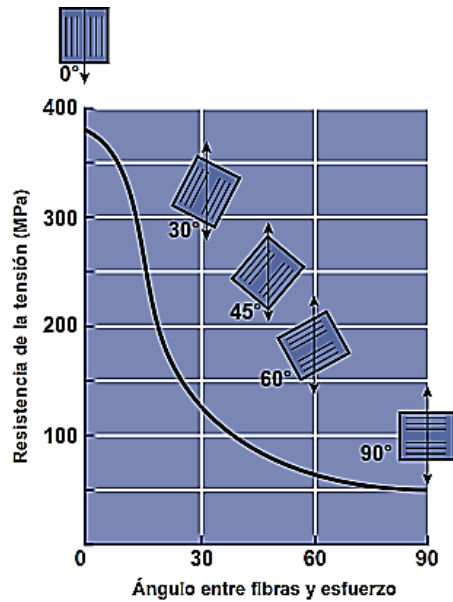


Figura 2. 16. Representación esquemática de un material compuesto reforzado con fibra, (a) continuas y alineadas, (b) discontinuas y alineadas, (c) discontinuas y alineadas al azar [13].

En cuanto a la orientación las fibras pueden entrar en la matriz de formas diversas, como ya hablamos anteriormente al momento de introducir las fibras cortas en forma aleatoria se tiene un comportamiento isotrópico, mientras que los arreglos unidireccionales de las fibras continuas dan un comportamiento anisotrópico, con resistencia y rigidez paralelas a la fibra relativamente buenas. Sin embargo si la carga es perpendicular a la fibra, la orientación unidimensional produce propiedades pobres [4], [6].



**Figura 2. 17.** Efecto de la orientación de la fibra en la resistencia a la tensión de compuestos epoxi reforzado con fibra de vidrio [12].

Cuando se tiene un material compuesto con fibras discontinuas estas son colocadas al azar. El módulo elástico de los materiales reforzados, tanto si las fibras están orientadas o distribuidas al azar aumenta al incrementar la fracción volumétrica de la fibra. A continuación presentaremos una tabla que nos dará una idea de las magnitudes que se pueden lograr mediante un reforzamiento con fibra. A continuación presentaremos una tabla que nos indica las eficiencia de un refuerzo con fibra en varias situaciones, la eficiencia se toma como la unidad en la dirección del esfuerzo paralela a la alineación y cero en la dirección del esfuerzo perpendicular.

**Tabla 2. 5.** Eficiencia del reforzamiento con fibra orientada en varias direcciones y esfuerzos aplicados en varias direcciones [3].

Orientación de fibra	Dirección de refuerzo	Eficiencia del refuerzo
Todas las fibras paralelas	Paralelas a las fibras	1
	Perpendicular a las fibras	0
Fibras orientadas al azar y uniformemente	Cualquier dirección en el plano de las fibras	3/8
Fibras orientadas al azar y uniformemente distribuidas en el espacio	Cualquier dirección	1/5

De manera general si analizamos el esfuerzo y deformación de un material compuesto reforzado con fibras continuas y una distribución unidireccional, se presenta a continuación la curva esfuerzo vs deformación para un material compuesto por fibras frágiles y una matriz dúctil, hacemos esto tomando en cuenta que la mayoría de las fibras sintéticas tienen un comportamiento frágil. Es importante recalcar que las fibras están alineadas longitudinalmente y las cargas aplicadas también son longitudinalmente o paralelamente.

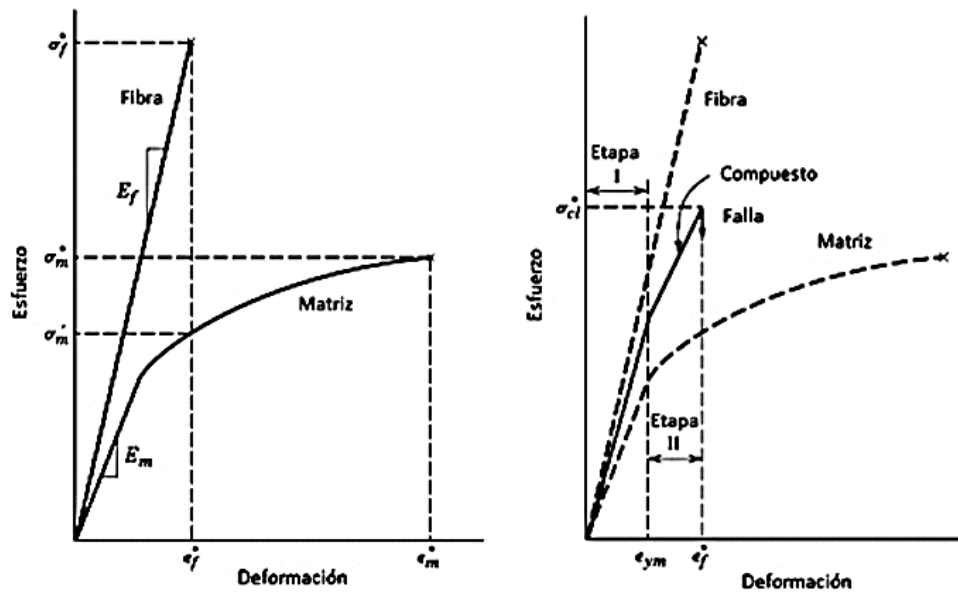


Figura 2. 18. Relación esfuerzo deformación entre la fibra y la matriz [4].

## 2.7 REGLA DE LAS MEZCLAS DE UN MATERIAL COMPUESTO REFORZADA CON FIBRA

La regla de las mezclas nos dará la densidad de los compuestos reforzados con fibra, la que se consigue con la siguiente ecuación.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec (2.1)}$$

Donde  $f$  es la fracción volumétrica y  $\rho$  es la densidad, además los subíndices  $f$  y  $m$  se refiere a la fibra y matriz respectivamente, obsérvese también que:

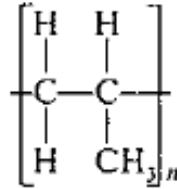
$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec (2.2)}$$

Las reglas de las mezclas también predicen con mucha exactitud la conductividad térmica y eléctrica a lo largo de la dirección de las fibras, siempre y cuando estas sean continuas y unidireccionales [6].



## 2.8 FIBRA DE POLIPROPILENO

La fibra de polipropileno es uno de los más utilizados y uno de los más baratos, debido a que son fabricados de materiales petroquímicos de bajo costo.

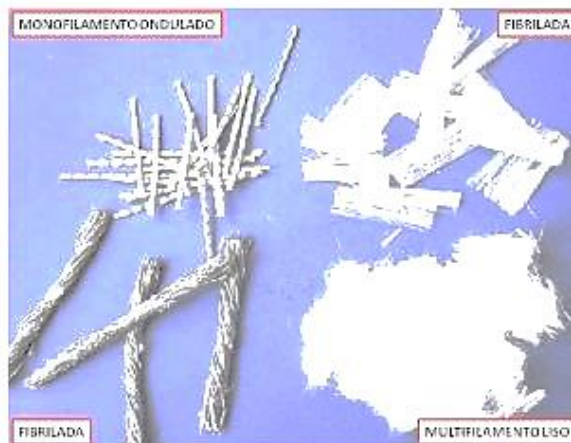


*Figura 2. 19. Unidad estructural química repetitiva del polipropileno, punto de fusión 1665-167°C [1].*

El polipropileno es un hidrocarburo cuyas fibras están hechas usando procesos de extracción por medio de estiramiento en caliente a través de un troquel [13].

Las fibras de polipropileno en forma de monofilamento son producidas en un proceso de extrusión, esto significa que el material es trazado en calor a través de un disco de sección circular, lo que genera un número de filamentos continuos.

Las fibras de polipropileno fibriladas son fabricadas de igual forma a través de un proceso de extrusión donde el disco es rectangular, lo que da como resultado unas hojas de película de polipropileno que están tejidas longitudinalmente dentro de cintas de igual ancho. Las fibras de polipropileno están comercializados en longitudes desde 6.5 a 63.5mm [14].



*Figura 2. 20. Tipos de fibras de polipropileno, monofilamento, multifilamento y fibrilada [14].*

La manera más adecuada de utilizar la fibra de polipropileno en materiales compuestos reforzados con fibras, es conseguir la fibra fibrilada manufacturada en paquetes pequeños y antes de colocarlos en el material compuesto a reforzar, los

paquetes se tiene que abrir y cortarlos en paquetes más pequeños o en fibras individuales como se muestra en la siguiente figura 2.21.



*Figura 2. 21. (a) Fibras fibriladas de polipropileno manufacturadas en pequeños paquetes, (b) paquetes abiertos en fibras individuales para reforzar un material compuesto [14].*

### 2.8.1 ESTRUCTURA Y PROPIEDADES

Pasan del polietileno al polipropileno con la sustitución de grupo metílico cada dos átomos de carbono de la cadena polimérica principal, restringe la rotación de las cadenas lo que produce un material más duro y menos flexible.

Los grupos metílicos de las cadenas también proporcionan en aumento de la temperatura de transición vítrea, por lo cual el polipropileno tiene mayor resistencia a de fusión y deformación por causa de la temperatura mayor que el polietileno. En algunos casos de acuerdo en cómo se fabrique el polipropileno, si se utiliza catalizadores estereoespecíficos se puede preparar polipropileno isostático con un punto de fusión que varía entre 1665-167°C en algunos casos también se puede someter a temperaturas de unos 12°C sin tener deformación.

La fibra de polipropileno tiene un buen equilibrio de propiedades tales como:

- Resistencia química
- Resistencia al calor
- Resistencia a la humedad debido a que es un material hidrofóbico
- Baja densidad entre (0.900 a 0.910 g/cm<sup>3</sup>)
- Buena dureza superficial
- Resistencia a la penetración de microorganismos

Además de ser incolora la fibra de polipropileno tiene una buena relación costo beneficio lo que lo hace un material muy utilizado.

Las aplicaciones del polipropileno son diversos, se los utiliza en los utensilios de cocina y laboratorio, también se utiliza como relleno en la tapicería de automóviles. La fibra de polipropileno al ser resistente contra el impacto se los utiliza como fibras de refuerzo en concretos y en materiales compuestos [1], [14].

## **2.9 CONFORMACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO REFORZADO CON FIBRAS.**

Es necesario seleccionar el proceso adecuado para la fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras ya que es de gran importancia porque nos permite satisfacer los requerimientos necesarios del producto para una aplicación determinada. Dado que el costo de fabricación del material compuesto representa entre un 50% y 60% del costo total del producto, es necesario seleccionar el proceso adecuado de fabricación, tomando en cuenta muchos parámetros tales como: el tipo de matriz, el tipo de fibra (continua, discontinua) y la aplicación del producto terminado, para fabricar materiales reforzados, las fibras deben estar uniformemente distribuidas o alineadas en la matriz [15], [16].

Como ya dijimos se utiliza diversos métodos en la fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras dependiendo de los materiales y de la aplicación por ejemplo: los compuestos reforzados con fibras cortas normal mente se los fabrica mezclando las fibras con una matriz líquida o plástica y se utiliza técnicas convencionales como el moldeo por inyección, rociado o el vaciado en el caso de materiales de matriz metálica.

Cuando se fabrica materiales compuestos reforzados con fibras largas o continuas se utiliza la técnica conocida como estratificación manual, esta técnica puede ser utilizada por carrocerías que utilizan fibra de vidrio pero generalmente este proceso es lento y requiere mucha mano de obra [6].

### **2.9.1 ESTRATIFICACIÓN MANUAL**

La palabra estratificación viene del termino latino "Stratus" de la cual se deriva la palabra estratos, lo que significa que el material está compuesto de varias capas o

divisiones, esto esta relacionadas con el refuerzo, que son colocado en la cantidad y orientación requerida formado diferentes capas [17].

La estratificación manual o también llamada hand lay-up es el método más sencillo para fabricar una material compuesto de matriz termoestable reforzado con fibra.

Los pasos o procesos a seguir de estratificación manual son:

- a. Limpieza del molde y aplicación de un agente desmoldeante como ceras o películas de alcohol polivinílicos en solución.
- b. Aplicación del Gel coat, este gel se utiliza a menudo cuando se tiene un material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio ya que le da un buen acabado superficial además de protegerlo de agentes externos.
- c. Cuando el gel coat haya curado parcialmente junto con el agente desmoldeante, se procede a colocar el material de refuerzo en este caso las fibras, y se deposita la resina catalizada sobre cada capa de refuerzo. Se pasa un rodillo para que las fibras se impregne con la resina además que se elimina las burbujas de aire atrapadas.
- d. Se deja curar a temperatura ambiente. El proceso de curado depende del tipo de resina ya que algunas resinas necesitan curar adicionándoles más temperatura y en algunas veces también necesitan un proceso de post curado.
- e. Finalmente se retira la pieza del molde [18], [19].

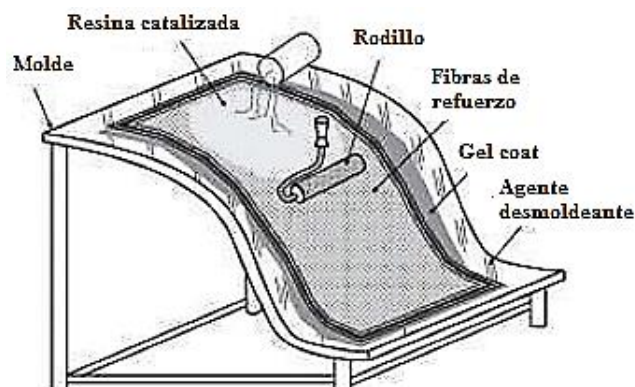


Figura 2. 22. Esquema de un proceso de estratificación manual [16].

Algunas ventajas de la estratificación manual son: No requiere alta tecnología, Es proceso simple y permite fabricar piezas de gran tamaño.

En cuanto a las desventajas tenemos: requiere de una intensa mano de obra, difícil controlar el espesor, buen acabado en solo una cara, no se utiliza este proceso para producir a gran escala y los resultados depende de la habilidad del trabajador.

## 2.9.2 ESTRATIFICACIÓN DE PREIMPREGNADOS

El termino preimpregnados se utiliza para referirnos a las fibras continuas impregnadas previamente con una resina polimérica parcialmente curada. Este producto se presenta en formas de láminas que posteriormente serán utilizadas en un proceso de moldeo por estratificación manual, moldeo por compresión entre otros.

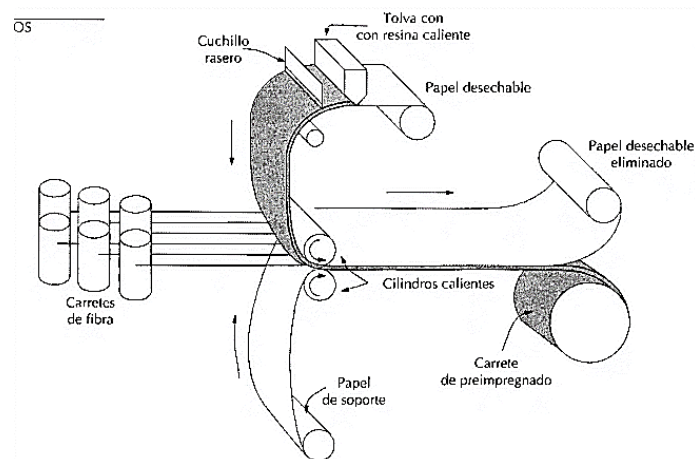


Figura 2. 23. Esquema del proceso de estratificación de Preimpregnados [15].

La técnica para la obtención de preimpregnados es que se puede controlar de mejor manera las fracciones volumétricas además de la dispersión homogénea de la matriz en las fibras lo cual asegura una mejor transmisión de las cargas aplicadas a la fibra.

El porcentaje máximo de refuerzo que podemos alcanzar con esta técnica es del 60% y los espesores van desde 1 pulgada a 12 pulgadas.

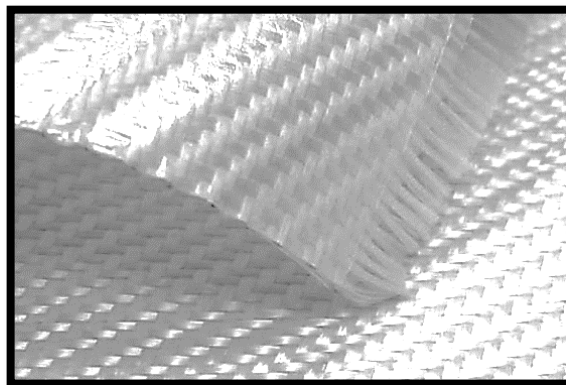


Figura 2. 24. Preimpregnado de Polietereetercetona (PEEK) y fibra de carbono [4].

### 2.9.3 MOLDE POR ASPERSIÓN

Este proceso es muy similar al proceso de estratificación manual e incluso se utiliza moldes de similares características. En este proceso de moldeo por aspersión se utiliza una pistola, la cual deposita la resina y la fibra corta simultáneamente sobre el molde.

La matriz polimérica más utilizada en este proceso es la resina poliéster la cual es reforzada normalmente con fibra de vidrio fibra de carbono y kevlar, el porcentaje en peso del refuerzo va desde un 20% al 40%. La pistola de aspersión corta la fibra en un tamaño predeterminado que varía desde (10 a 40mm) expulsándola a través de un atomizador de resina catalizadora hacia el molde deseado [4].

El proceso a seguir del moldeo por aspersión es:

- a. Limpieza del molde y aplicación de un agente desmoldante.
- b. Aplicación de una capa del Gel coat, que se deja curar a temperatura ambiente o en un horno.
- c. Cuando el gel coat haya curado parcialmente junto con el agente desmoldante, se procede a depositar la resina y el refuerzo con ayuda de la pistola de aspersión.
- d. El laminado se compacta con un rodillo lo cual permite que la fibra y la matriz tengan un buen impregnado, al mismo tiempo permite remover las burbujas de aire atrapadas y controlar el espesor.
- e. A menudo se intercala el material atomizado con capas de tejidos de refuerzo en partes específicas de la pieza para conseguir una mayor resistencia.
- f. Una vez conseguido el espesor deseado, se deja curar el material, el curado se lo hace a temperatura ambiente y tiene una duración de entre (2 a 4 horas). Finalmente se retira la pieza del molde.

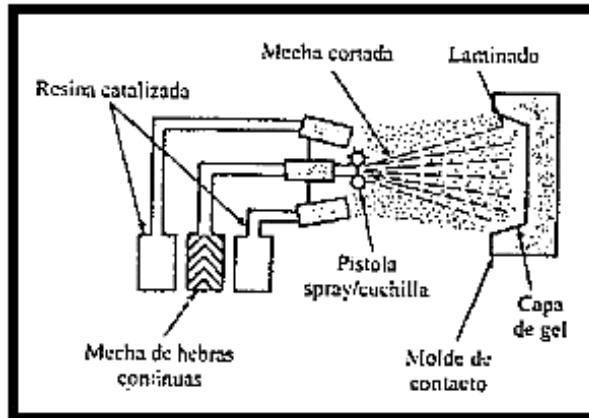


Figura 2. 25. Proceso del moldeo por aspersión [1].

## 2.10 ENSAYOS DE MATERIALES

La evaluación de las propiedades mecánicas para la caracterización de una material compuesto se los realiza mediante ensayo destructivo. El proceso de ensayo se lo realiza tomando muestras de cada combinación posible del material compuesto con lo cual posteriormente se realizan pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos que se realicen tienen que estar normalizados, existen institutos normalizadores como la ASTM, las cuales cuentan con normas para caracterización de composites.

### 2.10.1 ENSAYOS A TRACCIÓN

El ensayo de tracción es uno de los ensayos más utilizados para la caracterización de un material. El ensayo consiste en aplicar dos cargas en forma creciente en la dirección del eje de la pieza, lo que tiende a producir su alargamiento hasta el punto de ruptura.

El ensayo de tracción para composites está regido bajo la norma ASTM D3039/D3039, la cual sugiere que al menos se tiene que hacer el ensayo de cinco piezas por cada configuración de refuerzo. Las pruebas se realizaran en la maquina universal con una velocidad de 2mm/min y con las dimensiones de las probetas igual indicadas en la norma. El ensayo a tracción nos permite determinar algunas propiedades tales como el modulo elástico, coeficiente de poisson, esfuerzo máximo a la tracción, alargamiento porcentual, entre otros [20], [21].

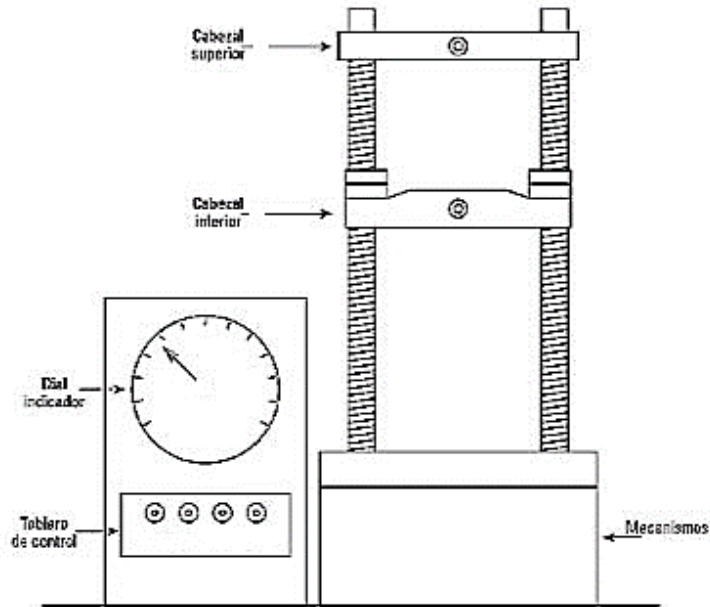


Figura 2. 26. Esquema de la máquina universal [22].

### 2.10.2 ENSAYOS A FLEXIÓN

El ensayo de flexión tiene que estar realizado mediante la norma ASTM D7264/D7264, con este ensayo determinaremos propiedades como el módulo de elasticidad, valores de esfuerzo y deformación. Este ensayo consiste en un sistema de cargas en tres puntos, en este sistema se aplica una carga  $F$  en la parte superior de la superficie de la probeta, de esta manera la parte superior de la probeta está sometida a un esfuerzo de compresión y la parte inferior a un esfuerzo de tracción.

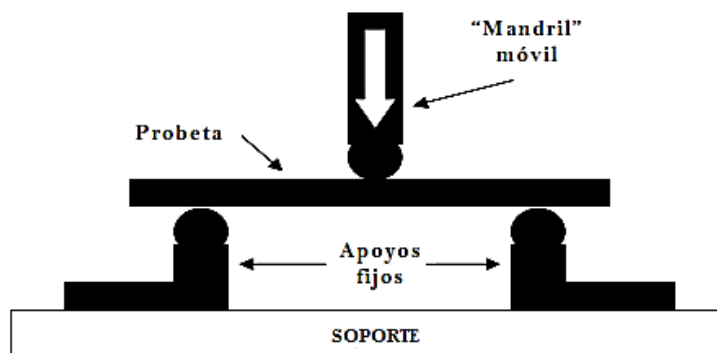


Figura 2. 27. Esquema del ensayo a flexión a tres puntos [22].

Los esfuerzos de flexión van acompañados de esfuerzos de corte, los cuales disminuyen al aumentar la luz entre los apoyos, es por esto que es muy importante que las probetas estén normalizadas.



Para la realización del ensayo a flexión se debe verificar que las probetas no presenten ninguna falla superficial como puede ser incrustaciones, además que los espesores de las probetas tienen que ser uniforme para que el ensayo presente datos precisos y reales, la norma indica las dimensiones de las probetas además que se debe hacer la prueba de al menos 5 probetas por cada configuración geométrica, las cuales se debe aplicar la carga con una velocidad de 1mm/min [21], [22], [23].

### **2.10.3 ENSAYOS A IMPACTO**

El ensayo de impacto se debe realizar mediante la norma ASTM D5628, en la cual consta el ensayo de impacto mediante caída de dardo con una masa constante y altura variable. La prueba consiste en encontrar la altura precisa en la que el material falle al dejar caer el dardo, es por esto que se debe aumentar la altura si el material no falla y de igual manera se debe disminuir la altura si el material falla además que se debe verificar que el dardo solo de un golpe en la probeta, es decir que no tiene que rebotar, con lo cual conseguiremos la altura media en la que la mayoría de las probetas fallen (un 50%). Una de las propiedades que se puede encontrar con este ensayo es la energía absorbida por el material, la altura media de impacto entre otros. Las probetas son cuadradas y las dimensiones están especificadas en la norma antes mencionada [24].

### **2.11 HIPÓTESIS**

El material compuesto de matriz epóxica reforzada con fibra larga de polipropileno tendrá mejores propiedades mecánicas (tracción, flexión e impacto) que sus similares con fibra corta.

### **2.12 SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

#### **2.12.1 VARIABLE INDEPENDIENTE**

Material compuesto de matriz epóxica reforzada con fibra de polipropileno.

#### **2.12.2 VARIABLE DEPENDIENTE**

Propiedades mecánicas.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

#### **3.1 NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN**

##### **3.1.1 DESCRIPTIVO**

Esta investigación fue descriptiva ya que se buscó especificar propiedades, características y rasgos importantes de la muestra, que nos permitirá encontrar el material compuesto con mejores propiedades mecánicas para su posterior aplicación

##### **3.1.2 CORRELACIONAL**

Esta investigación además fue correlacional ya que asociamos las variables que están involucradas con el propósito de conocer y dar respuesta a diferentes preguntas que se generaron al momento del análisis de la muestra.

##### **3.1.3 EXPLICATIVA**

Esta investigación también fue explicativa ya que además de describir y correlacionar las variables que intervienen en un fenómeno, fuimos más allá para poder explicar dicho fenómeno físico.

#### **3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

##### **3.2.1 POBLACIÓN**

Como población de nuestro estudio, tenemos el material compuesto propuesto de (resina epóxica + fibra de polipropileno) con cada una de sus fracciones volumétricas y configuraciones del refuerzo, siendo estos.

- 80% de matriz - 20% refuerzo (fibra larga y corta )( al azar y longitudinal)
- 75% de matriz - 25% refuerzo (fibra larga y corta )( al azar y longitudinal)
- 70% de matriz - 30% refuerzo (fibra larga y corta )( al azar y longitudinal)

### **3.2.2 MUESTRA**

Como muestra tenemos como mínimo cinco probetas por cada caso, según las normas ASTM. Siendo estos:

- Para ensayos de tracción 30 probetas
- Para ensayos de flexión 20 probetas
- Para ensayos de impacto 24 probetas

A estas probetas se realizaron ensayos a tracción ASTM D3039, flexión ASTM D7264 e impacto ASTM D5628, para posteriormente seleccionar el material compuesto que mejores propiedades mecánicas presente.

### 3.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1 VARIABLE INDEPENDIENTE

*Tabla 3. 1. Variable independiente (Material compuesto de matriz, epoxi reforzada con fibra de polipropileno)*

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de polipropileno	Independiente	Un material compuesto se lo define como aquel que tienes dos o más componentes o materiales que se unen para formar un nuevo material. El nuevo material tendrá mejores propiedades en comparación con los materiales que los conforman por separado, un material compuesto está formado por dos partes que son la matriz y el refuerzo cave recalcar que los componentes no se disuelven y se los puede identificar a cada uno de ellos gracias a la interfaz que existe entre ellos.	Material de matriz termoestable reforzado con fibra	Geometría y longitud de fibra.  Distribución y orientación de la fibra.  Fracción volumétrica	Sección circular, larga, corta.  Al azar 0° longitudinal.  M - R 80-20% 75-25% 70-30%	-Observación  -Medición  -Observación  -Estratificación -Peso -Volumen

*Fuente: Autor*

### 3.3.2 VARIABLE DEPENDIENTE

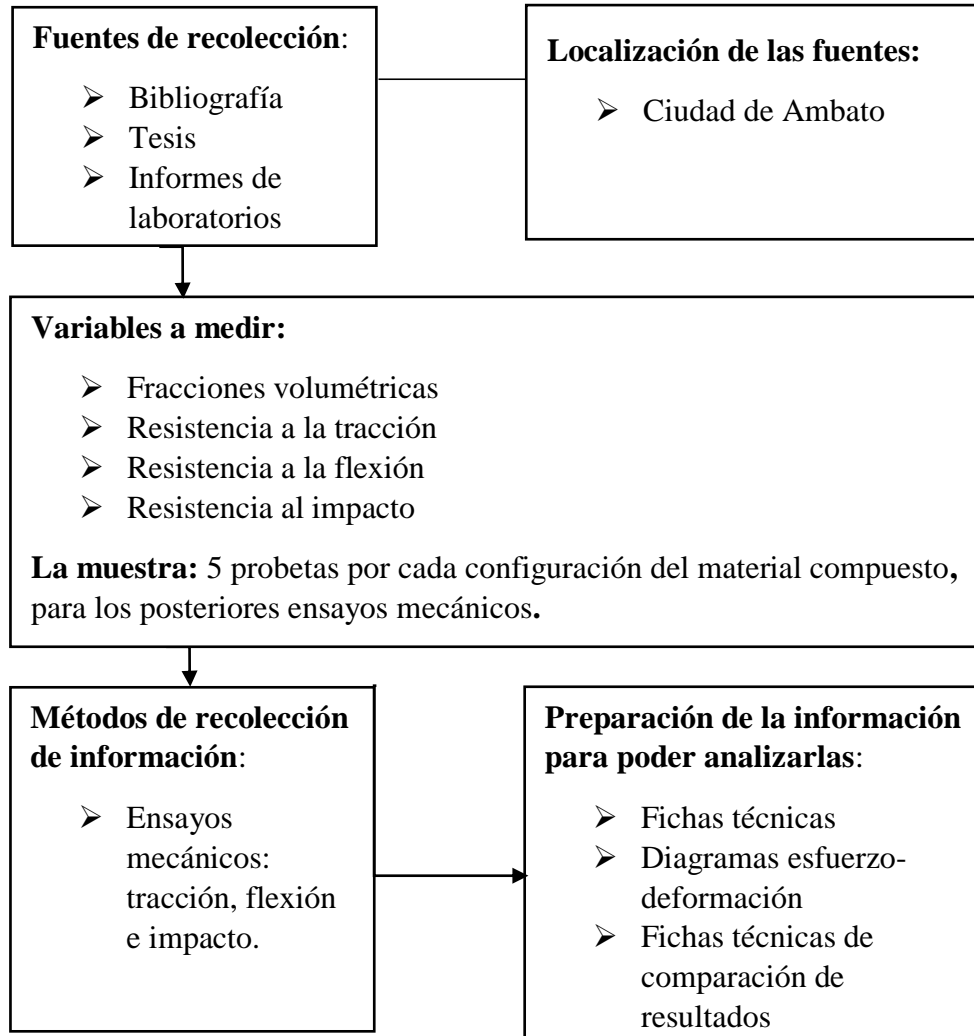
*Tabla 3. 2. Variable dependiente (Propiedades mecánicas).*

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
Propiedades mecánicas	Dependiente	La evaluación de las propiedades mecánicas para la caracterización de un material compuesto se realiza mediante ensayo destructivo. El proceso de ensayo se lo realiza tomando muestras de cada combinación posible del material compuesto con lo que posteriormente se realizan pruebas para caracterizar el comportamiento del mismo. Los ensayos que se realicen tienen que estar normalizados, existen institutos normalizadores como la ASTM, las cuales cuentan con normas para caracterización de composites.	Tracción	-Resistencia a tracción.	15 - 30 Mpa	-Normas ASTM D3039 -Registro -Estadístico
			Flexión	-Resistencia a flexión.	35 – 60 Mpa	-Normas ASTM D7264 -Registro -Estadístico
			Impacto	-Resistencia al impacto	Energía de impacto (2-4) J	-Normas ASTM D5628 -Registro -Estadístico

*Fuente: El autor*

### 3.4 PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Para la recolección de la información se implementara el siguiente plan.



*Figura 3. 1. Plan de recolección de la información.*

*Fuente: El autor*

### 3.5 PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Se tomaron los datos que se obtuvieron de los ensayos de tracción, flexión e impacto del material compuesto y se los procesara mediante:

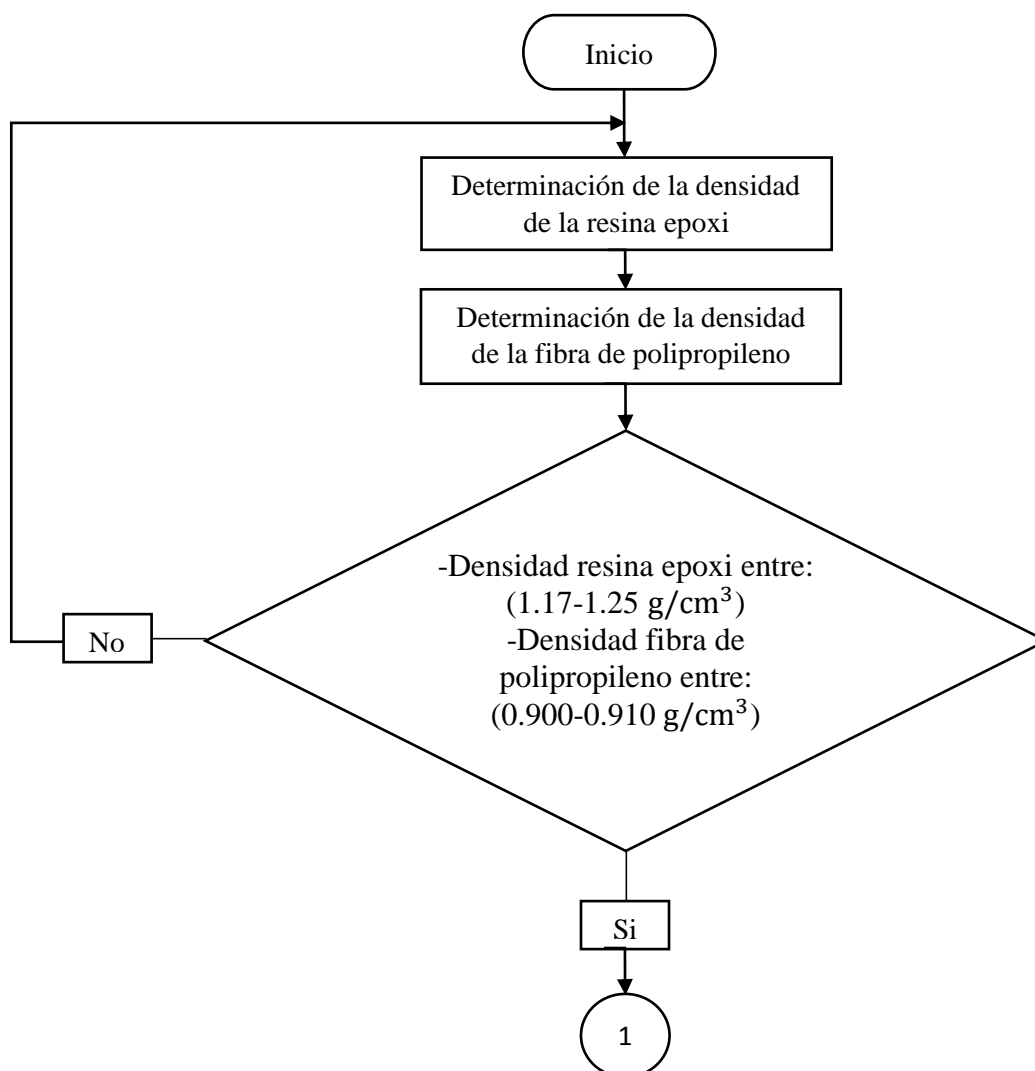
Fichas técnicas de procesado de la información. En estas fichas constan los resultados de las 5 probetas por cada ensayo, para obtener una información lo más precisa posibles. Diagramas que presenten el comportamiento mecánico del material compuesto frente a esfuerzos de tracción, flexión e impacto. Cuadros comparativos que nos permitieron determinar el material con mejores propiedades mecánicas.

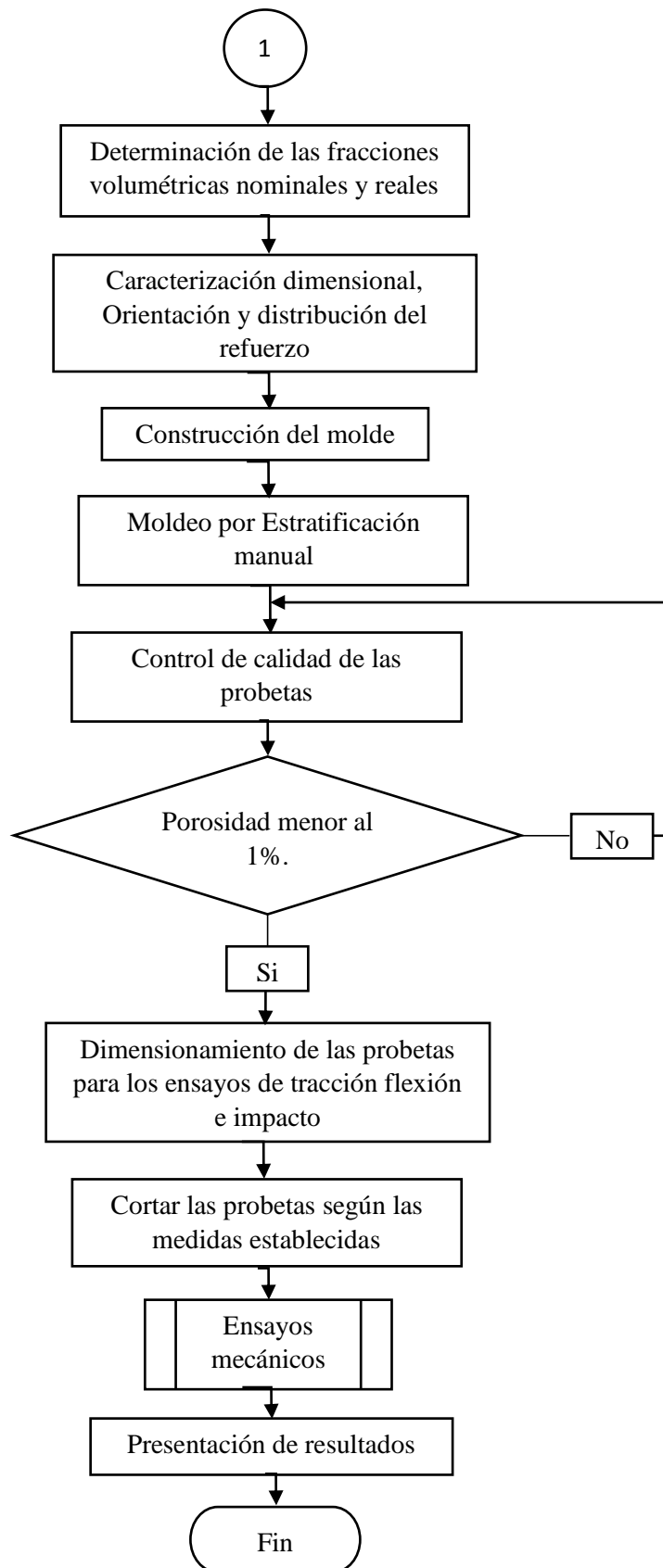
### 3.5.1 PLAN DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Una vez procesado los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos en tablas y diagramas, se procedió al análisis de los resultados mediante una tabla comparativa con ponderaciones y el método de T-student. Se analizó los esfuerzos a tracción, flexión e impacto frente a las fracciones volumétricas y las orientaciones de la fibra, con la que seleccionaremos el material con las mejores propiedades mecanizas que puedan soportar los esfuerzos para la aplicación determinada, lo que nos permitió confirmar o rechazar nuestra hipótesis.

### 3.6 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO

Para la obtención de las probetas del material compuesto (matriz epoxi+ fibra de polipropileno) se siguió el siguiente plan estratégico.





**Figura 3. 2.** Plan estratégico para la obtención de las probetas del material compuesto.  
**Fuente:** El autor



### 3.6.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA RESINA EPÓXICA

Para calcular las fracciones volumétricas tanto de la matriz como de la fibra fue importante conocer la densidad de la resina epoxi. En la ficha técnica de la resina no especifica su densidad, hecho por la que se elaboró una probeta para poder calcular la densidad de la resina, como se muestra en la tabla 3.3.

*Tabla 3. 3. Dimensiones de la probeta de resina epoxi.*

Largo (cm)	Ancho (cm)	Espesor (cm)
6.1	6.1	0.6

*Fuente: El autor*



*Figura 3. 3. Molde de madera y balanza digital.*

*Fuente: El autor*

Con las dimensiones mencionadas se calculó el volumen total de la probeta ( $22.33\text{cm}^3$ ), el volumen calculado junto con la masa de la probeta de resina epoxi catalizada (23.8 g) se obtuvo una densidad de  $1.1\text{ g/cm}^3$

### 3.6.2 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA FIBRA DE POLIPROPILENO

Para determinar la densidad de la fibra de polipropileno se utilizó en método gravimétrico. Se tomaron 3 muestras de la fibra de polipropileno las mismas que fueron pesadas, luego se tomó una cierta cantidad de agua en un vaso de precipitación posteriormente se colocó la fibra de polipropileno en el vaso de precipitación lo que produce un incremento volumétrico, una vez obtenido estos valores se utilizó la fórmula:

Densidad= masa/ volumen, con lo que se obtuvo los siguientes resultados.



**Figura 3. 4.** Cálculo del volumen de la fibra de polipropileno.

*Fuente: El autor*

El incremento volumétrico que se pudo determinar es el volumen de la fibra de polipropileno, se calculó la densidad de las tres muestras y se hizo un promedio como se muestra a continuación en la tabla 3.4.

**Tabla 3. 4.** Densidad de la fibra de polipropileno.

Muestra	Masa de la fibra (gr)	Volumen Inicial (cm <sup>3</sup> )	Volumen Final (cm <sup>3</sup> )	Incremento volumétrico (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
1	8	300	308.9	8.9	0.90
2	12	300	313.1	13.1	0.92
3	16	300	317.5	17.5	0.91
<b>Promedio densidad</b>					<b>0.91</b>

*Fuente: Autor*

### 3.6.3 DETERMINACIÓN DE LAS FRACCIONES VOLUMÉTRICA

Las fracciones volumétricas con las que se trabajó son:

- 80% de matriz (resina epoxi) y 20% refuerzo (fibra de polipropileno)
- 75% de matriz (resina epoxi) y 25% refuerzo (fibra de polipropileno)
- 70% de matriz (resina epoxi) y 30% refuerzo (fibra de polipropileno)

Se determinó la densidad del material compuesto utilizando la regla de las mezclas para materiales reforzadas con fibras.

### 3.6.4 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL COMPUESTO CON FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE MATRIZ (80%) Y REFUERZO (20%)

Como datos conocidos tenemos:

$$\rho_m = 1.1 \text{g/cm}^3$$

$$\rho_f = 0.91 \text{g/cm}^3$$

$$f_m = 80\%$$

$$f_f = 20\%$$

Calculo de la densidad del compuesto (resina epoxi +fibra de polipropileno):

$$\rho_c = 0.8 * 1.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0.2 * 0.91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_c = 1.06 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Luego se calculó el volumen de trabajo, es decir el volumen que tiene el molde, cabe mencionar que es un solo molde en las que estaban las probetas para ensayos de tracción flexión e impacto.

Datos de las dimensiones del molde:

- Largo = 43cm
- Ancho =25.6cm
- Espesor =0.3cm

$$V_{trabajo} = 43 * 25.6 * 0.3$$

$$V_{trabajo} = 330.24 \text{cm}^3$$

Una vez establecida las fracciones volumétricas y el volumen de trabajo, se procedió a calcular el volumen de la matriz y el peso del refuerzo necesarios.

#### **Cálculo del volumen de la matriz requerida**

Con el volumen de trabajo y la fracción volumétrica de la matriz se calculó el volumen nominal de la matriz requerida para el molde.

$$V_{trabajo} = 330.24\text{cm}^3$$

$$f_m = 80\%$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen requerido}} \times \frac{100\%}{80\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 264.19\text{cm}^3$$

### **Cálculo de la masa nominal del refuerzo requerido**

Conocido el volumen de trabajo y la fracción volumétrica de la fibra se calculó la masa de la fibra requerida.

$$V_{trabajo} = 330.24\text{cm}^3$$

$$f_f = 20\%$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen requerido}} \times \frac{100\%}{20\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 66.05\text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = d * v$$

$$\text{masa requerido} = 0.91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 66.05\text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = 60.11\text{g}$$

### **3.6.5 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL COMPUESTO CON FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE MATRIZ (75%) Y REFUERZO (25%)**

Como datos conocidos tenemos:

$$\rho_m = 1.1\text{g/cm}^3$$

$$\rho_f = 0.91\text{g/cm}^3$$

$$f_m = 75\%$$

$$f_f = 25\%$$

Calculo de la densidad del compuesto (resina epoxi +fibra de polipropileno):

$$\rho_c = 0.75 * 1.1 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} + 0.25 * 0.91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_c = 1.05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

Volumen de trabajo

$$V_{trabajo} = 330.24\text{cm}^3$$

Una vez establecida las fracciones volumétricas y el volumen de trabajo, se procedió a calcular el volumen de la matriz y el peso del refuerzo necesarios.

### **Cálculo del volumen de la matriz requerida**

Con el volumen de trabajo y la fracción volumétrica de la matriz se calculó el volumen nominal de la matriz requerida para el molde.

$$V_{trabajo} = 330.24\text{cm}^3$$

$$f_m = 75\%$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen requerido}} \times \frac{100\%}{75\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 247.68\text{cm}^3$$

### **Cálculo de la masa nominal del refuerzo requerido**

Conocido el volumen de trabajo y la fracción volumétrica de la fibra se calculó la masa de la fibra requerida.

$$V_{trabajo} = 330.24\text{cm}^3$$

$$f_f = 25\%$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{\text{volumen requerido}} \times \frac{100\%}{25\%}$$

$$\text{volumen requerido} = 82.56\text{cm}^3$$

$$\text{masa requerido} = d * v$$

$$masa\ requerido = 0.91 \frac{g}{cm^3} * 82.56cm^3$$

$$masa\ requerido = 75.13g$$

### 3.6.6 CÁLCULO DE LA DENSIDAD DEL COMPUESTO CON FRACCIONES VOLUMÉTRICAS DE MATRIZ (70%) Y REFUERZO (30%)

Como datos conocidos tenemos:

$$\rho_m = 1.1g/cm^3$$

$$\rho_f = 0.91g/cm^3$$

$$f_m = 70\%$$

$$f_f = 30\%$$

Calculo de la densidad del compuesto (resina epoxi +fibra de polipropileno):

$$\rho_c = 0.7 * 1.1 \frac{g}{cm^3} + 0.3 * 0.91 \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_c = 1.04 \frac{g}{cm^3}$$

Volumen de trabajo

$$V_{trabajo} = 330.24cm^3$$

Una vez establecida las fracciones volumétricas y el volumen de trabajo, se procedió a calcular el volumen de la matriz y el peso del refuerzo necesarios.

#### Cálculo del volumen de la matriz requerida

Con el volumen de trabajo y la fracción volumétrica de la matriz se calculó el volumen nominal de la matriz requerida para el molde.

$$V_{trabajo} = 330.24cm^3$$

$$f_m = 70\%$$

$$\frac{330.24cm^3}{volumen\ requerido} \times \frac{100\%}{70\%}$$

$$volumen\ requerido = 231.17\text{cm}^3$$

### Cálculo de la masa nominal del refuerzo requerido

Conocido el volumen de trabajo y la fracción volumétrica de la fibra se calculó la masa de la fibra requerida.

$$V_{trabajo} = 330.24\text{cm}^3$$

$$f_f = 30\%$$

$$\frac{330.24\text{cm}^3}{volumen\ requerido} \times \frac{100\%}{30\%}$$

$$volumen\ requerido = 99.07\text{cm}^3$$

$$masa\ requerido = d * v$$

$$masa\ requerido = 0.91 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 99.07\text{cm}^3$$

$$masa\ requerido = 90.15\text{g}$$

Luego de calcular la masa nominal del refuerzo se calculó la masa real del refuerzo ocupado dentro del molde pequeño de madera, con lo que se verificó que la masa del refuerzo disminuyó un 20%, con este porcentaje se calculó las masas reales ocupadas para cada fracción volumétrica de refuerzo, como se muestra en la tabla 3.5.

*Tabla 3. 5. Masa de refuerzo nominal y real.*

Configuración del refuerzo	Longitud de fibra(mm)	Densidad del compuesto (g/cm <sup>3</sup> )	Fracción volumétrica de refuerzo %	Masa de refuerzo requerido (g)	
				Nominal	Real
Fibra corta	10	1.04	30	90.15	72.12
		1.05	25	75.13	60.10
		1.06	20	60.11	48.10
Fibra larga	54	1.04	30	90.15	72.12
		1.05	25	75.13	60.10
		1.06	20	60.11	48.10

*Fuente: El Autor*

### 3.6.7 CARACTERIZACIÓN DIMENSIONAL ORIENTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA FIBRA

En cuanto a la longitud de la fibra, según la revisión bibliográfica de investigaciones anteriores se considera fibras cortas aquellas que están entre 5 y 10 mm de longitud, mientras que las fibras mayores a estas longitudes se considerarían fibras largas o continuas.

En nuestro caso se utilizó fibras cortas de 10mm y fibras continuas de 54mm de longitud que son las medidas máximas con las que viene fabricada las fibras de polipropileno.

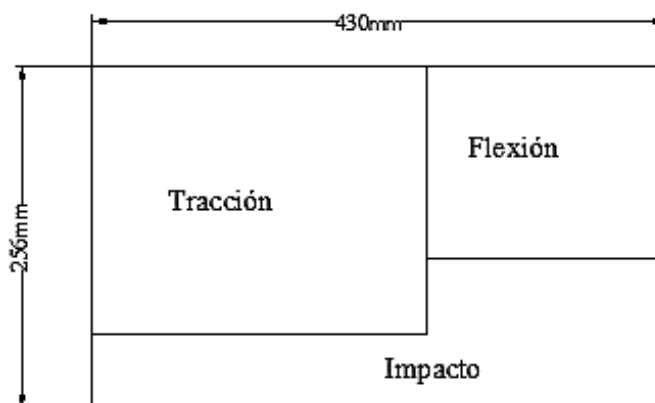
*Tabla 3. 6. Dimensión, orientación y distribución de la fibra de polipropileno.*

Refuerzo	Distribución	Longitud de fibra (mm)	Fracciones volumétricas (%)	
			Matriz	Refuerzo
fibra corta	al azar	10	80	20
			75	25
			70	30
fibra continua	alineadas longitudinalmente	54	80	20
			75	25
			70	30

*Fuente: El Autor*

### 3.6.8 CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE

Para la el dimensionamiento del molde se tomó en cuenta el número de probetas que se necesita por cada ensayo mecánico, en este caso serán 5 probetas por cada ensayo mecánico, con lo cual las dimensiones del molde en las que estarán distribuidas las probetas es (430mmx256mmx0.3mm).

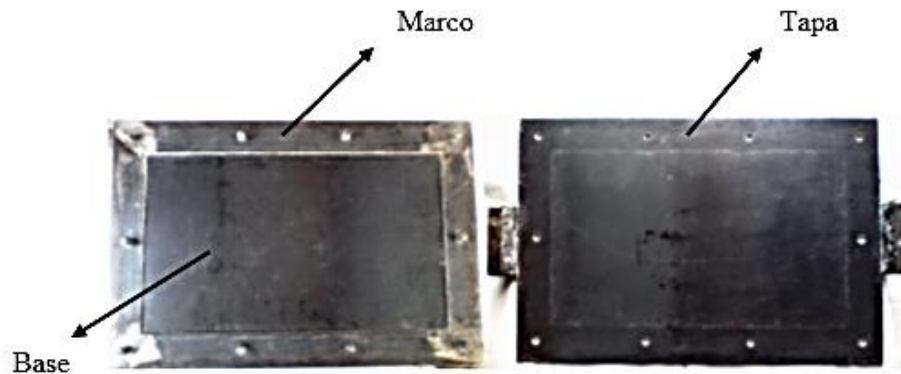


*Figura 3. 5. Distribución de las probetas en el molde.*

*Fuente: El Autor*



Las partes de las que consta el molde es la base el marco y la tapa las cuales están construidas de acero ASTM A-36



*Figura 3. 6. Distribución de las probetas en el molde.  
Fuente: El autor*

### **3.6.9 MOLDEO POR ESTRATIFICACIÓN MANUAL**

Una vez construido el molde y establecido las fracciones volumétricas es decir la masa de fibra de polipropileno que se va utilizar y el volumen tanto de la resina epoxi como del catalizador, se procede a elaborar las probetas para los ensayos mecánicos posteriores.

Para poder elaborar las probetas se siguió un procedimiento establecido que a continuación está detallado:

#### **Preparación de la fibra de polipropileno**

En este caso se procedió a cortar la fibra con las medidas antes establecidas (10mm), para luego pesar según las masas reales ya determinadas.



*Figura 3. 7. Fibra de polipropileno pesada.  
Fuente: El autor*

## Preparación del molde

Luego de cortar y pesar la fibra se procedió a preparar el molde, esto consiste en limpiar el molde y la tapa para que pueda estar libre de impurezas.



*Figura 3. 8. Molde limpio  
Fuente: El autor*

Luego se procede a colocar tres capas de cera desmoldante , siempre y cuando el molde sea nuevo, caso contrario se coloca solo una capa de cera, como se muestra en la figura 3.8.



*Figura 3. 9. Aplicación de una capa de cera desmoldante.  
Fuente: El autor*

Posteriormente se colocó una capa de alcohol poli vinílico con esto aseguramos que la probeta no se pegue en el molde, como se muestra en las figuras 3.9-3.10.



*Figura 3. 10. Alcohol poli vinílico.  
Fuente: El autor*



*Figura 3. 11. Colocación de una capa de alcohol poli vinílico en el molde y en la tapa.  
Fuente: El autor*

**Preparación de la mezcla (resina epoxi y catalizador):** En este caso se utilizó un vaso de precipitación para medir la resina epoxi y se utilizó una jeringuilla para medir el catalizador, como se muestra en la figura 3.11-3.12.



*Figura 3. 12. Resina epoxi y endurecedor.  
Fuente: El autor*



*Figura 3. 13. Vaso de precipitación y jeringuilla.  
Fuente: El autor*

Para que la mezcla sea óptima se utilizó un 35% de catalizador con respecto al volumen de la resina epoxi que se necesita para cada configuración del material, estos valores están detallan a continuación en la tabla 3.7.

*Tabla 3. 7. Porcentaje de catalizador utilizado en la mezcla del material compuesto.*

Longitud de fibra (mm)	Fracciones volumétricas (%)		Masa de refuerzo requerido(g)		Volumen de matriz requerido(cm <sup>3</sup> )	Volumen de catalizador 35% de la matriz (cm <sup>3</sup> )
	Matriz	Refuerzo	Nominal	Real		
10	70	30	90.15	72.12	231.17	81.00
	75	25	75.13	60.10	247.68	86.70
	80	20	60.11	48.10	264.19	92.50
54	70	30	90.15	72.12	231.17	81.00
	75	25	75.13	60.10	247.68	86.70
	80	20	60.11	48.10	264.19	92.50

*Fuente: El autor*

Luego de medir la resina epóxica y el catalizador se procede a mezclar los dos componentes, como se muestra en la figura 3.14.

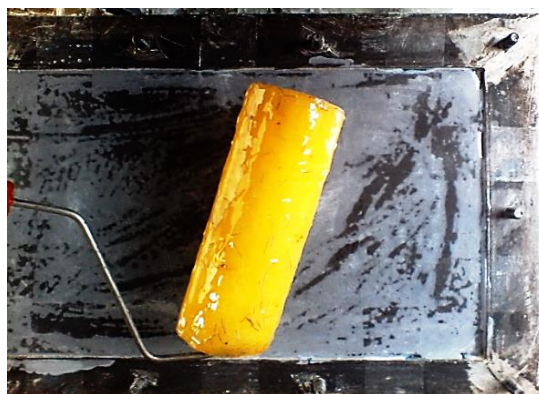


*Figura 3. 14. Mescla de la resina epoxi con el endurecedor.*

*Fuente: El autor*

### **Colocación de la matriz y el refuerzo en el molde**

Primero se vertió una capa de resina y se lo disperso con un rodillo para que salga las burbujas de aire atrapados en la mezcla, con lo cual evitaremos que se produzca porosidad en el material compuesto, como se muestra en la figura 3.15.



*Figura 3. 15. Dispersión de la resina con el rodillo para sacar las burbujas de aire.*

*Fuente: El autor*

Luego se colocó la fibra de polipropileno y se pasó nuevamente el rodillo para sacar alguna burbuja de aire atrapado.



*Figura 3. 16. Colocación de la fibra en el molde.  
Fuente: El autor*

Por último se vertió la última capa de resina sin olvidarnos de usar el rodillo para presionar y sacar el aire atrapado en el compuesto.

### **Sellado del molde**

Luego que se ha colocado la resina y la fibra en el molde se procede a sellar colocando la tapa del molde y lo atornillamos, como se muestra en la figura 3.17.



*Figura 3. 17. Molde cerrado.  
Fuente: El autor*

### **Extracción del material compuesto del molde**

Finalmente luego de haber dejado curar por el lapso de 24 horas, se procede a retirar el material compuesto del molde con mucho cuidado.







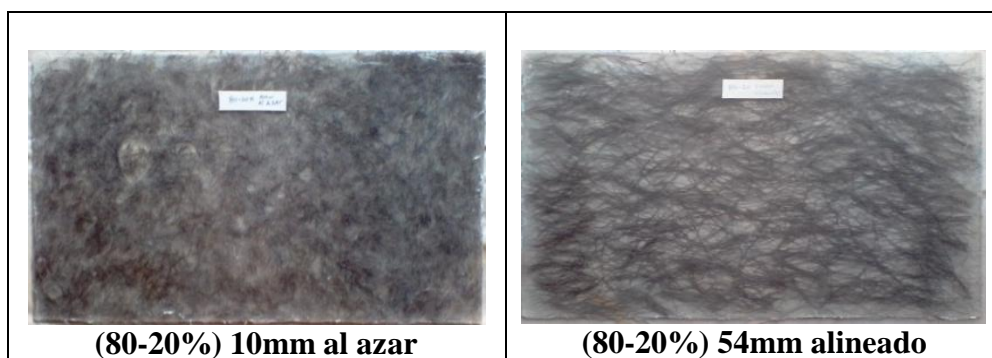
**Figura 3. 18.** Material compuesto curado listo para sacarlo.  
*Fuente: El autor*

### 3.6.10 CONTROL DE CALIDAD DE DEL MATERIAL COMPUESTO

Para el control de calidad se procedió hacer una inspección visual, que nos permitirá identificar vacíos o porosidades que estén en el material las cuales serían perjudiciales ya que alterarían los datos de los ensayos mecánicos realizados. El porcentaje de defectos aceptables es el 1%, como se muestra en la tabla 3.8.

**Tabla 3. 8.** Control de calidad de las probetas del material compuesto.

 <p><b>(70-30 %) 10mm al azar</b></p>	 <p><b>(70-30 %) 54mm alineado</b></p>
 <p><b>(75-25%) 10mm al azar</b></p>	 <p><b>(75-25%) 54mm alineado</b></p>



Fuente: El autor

Utilizando una inspección visual se verifico que el material compuesto no tener ninguna falla de consideración por lo cual gese pasa el control de calidad.

### 3.6.11 DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROBETAS PARA LOS ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO.

El dimensionamiento de las probetas para los diferentes ensayos mecánicos se los realizo según las normas ASTM y encuentra detallado en las tablas 3.9; 3.10; 3.11.

Tabla 3. 9. Dimensionamiento de probetas para el ensayo a Tracción según la norma ASTM D3039.

Configuración	% porcentaje aproximado de refuerzo	Número de probetas	Ensayos	Dimensión (mm)
Fibra corta	30	5	Tracción	25x250x3.45
	25	5	Tracción	25x250x3.45
	20	5	Tracción	25x250x3.45
Fibra larga	30	5	Tracción	25x250x3.45
	25	5	Tracción	25x250x3.45
	20	5	Tracción	25x250x3.45

Fuente: El autor

Tabla 3. 10. Dimensionamiento de probetas para el ensayo a flexión según la norma ASTM D7264.

Configuración	% porcentaje aproximado de refuerzo	Número de probetas	Ensayos	Dimensión (mm)
Fibra corta	20	5	Flexión	13x160x3.45
	25	5	Flexión	13x160x3.45
Fibra larga	20	5	Flexión	13x160x3.45
	30	5	Flexión	13x160x3.45

Fuente: El autor

*Tabla 3. 11. Dimensionamiento de probetas para el ensayo a impacto según la norma ASTM D5628.*

Configuración	% porcentaje aproximado de refuerzo	Número de probetas	Ensayos	Dimensión (mm)
Fibra corta	20	6	Impacto	58x58x3.27
	25	6	Impacto	58x58x3.27
Fibra larga	20	6	Impacto	58x58x3.27
	30	6	Impacto	58x58x3.27

*Fuente: El autor*

### 3.6.12 CORTAR LAS PROBETAS SEGÚN LAS DIMENSIONES YA ESTABLECIDAS.

Luego del dimensionamiento de las probetas se procede a cortar el material compuesto para realizar los diferentes ensayos mecánicos antes mencionados. El proceso de cortado se lo realizo en una maquina láser como se observa en la figura 3.19.



*Figura 3. 19. Proceso de cortado de las probetas en una máquina láser.*

*Fuente: El autor*

Una vez cortado el material es necesario darles un código para poder identificar las características de cada una de las probetas, como se muestra a continuación un ejemplo:

#### **Código para identificar las probetas**

**T-RE25%FCPPOAZ30DC-1**

Dónde:

**T**= ensayo de tracción

**RE**= resina epoxi

**25%FCPP**= porcentaje de la fibra corta de polipropileno



**OAZ**= orientación de la fibra al azar

**30DC**= 30 días de curado

**1**= número de la probeta ensayada

En ocasiones este código debe ser cambiado en la letra inicial dependiendo de que ensayo mecánico que se esté realizado (T= Tracción, F= Flexión, I=Impacto), además de los días de curado del material y la dimensión de la fibra es decir si es fibra larga o corta (FC, FL).

### PROBETAS PARA ENSAYOS A TRACCIÓN

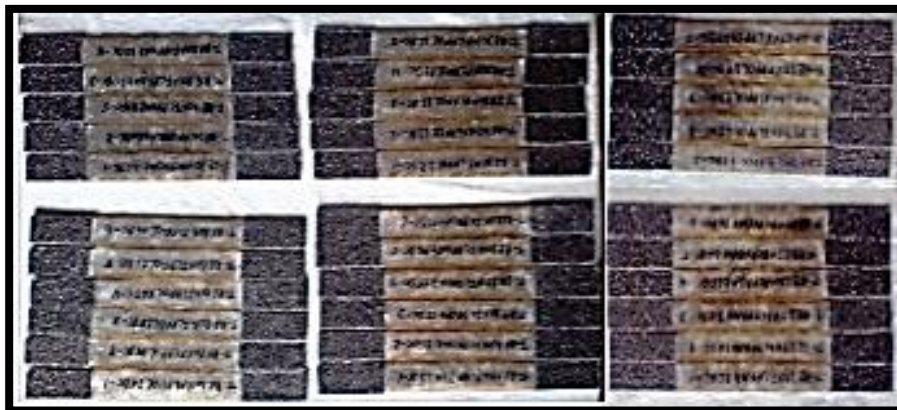


Figura 3. 20. Probetas para ensayos a tracción.  
Fuente: El autor

### PROBETAS PARA ENSAYOS A FLEXIÓN



Figura 3. 21. Probetas para ensayos a flexión.  
Fuente: El autor

## PROBETAS PARA ENSAYOS A IMPACTO



*Figura 3. 22. Probetas para ensayos a impacto.  
Fuente: El autor*

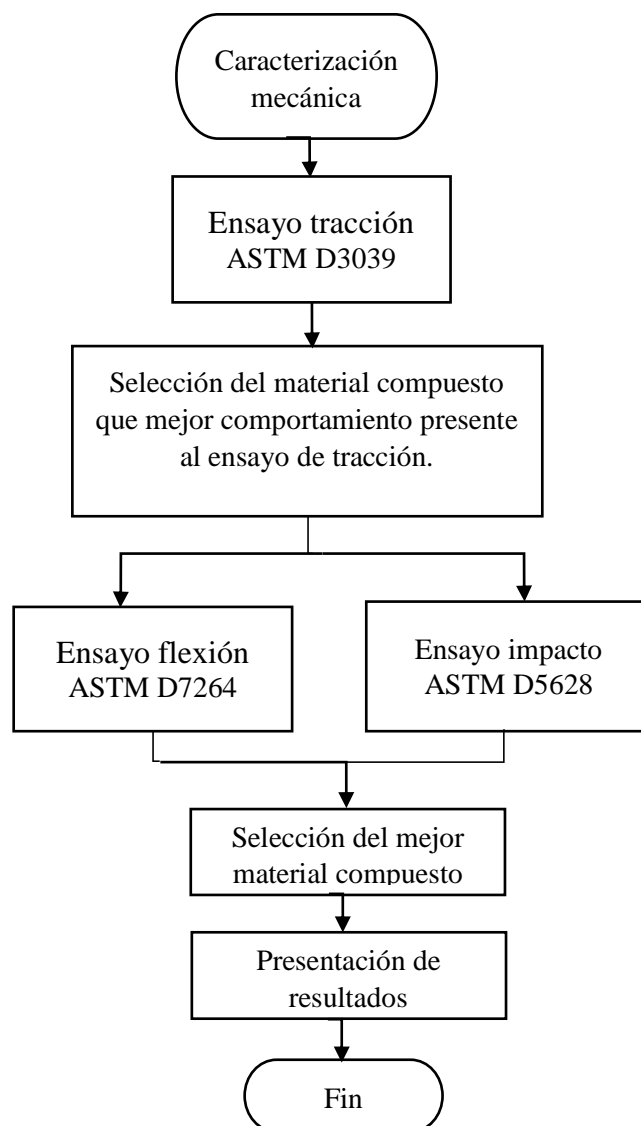
## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

#### 4.2 CARACTERIZACIÓN MECÁNICA

Para poder realizar la caracterización mecánica del material compuesto (resina epoxi+ fibra de polipropileno) se siguió el siguiente plan estratégico.



*Figura 4. 1. Plan estratégico para la caracterización mecánica del material compuesto.*

*Fuente: El autor*

### 4.2.1 ENSAYO A TRACCIÓN

El ensayo a tracción y flexión fue realizado en el Centro de Fomento Carrocero Metal Mecánico de la provincia de Tungurahua. Se caracterizaron 5 probetas, para este ensayo se colocó sobre montas de agarre en este caso lijas de hierro colocadas en las esquinas de las probetas con la finalidad que tenga un buen agarre con las mordazas de la máquina universal.

- **ESFUERZO MÁXIMO A TRACCIÓN**

El esfuerzo máximo se obtuvo con la siguiente relación:

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Dónde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo a tracción (Mpa)

$F$  = Fuerza máxima necesaria para producir la fractura (N)

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

- **PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN**

El porcentaje de deformación se calculó con las longitudes totales de la probeta, es decir se mide la probeta antes y después del ensayo a tracción y lo multiplicamos por 100.

$$\varepsilon(\text{elongación}) = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100 \quad \text{Ec. (4.2)}$$

Dónde:

$l_f$  = longitud final (mm)

$l_i$  = longitud inicial (mm)

- **MÓDULO DE ELASTICIDAD**

El módulo de elasticidad o también llamado módulo de Young es la deformación elástica de un cuerpo, la que se la calcula con la siguiente formula.

$$E = \frac{\sigma_{max}}{\varepsilon} \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Dónde:

$\sigma_{max}$  = Esfuerzo máximo

$E$  = Elongación

- **CÁLCULO ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico de las probetas ensayadas se cálculo el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación de las muestras. Con las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n xi^2 - \bar{x}^2)}{n - 1}}$$

$$CV = \frac{S_{n-1}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Dónde:

$\bar{x}$  = Promedio

$S_{n-1}$  = Desviacion estandar

$xi$  = Ensayo realizado

CV = Coeficiente de variación

- **TIPOS DE FALLAS**

Los tipos de fallas constan de tres letras, la primera indica la forma de falla, el segundo indica la zona de la falla, y la tercera letra indica la ubicación de la falla.

*Tabla 4. 1. Tipos de fallas que se presentan en las probetas de ensayo de tracción.*

Primer letra		Segundo letra		Tercer letra	
<b>A</b>	Angular	<b>I</b>	Dentro de la empuñadura	<b>B</b>	Fondo
<b>D</b>	De laminación	<b>A</b>	Al agarre/pestaña	<b>T</b>	Superior




	de borde				
<b>G</b>	Agarre/ pestaña	<b>W</b>	<1w de agarre/pestaña	<b>L</b>	Izquierda
<b>L</b>	lateral	<b>G</b>	Zona calibrada	<b>R</b>	Derecha
<b>M(xyz)</b>	Modo múltiple	<b>M</b>	Varias áreas	<b>M</b>	Media
<b>S</b>	A lo largo partiéndose	<b>V</b>	Varios	<b>V</b>	Varios
<b>X</b>	explosivo	<b>U</b>	Desconocido	<b>U</b>	Desconocido
<b>O</b>	otros	-	-	-	-

*Fuente: El autor*

- **TABULACIÓN DE DATOS**

La tabulación de datos y el análisis de los ensayos a tracción se los realizó en las siguientes tablas técnicas.

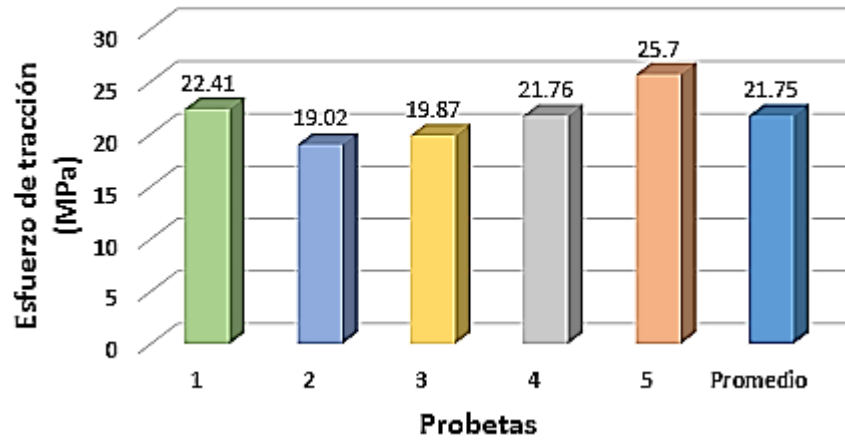
Tabla 4. 2. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C1).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				REG:T-MCFC-01	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	07-Junio-2018	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Norma:</b>	ASTM D3039		
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	80%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	20%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra Corta	<b>Longitud de fibra:</b>	10mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Al azar				
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Dimensiones:</b>	250*25*3,86 Espesor promedio (mm)				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>% de elongación</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	2066.59	22.41	974.20	2.3	AGM
2	1933.48	19.02	905.90	2.1	LAT
3	1941.88	19.87	1034.93	1.92	LAT
4	2029.33	21.76	1104.53	1.97	LAT
5	2553.86	25.70	1311.38	1.96	AGM
<b>Promedio</b>	<b>2105.02</b>	<b>21.75</b>	<b>1066.19</b>	<b>2.05</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>257.24</b>	<b>2.59</b>	<b>155.49</b>	<b>0.15</b>	-
<b>Tipos de falla evaluados</b>					
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					
					

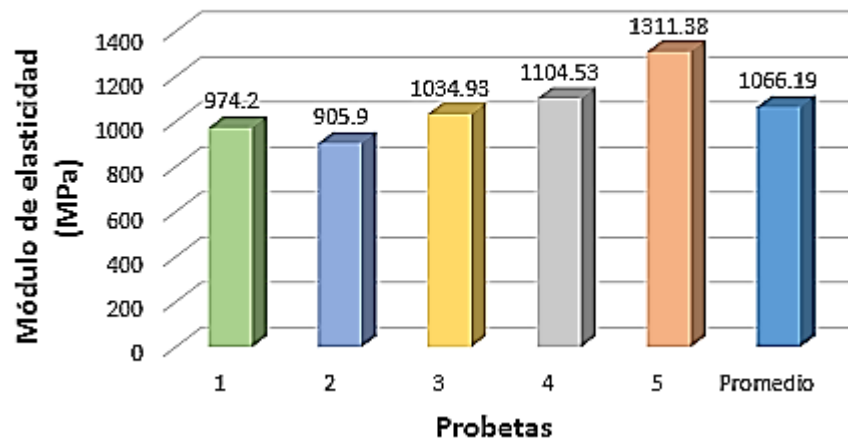
Continuación de la tabla 4.2.

Gráfica de resultados

Esfuerzo máximo de tracción (MPa)

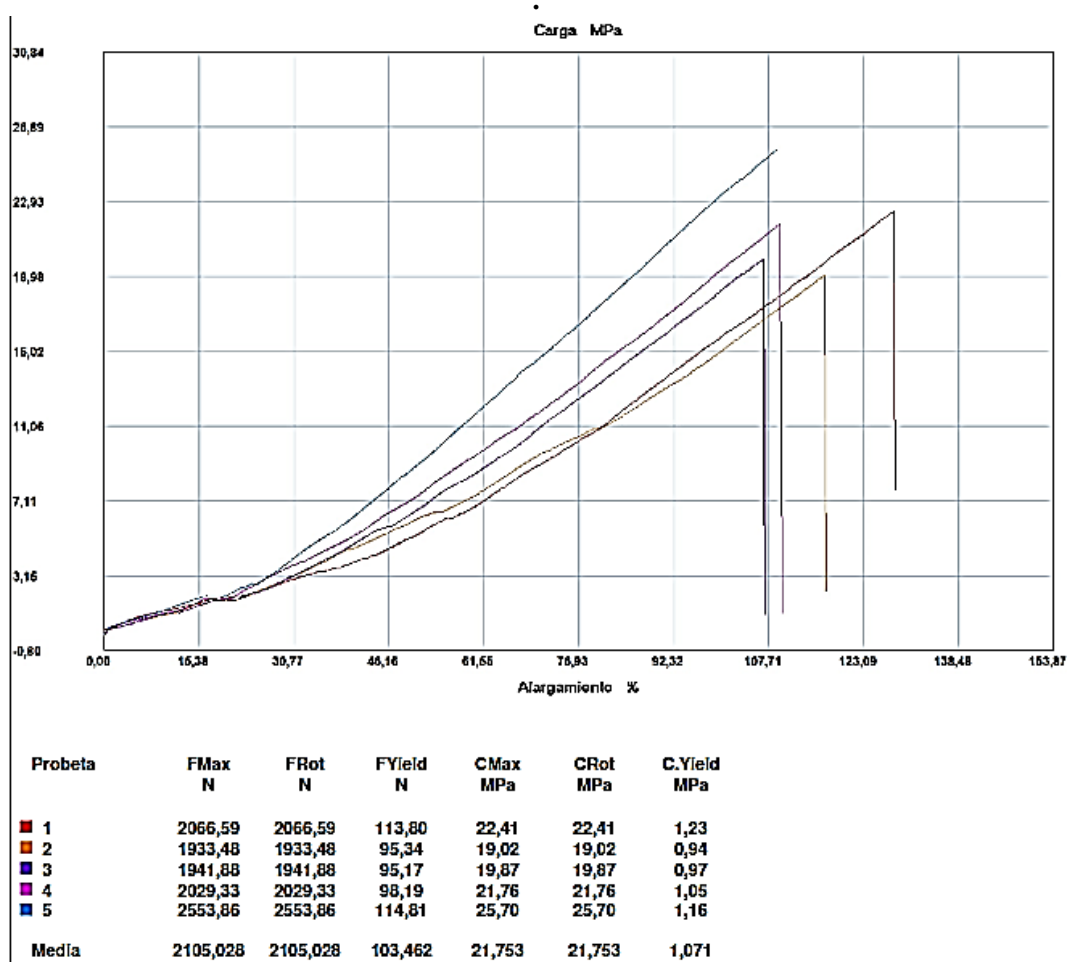


Módulo de elasticidad





Continuación de la tabla 4.2



**Observación**



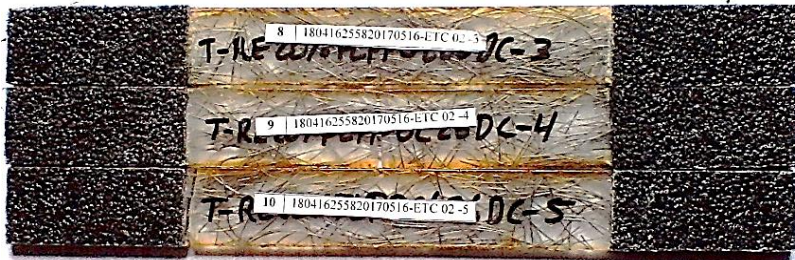
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 3 de ellas (probeta 2-3-4) presentan rotura en uno de los extremos tanto superior como inferior.

**Evaluación**

Espesor promedio = 3.86mm  
 Esfuerzo máximo promedio = 26.39 MPa  
 Módulo de elasticidad promedio = 1139.16MPa

Fuente: El autor

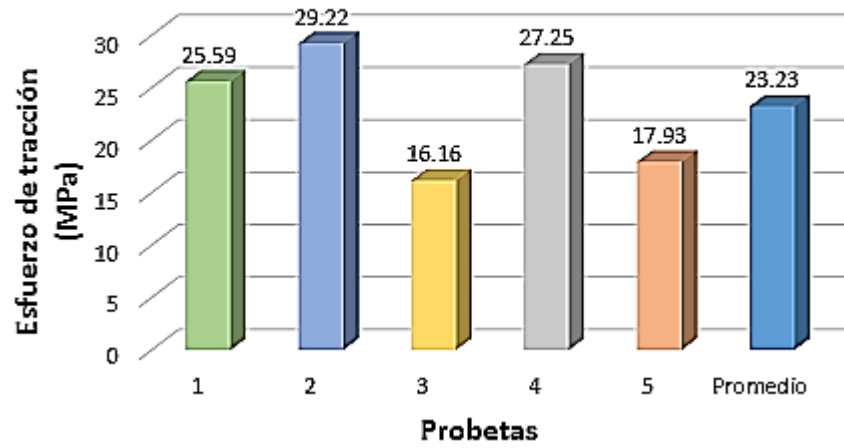
Tabla 4. 3. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C2).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				<b>REG:T-MCFL-02</b>	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	07-Junio-2018	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D3039		
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	80%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	20%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra Larga	<b>Longitud de fibra:</b>	54mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Longitudinal				
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Dimensiones:</b>	250*25*3,43 Espesor promedio (mm)				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>% de elongación</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	2152.70	25.59	1084.60	2.36	AGM
2	2448.29	29.22	1062.69	2.75	AGM
3	1404.08	16.16	908.37	1.78	LAT
4	2341.70	27.25	1190.18	2.29	AGM
5	1518.72	17.93	974.55	1.84	LAT
<b>Promedio</b>	<b>1973.09</b>	<b>23.23</b>	<b>1044.08</b>	<b>2.20</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>480.66</b>	<b>5.82</b>	<b>107.91</b>	<b>0.4</b>	-
<b>Tipos de falla evaluados</b>					
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					
					

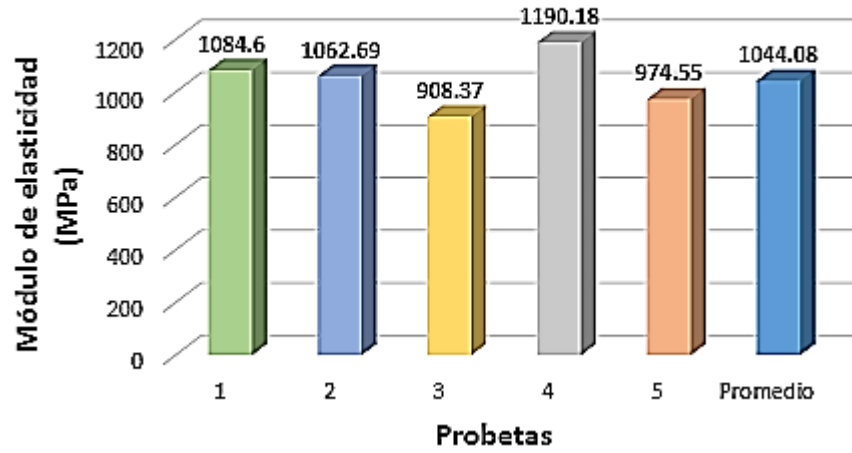
Continuación de la tabla 4.3.

Gráfica de resultados

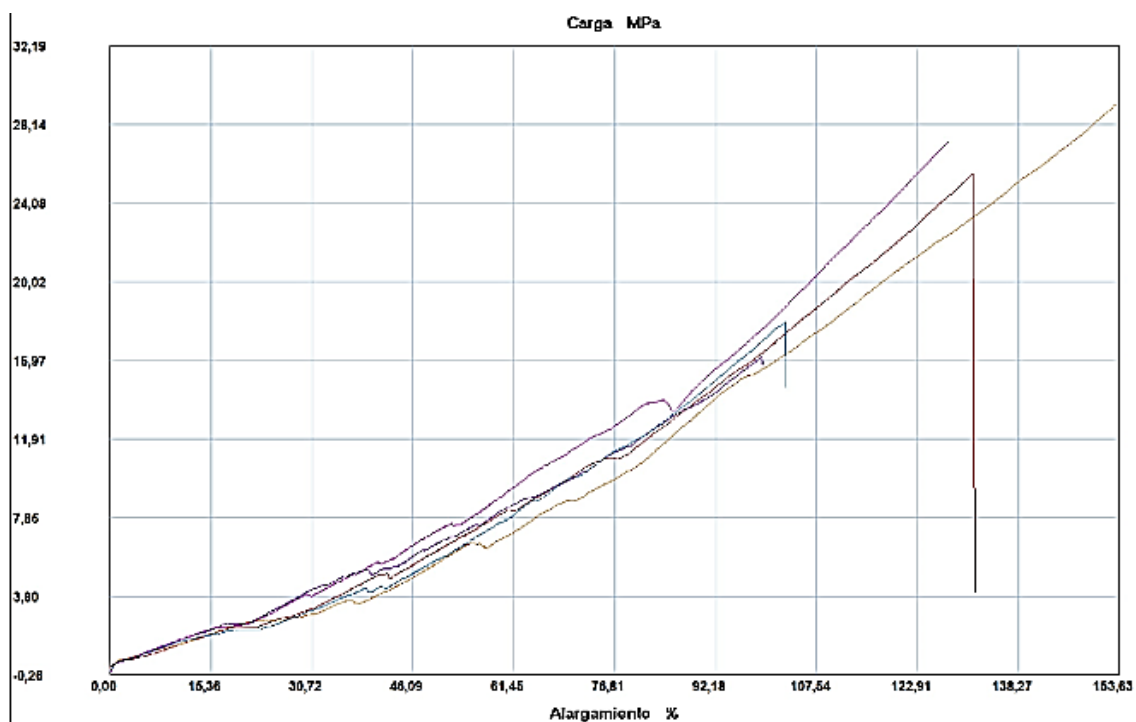
Esfuerzo máximo de tracción



Módulo de elasticidad



Continuación de la tabla 4.3.



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	2152,70	2152,70	91,65	25,60	25,60	1,09
2	2448,29	2448,29	103,06	29,22	29,22	1,23
3	1404,08	1404,08	99,20	16,17	16,17	1,14
4	2341,70	2341,70	112,29	27,26	27,26	1,31
5	1518,72	1518,72	96,18	17,93	17,93	1,14
Media	1973,098	1973,098	100,476	23,235	23,235	1,181

**Observación**

El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 2 de ellas (probeta 3-5) presenta rotura en uno de sus extremos superior e inferior.

**Evaluación**

Espesor promedio = 3.43mm  
 Esfuerzo máximo promedio = 23.23MPa  
 Módulo de elasticidad promedio = 1044.08MPa

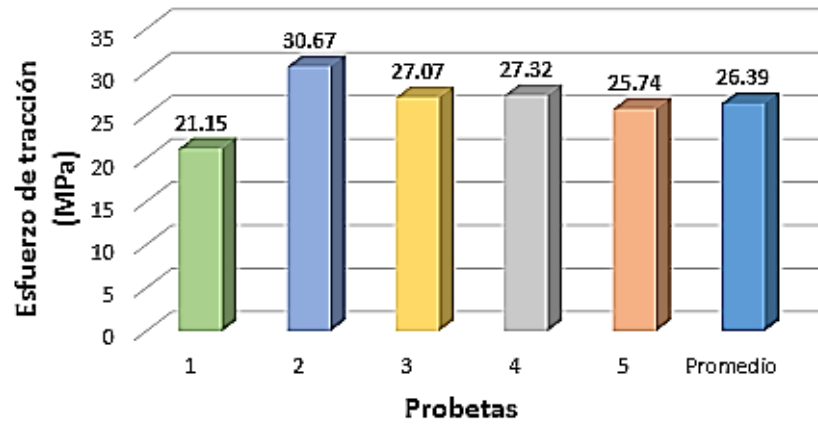
Fuente: El autor

Tabla 4. 4. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C3).

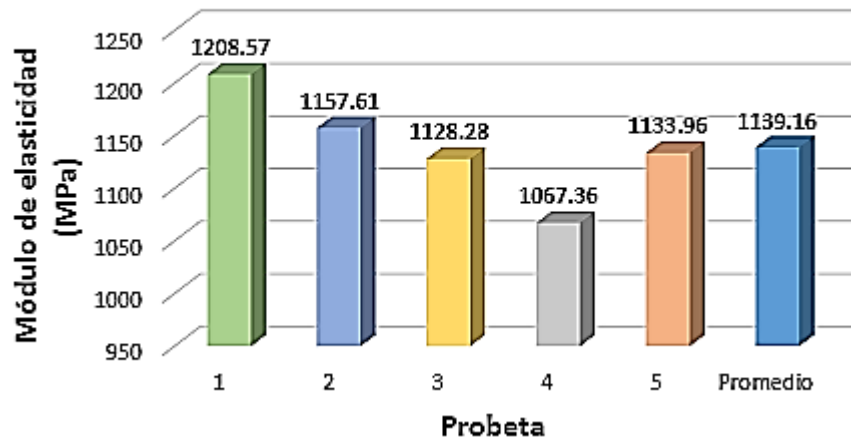
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				REG:T-MCFL-03	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	07-Junio-2018	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	TRACCIÓN	<b>Norma:</b>	ASTM D3039		
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	25%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra corta	<b>Longitud de fibra:</b>	10mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Al azar				
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Dimensiones:</b>	250*25*3,26 Espesor promedio (mm)				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039</b>					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	1626.65	21.15	1208.57	1.75	AGM
2	2641.65	30.67	1157.61	2.65	AGM
3	2229.07	27.07	1128.28	2.4	AGM
4	2287.99	27.32	1067.36	2.56	LAT
5	1985.35	25.74	1133.96	2.27	AGM
<b>Promedio</b>	<b>2154.14</b>	<b>26.39</b>	<b>1139.16</b>	<b>2.33</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>376.80</b>	<b>3.44</b>	<b>51.13</b>	<b>0.35</b>	-
<b>Tipos de falla evaluados</b>					
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					
					

*Continuación tabla 4.4.*  
**Gráfica de resultados**

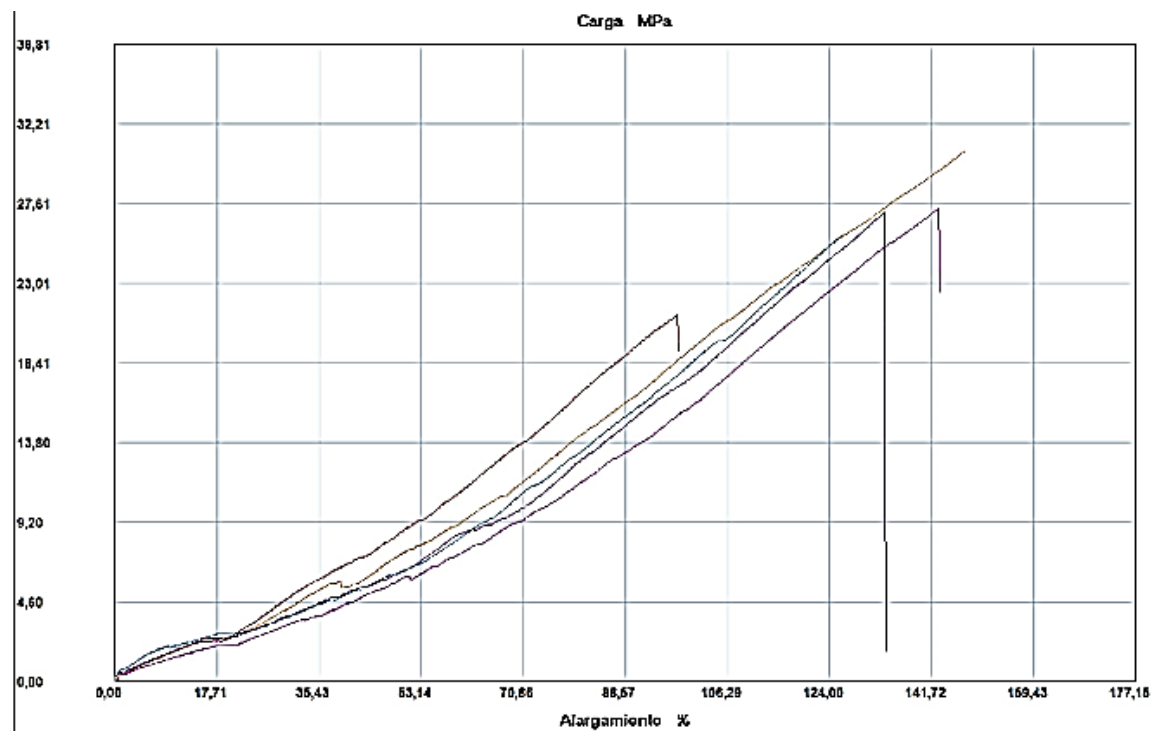
**Esfuerzo máximo de tracción**



**Módulo de elasticidad**



Continuación tabla 4.4.



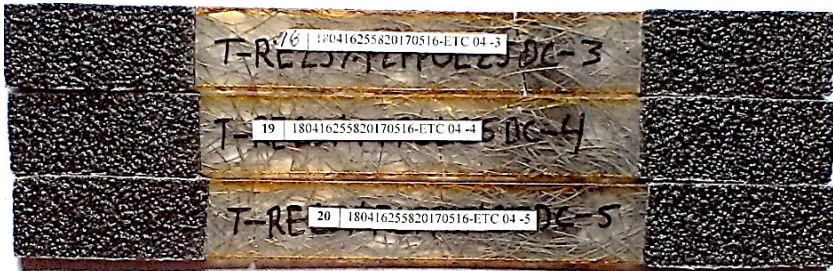


Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	1626,65	1626,65	103,73	21,15	21,15	1,35
2	2641,65	2641,65	134,45	30,68	30,68	1,56
3	2229,07	2229,07	129,58	27,08	27,08	1,57
4	2287,99	2287,99	105,08	27,32	27,32	1,25
5	1985,35	1985,35	151,91	25,74	25,74	1,97
Media	2154,142	2154,142	124,950	26,394	26,394	1,542

Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 1 de ellas (probeta 4) presenta rotura en uno de sus extremos (extremo superior).	Espesor promedio = 3.26mm Esfuerzo máximo promedio = 26.39MPa Módulo de elasticidad promedio = 1139.16MPa

Fuente: El autor

Tabla 4. 5. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C4).

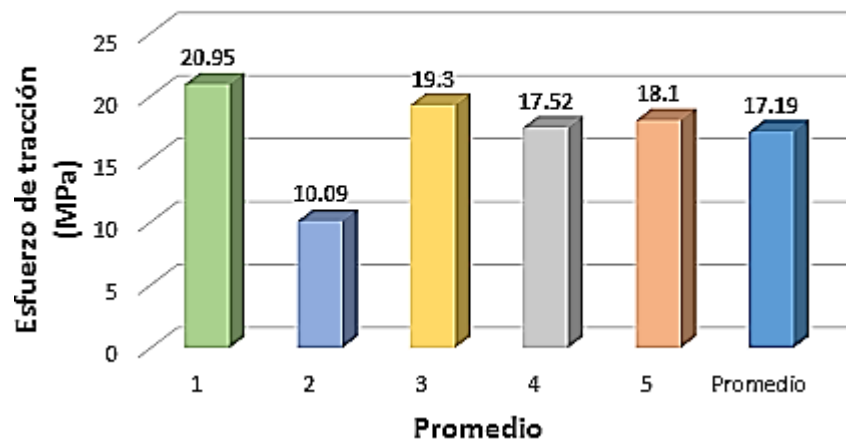
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				<b>REG:T-MCFL-04</b>	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES                  MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO                  (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	07-Junio-2018	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D3039		
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	75%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	25%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra larga	<b>Longitud de fibra:</b>	54mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Longitudinal				
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Dimensiones:</b>	250*25*3,17 Espesor promedio (mm)				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM                  D3039</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>% de elongación</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	1638.40	20.95	834.86	2.51	LAT
2	829.69	10.09	841.62	1.2	AGM
3	1530.81	19.30	1005.30	1.92	AGM
4	1304.38	17.52	1018.79	1.72	AGM
5	1450.24	18.10	830.38	2.18	LAT
<b>Promedio</b>	<b>1350.70</b>	<b>17.19</b>	<b>906.19</b>	<b>1.906</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>315.71</b>	<b>4.17</b>	<b>96.83</b>	<b>0.49</b>	-
<b>Tipos de falla evaluados</b>					
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					
					



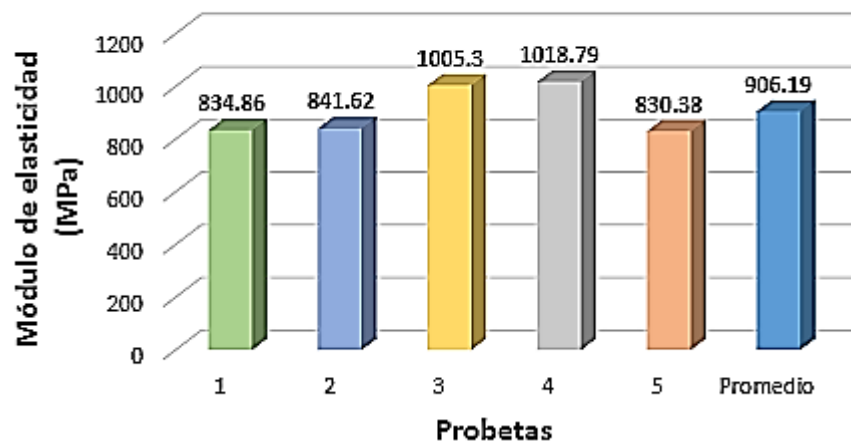
Continuación de la tabla 4.5.

Gráfica de resultados

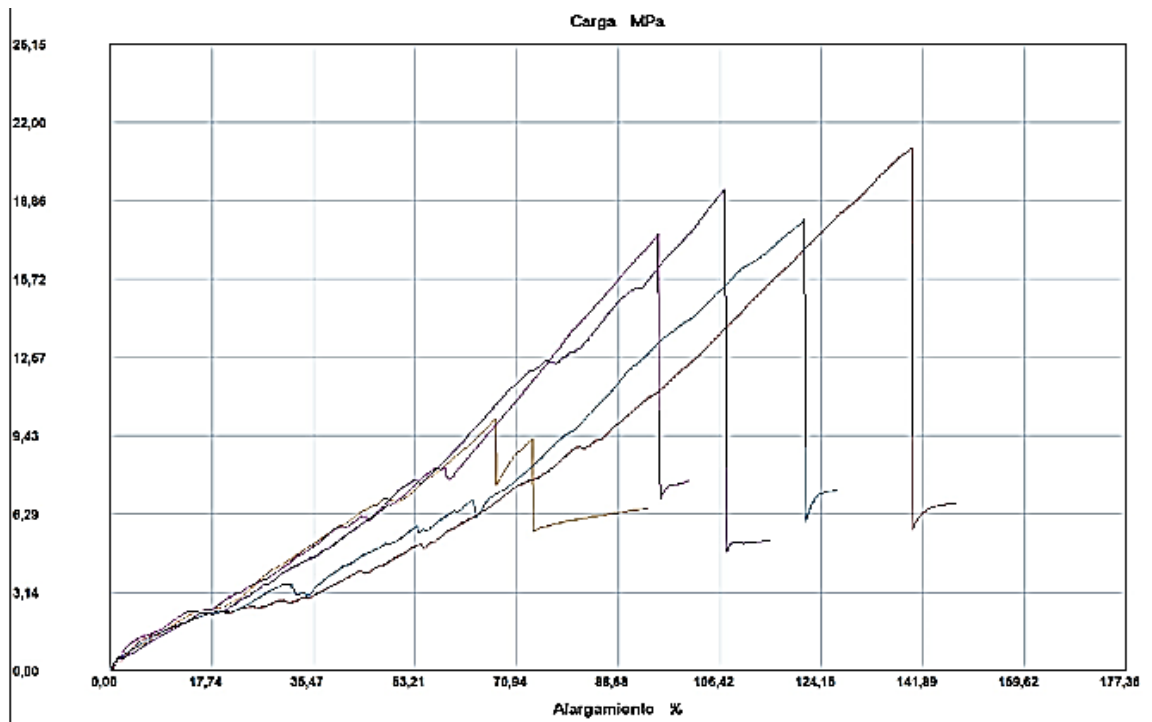
Esfuerzo máximo de tracción



Módulo de elasticidad



Continuación de la tabla 4.5.



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	1638,40	1638,40	124,04	20,96	20,96	1,59
2	829,69	824,32	107,26	10,10	10,03	1,31
3	1530,81	1530,81	104,57	19,30	19,30	1,32
4	1304,38	1304,38	114,64	17,52	17,52	1,54
5	1450,24	1450,24	122,36	18,10	18,10	1,53
Media	1350,704	1349,630	114,574	17,196	17,183	1,456

Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 2 de ellas (probeta 1-5) presenta rotura en uno de sus extremos (superior e inferior).	Espesor promedio = 3.17mm Esfuerzo máximo promedio = 17.19MPa Módulo de elasticidad promedio = 906.19MPa

Fuente: El autor

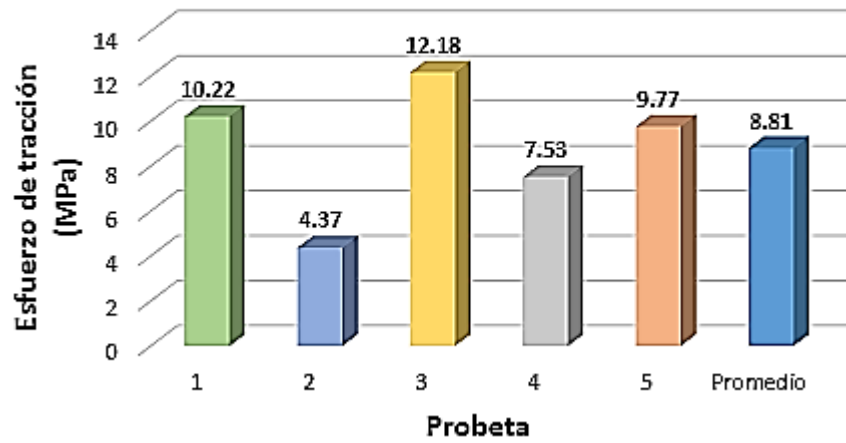
Tabla 4. 6. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C5).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
		<b>REG:T-MCFL-05</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES                  MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO                  (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	07-Junio-2018	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D3039		
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra corta	<b>Longitud de fibra:</b>	10mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Al azar				
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Dimensiones:</b>	250*25*3,42 Espesor promedio (mm)				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM                  D3039</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>% de elongación</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	857.89	10.22	774.62	1.32	LIT
2	382.37	4.37	553.35	0.79	LAT
3	988.14	12.18	982.82	1.24	LAT
4	639.35	7.53	679.62	1.08	AGM
5	858.39	9.77	775.702	1.26	LAT
<b>Promedio</b>	<b>745.22</b>	<b>8.81</b>	<b>756.82</b>	<b>1.138</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>238.42</b>	<b>2.98</b>	<b>155.44</b>	<b>0.21</b>	-
<b>Tipos de falla evaluados</b>					
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					
					

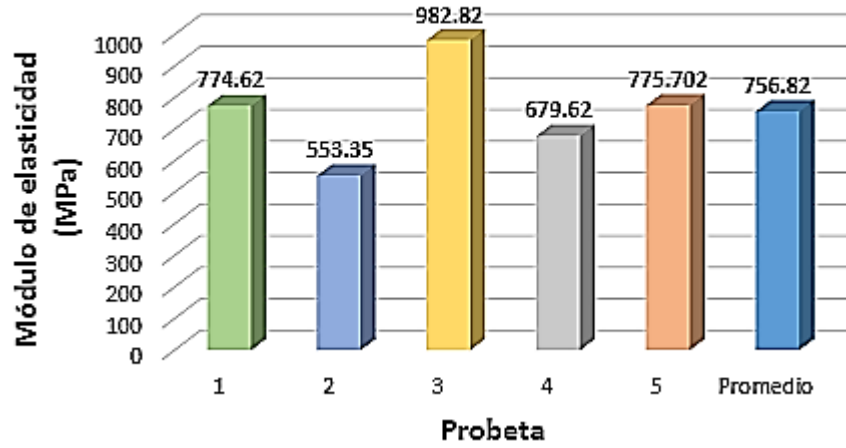
Continuación de la tabla 4.6.

Gráfica de resultados

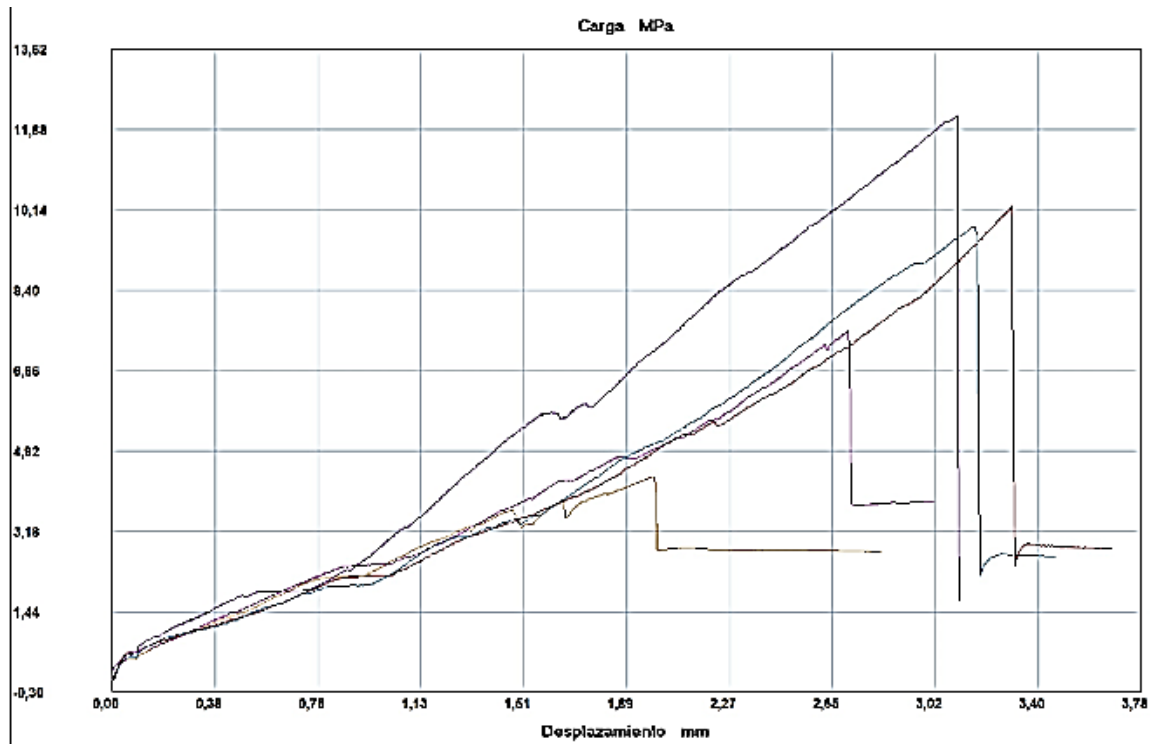
Esfuerzo máximo de tracción



Módulo de elasticidad



Continuación de la tabla 4.6.



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	857,89	857,89	97,19	10,23	10,23	1,16
2	382,37	382,20	88,96	4,37	4,37	1,02
3	988,14	988,14	110,95	12,19	12,19	1,37
4	639,35	637,84	93,33	7,53	7,52	1,10
5	858,39	858,39	97,35	9,77	9,77	1,11
Media	745,228	744,892	97,556	8,818	8,814	1,150

Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 3 de ellas (probeta 2-3-5) presenta rotura en uno de sus extremos (superior e inferior).	Espesor promedio = 3.42mm Esfuerzo máximo promedio = 8.81MPa Módulo de elasticidad promedio = 756.82MPa

Fuente: El autor

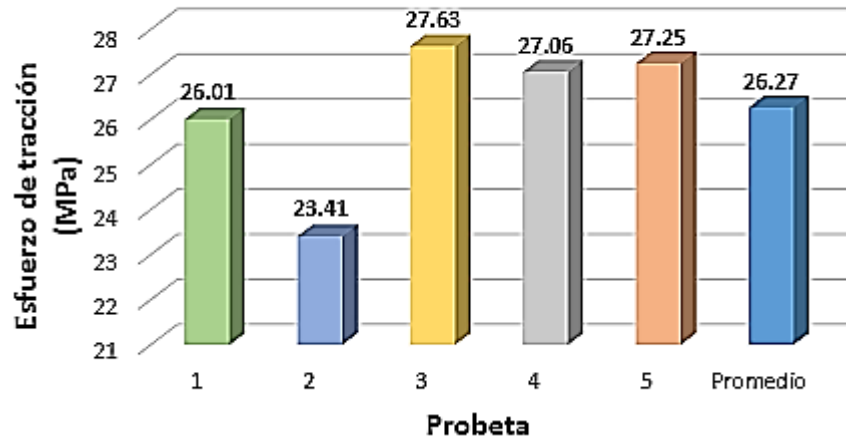
Tabla 4. 7. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción (C6).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				REG:T-MCFL-06	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	20-Junio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>TRACCIÓN</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D3039		
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra larga	<b>Longitud de fibra:</b>	54mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Longitudinal				
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5		
<b>Dimensiones:</b>	250*25*3,57 Espesor promedio (mm)				
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN BAJO LA NORMA ASTM D3039</b>					
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% de elongación	Tipo de falla
1	2324.92	26.01	1012.04	2.57	AGM
2	2038.06	23.41	992.8	2.36	AGM
3	2498.14	27.63	918.16	3.01	AGM
4	2359.83	27.06	1078.29	2.51	AGM
5	2417.91	27.25	998.34	2.73	LAT
<b>Promedio</b>	<b>2327.77</b>	<b>26.27</b>	<b>999.78</b>	<b>2.64</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>174.72</b>	<b>1.710</b>	<b>57.09</b>	<b>0.25</b>	-
<b>Tipos de falla evaluados</b>					
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
L	Lateral	I	Dentro del agarre	T	Parte superior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					
					

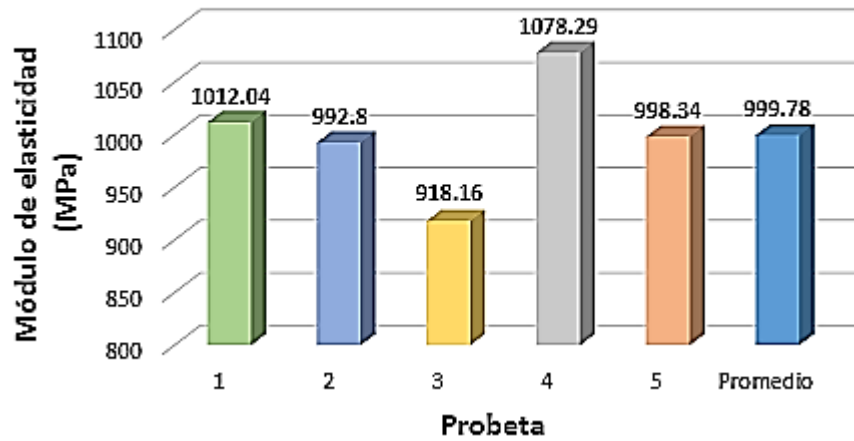
Continuación de la tabla 4.7.

Gráfica de resultados

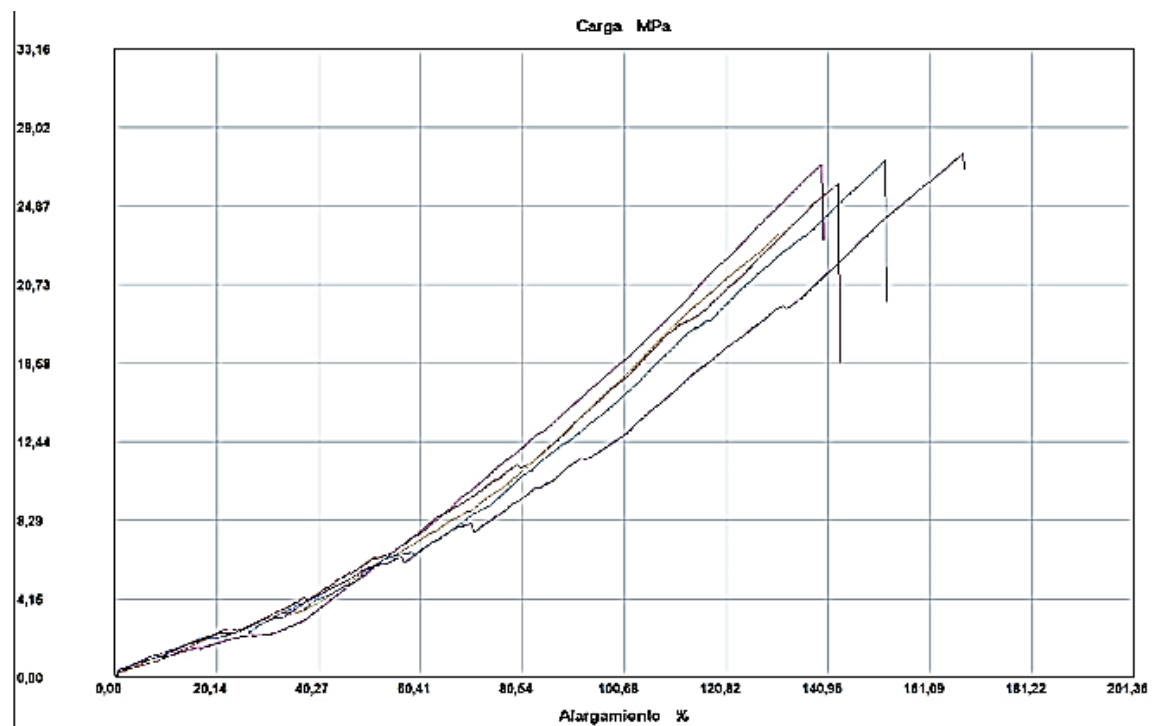
Esfuerzo máximo de tracción



Módulo de elasticidad



Continuación de la tabla 4.7.



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	2324,92	2324,92	83,93	26,01	26,01	0,94
2	2038,06	2038,06	95,00	23,41	23,41	1,09
3	2498,14	2498,14	119,01	27,64	27,64	1,32
4	2359,83	2359,83	92,65	27,07	27,07	1,06
5	2417,91	2417,91	99,20	27,25	27,25	1,12
Media	2327,772	2327,772	97,958	26,276	26,276	1,106

Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 4 de ellas (probeta 1, 2, 3, 4) presenta rotura en la zona calibrada media, y la última presenta rotura en la parte superior.	Espesor promedio = 3.57mm Esfuerzo máximo promedio = 26.27MPa Módulo de elasticidad promedio = 999.78MPa

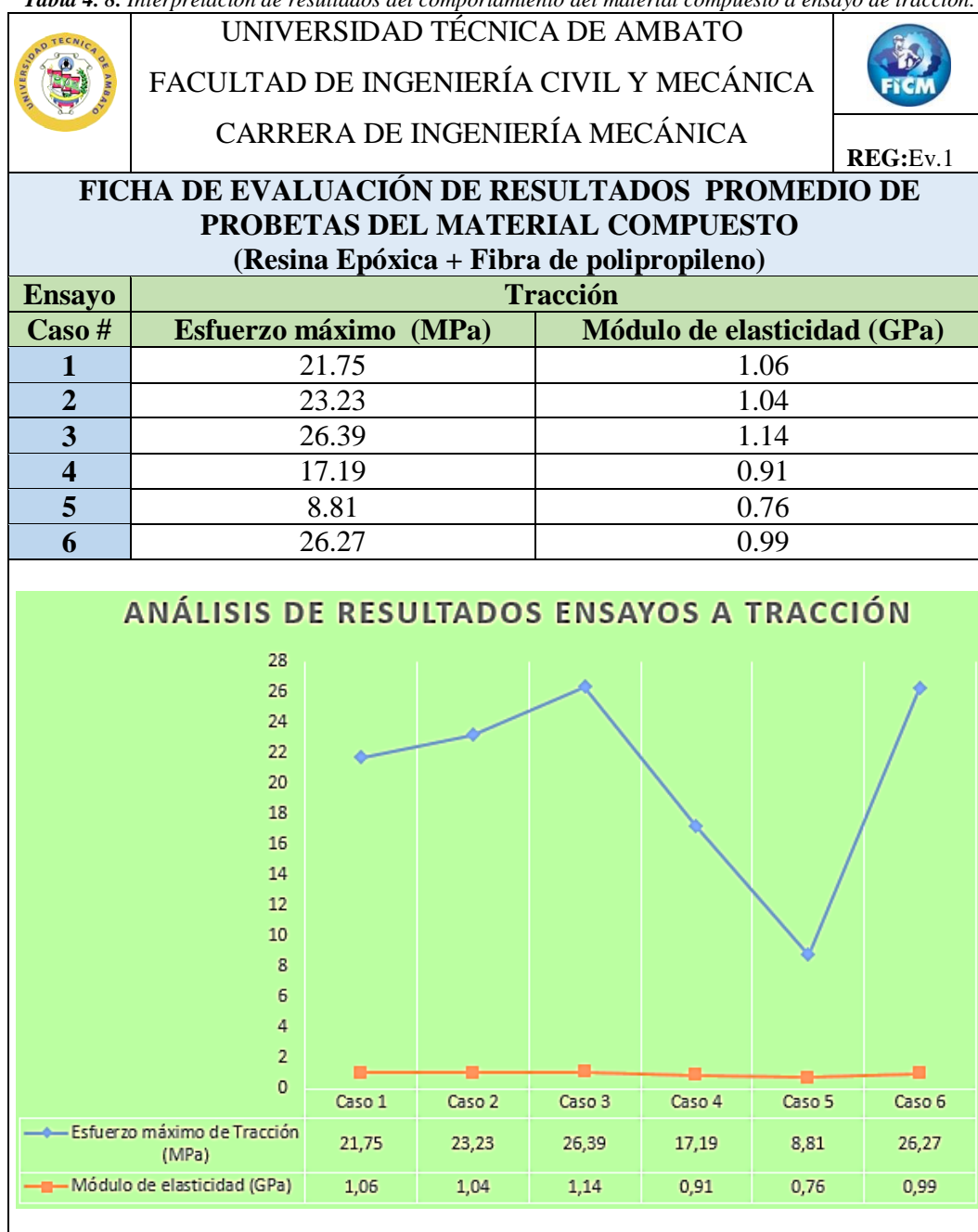
Fuente: El autor

#### 4.2.2 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A TRACCIÓN

Esta primera interpretación de resultados nos servirá para poder identificar que material compuestos con sus fracciones volumétricas y orientación de fibra presenta mejores propiedades frente a dicho ensayo, con lo cual nos permitirá identificar que material pasa a los siguientes ensayos mecánicos, como se muestra a continuación en la tabla 4.8.



**Tabla 4. 8.** Interpretación de resultados del comportamiento del material compuesto a ensayo de tracción.



*Fuente: El autor*

Como se puede observar en el gráfico de la tabla anterior existe una variación en cuanto al esfuerzo máximo de tracción, las probetas que menor esfuerzo a tracción presentan son las del caso 4 y 5 con valores inferiores a 20 Mpa, además también son los que menor módulo de elasticidad presenta con valores inferiores a 1GPa, por lo tanto estas son las probetas que se descartan para los próximos ensayos de flexión e impacto.

### 4.2.3 ENSAYO A FLEXIÓN

Para el ensayo a flexión se tomó en cuenta los materiales que mejor comportamiento presentaron en el ensayo a tracción. Las cuales fueron las probetas del grupo (1, 2, 3 y 6).

- **ESFUERZO MÁXIMO A FLEXIÓN**

El esfuerzo máximo a flexión se produce cuando se aplica una carga a una velocidad constante hasta producir una rotura, la que se calcula con la siguiente fórmula.

$$\sigma_{maxf} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Dónde:

$\sigma_{maxf}$  = esfuerzo máximo producido en la parte superior (Mpa)

$P$  = carga aplicada (N)

$L$  = longitud entre los apoyos (mm)

$b$  = ancho de la probeta ensayada (mm)

$h$  = espesor de la probeta ensayada (mm)

- **MÓDULO DE FLEXIÓN**

El módulo de flexión o también llamado módulo de elasticidad en flexión se calcula en la región elástica de la curva esfuerzo-deflexión, con la siguiente fórmula.

$$E_f = \frac{L^3 P}{4bh^3 \delta} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Dónde:

$E_f$  = módulo de flexión

$P$  = carga aplicada (N)

$L$  = longitud entre los apoyos (mm)

$b$  = ancho de la probeta ensayada (mm)

$h$  = espesor de la probeta ensayada (mm)

$\delta$  = deflexión producida al alpicar una carga (mm)

- **CÁLCULO ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico de las probetas ensayadas se cálculo el promedio, desviación estándar y el coeficiente de variación de las muestras. Con las siguientes ecuaciones:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n xi}{n}$$

$$S_{n-1} = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n xi^2 - \bar{x}^2)}{n - 1}}$$

$$CV = \frac{S_{n-1}}{\bar{x}} \cdot 100$$

Dónde:

$\bar{x}$  = Promedio

$S_{n-1}$  = Desviacion estandar

$xi$  = Ensayo realizado

CV = Coeficiente de variación

- **TIPOS DE FALLA**

Los tipos de fallas constan de tres letras, el primero indica la forma de falla, el segundo indica la zona de la falla, y la tercera letra indica la ubicación de la falla. , tal como se ve en la tabla 4.9.

*Tabla 4. 9. Códigos para identificar los tipos de fallas para ensayo de flexión.*

Primer letra		Segundo letra		Tercer letra	
<b>T</b>	Tensión	<b>A</b>	En el punto de carga	<b>T</b>	Parte superior
<b>C</b>	Compresión	<b>B</b>	Entre la carga	<b>B</b>	Fondo
<b>B</b>	Pandeo	<b>S</b>	Entre los soportes	<b>L</b>	Izquierdo
<b>S</b>	Cizalla	<b>L</b>	Entre la cara	<b>R</b>	Derecho


	interlaminar		y el punto de apoyo		
<b>M(xyz)</b>	Modo múltiple	<b>U</b>	Desconocido	<b>M</b>	Medio
<b>O</b>	otros			<b>V</b>	Varios
				<b>U</b>	desconocido

*Fuente: El autor*

- **TABULACIÓN DE DATOS**

La tabulación de resultados luego del ensayo a flexión del material se los realizo mediante la elaboración de fichas técnicas como se muestra a continuación:

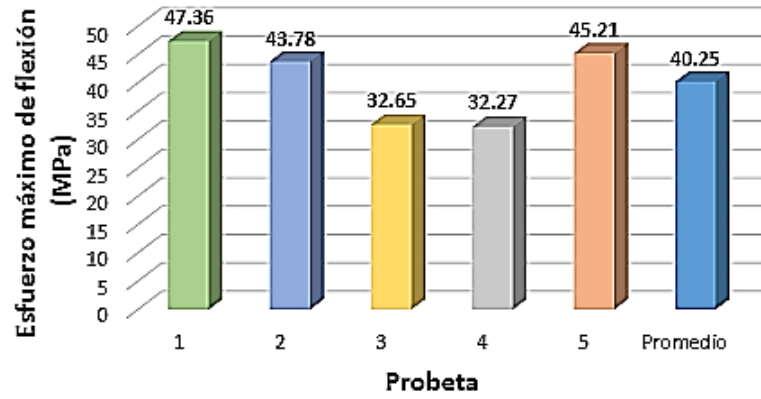
Tabla 4. 10. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C1).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
						REG:F-MCFL-01
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>						
<b>Fecha:</b>	10-Julio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato			
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D7264			
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	80%			
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	20%			
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra corta	<b>Longitud de fibra:</b>	10mm			
<b>Distribución de fibra</b>	Al azar					
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5			
<b>Dimensiones:</b>	160*13*3,51 Espesor promedio (mm)					
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM D7264</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad de flexión (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Deformación máxima %</b>	<b>Tipo de falla</b>
1	43.47	47.36	930.15	29.68	5.09	OAB
2	42.13	43.78	944.83	26.39	4.63	OAB
3	30.55	32.65	1139.17	16.47	2.87	OAB
4	30.55	32.27	1012.90	18.30	3.19	OAB
5	43.31	45.21	819.12	31.71	5.52	OLV
<b>Promedio</b>	<b>38.00</b>	<b>40.25</b>	<b>969.23</b>	<b>24.51</b>	<b>4.26</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>6.82</b>	<b>7.23</b>	<b>117.73</b>	<b>6.81</b>	<b>1.17</b>	-
<b>Tipos de fallas evaluados</b>						
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>		
<b>O</b>	Otros	<b>A</b>	En el punto de carga	<b>B</b>	Fondo	
<b>O</b>	Otros	<b>L</b>	Entre la carga y el punto de apoyo	<b>V</b>	Varios	
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>						
						

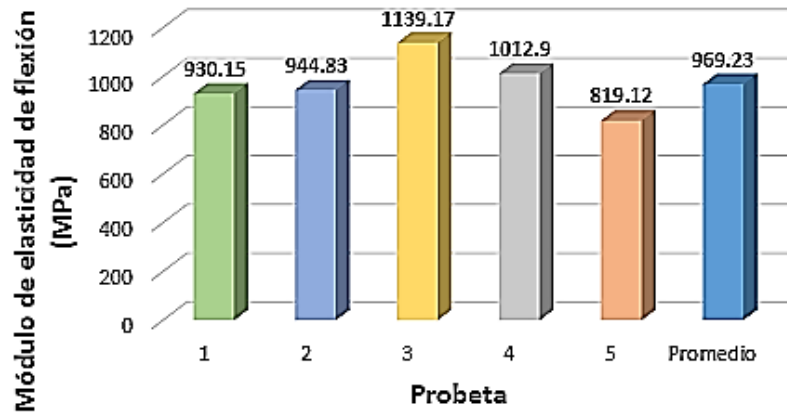
Continuación de la tabla 4.10.

Gráfica de resultados

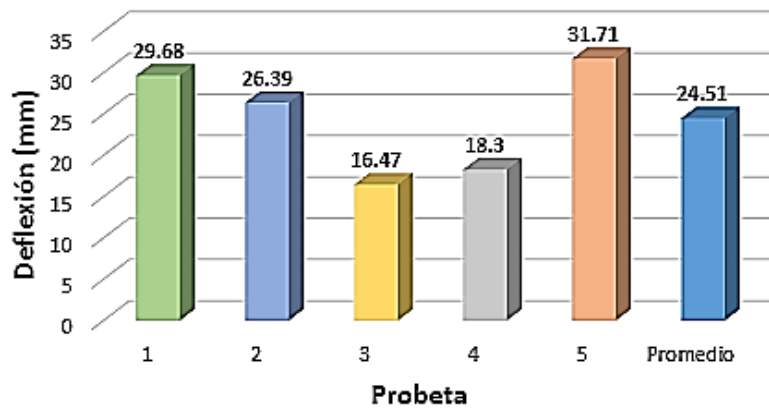
Esfuerzo máximo de flexión



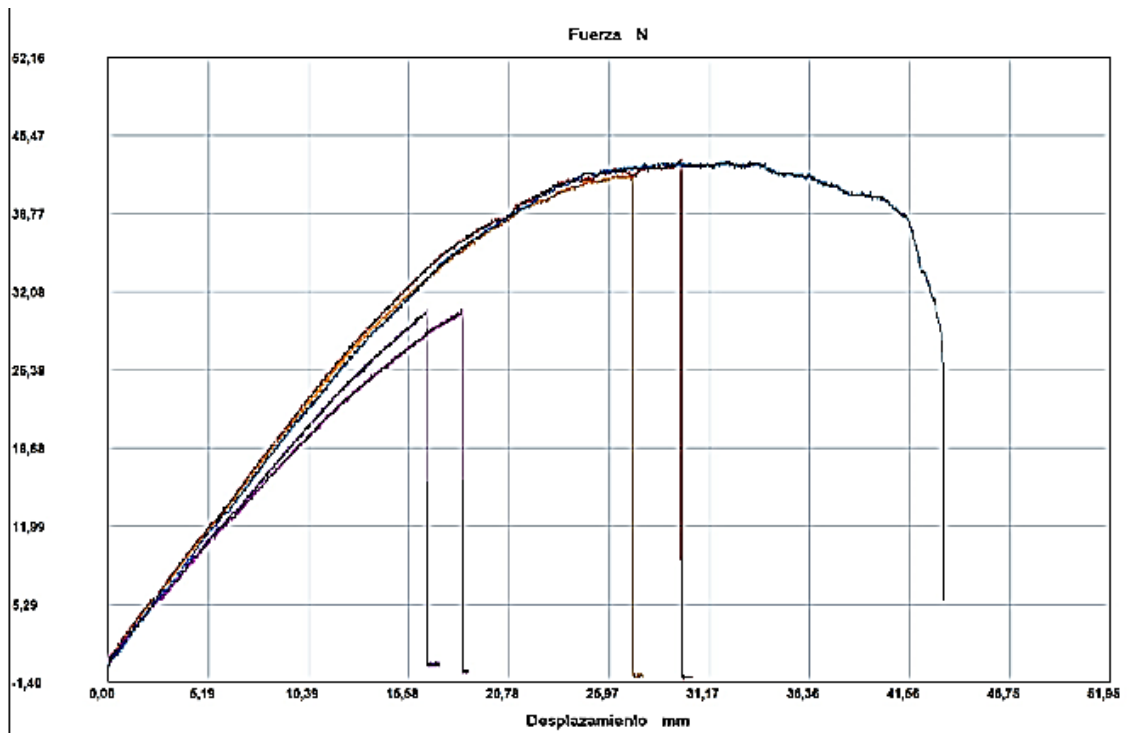
Módulo de elasticidad de flexión



Deflexión



Continuación de la tabla 4.10.






Probeta	FMax N
1	43,47
2	42,13
3	30,55
4	30,55
5	43,31
Media	38,002

Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 1 de ellas (probeta 5) presenta rotura en la zona entre la carga y el punto de apoyo.	Espesor promedio = 3.51mm Esfuerzo máximo promedio = 40.25MPa Módulo de elasticidad promedio = 969.23MPa

Fuente: El autor

Tabla 4. 11. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C2).

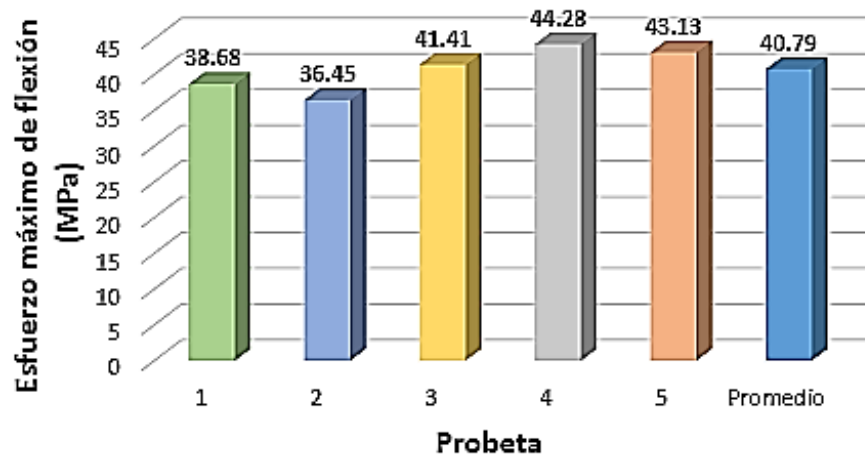
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		<b>REG:F-MCFL-02</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES                  MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO                  (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>						
<b>Fecha:</b>	10-Julio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato			
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D7264			
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	80%			
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	20%			
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra larga	<b>Longitud de fibra:</b>	54mm			
<b>Distribución de fibra</b>	Longitudinal					
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5			
<b>Dimensiones:</b>	160*13*3,47 Espesor promedio (mm)					
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM                  D7264</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad de flexión (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Deformación máxima %</b>	<b>Tipo de falla</b>
<b>1</b>	34.58	38.68	1030.32	22.14	3.75	OAB
<b>2</b>	35.25	36.45	1126.10	18.39	3.24	OLV
<b>3</b>	38.10	41.41	787.03	31.02	5.26	OLV
<b>4</b>	41.63	44.28	815.26	31.21	5.43	OLV
<b>5</b>	39.95	43.13	894.72	27.94	4.82	OLV
<b>Promedio</b>	<b>37.90</b>	<b>40.79</b>	<b>930.69</b>	<b>26.14</b>	<b>4.50</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>3.01</b>	<b>3.21</b>	<b>144.37</b>	<b>5.68</b>	<b>0.96</b>	-
<b>Tipos de fallas evaluados</b>						
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>		
<b>O</b>	Otros	<b>A</b>	En el punto de carga	<b>B</b>	Fondo	
<b>O</b>	Otros	<b>L</b>	Entre la carga y el punto de apoyo	<b>V</b>	Varios	
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>						
						



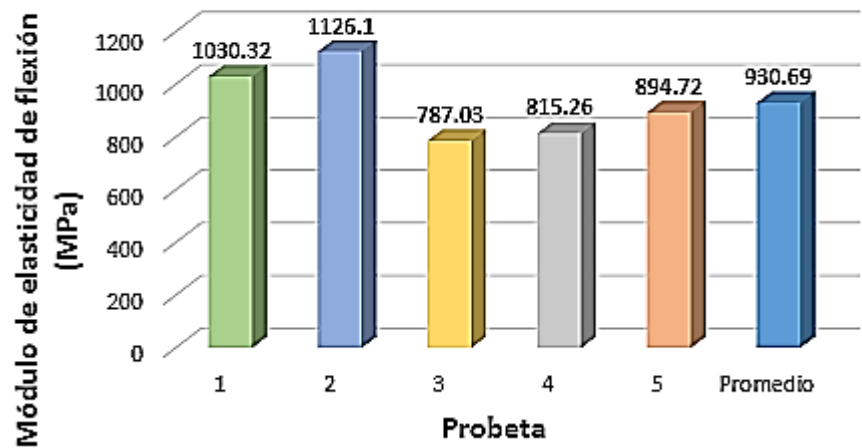
Continuación de la tabla 4.11.

Gráfica de resultados

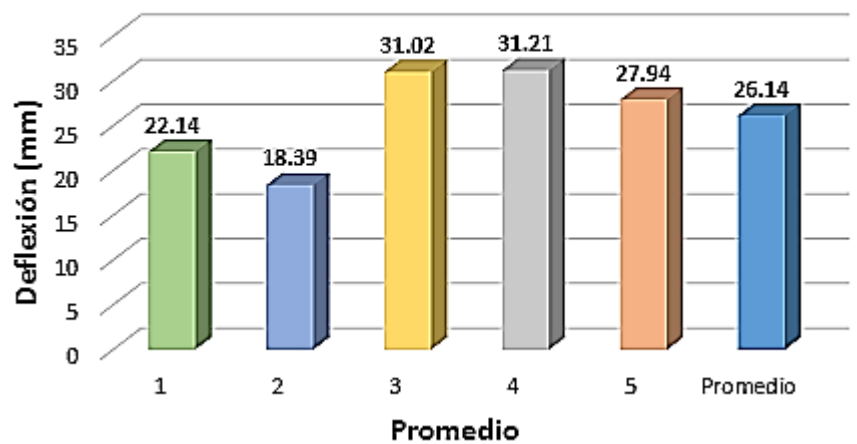
### Esfuerzo máximo de flexión



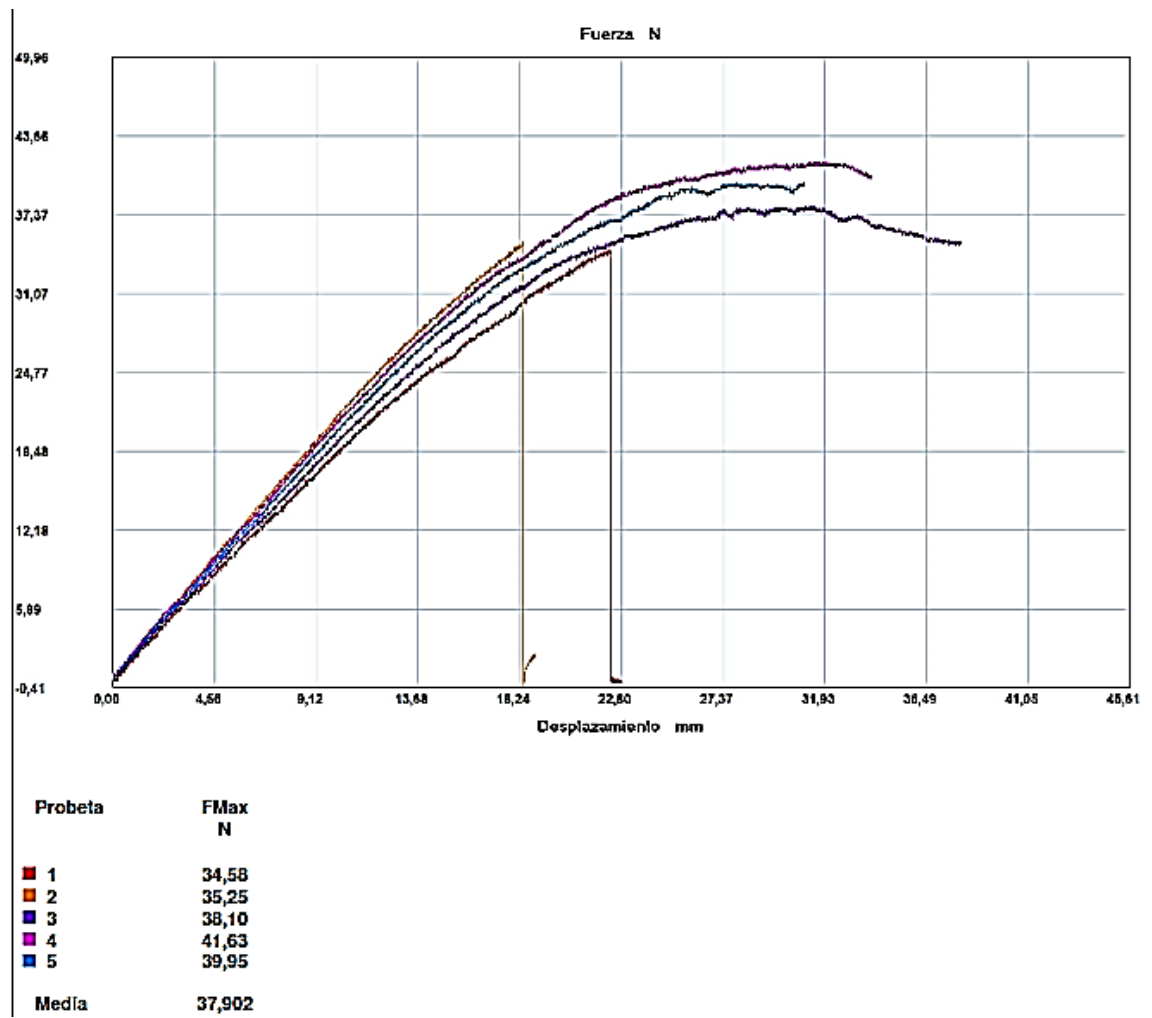
### Módulo de elasticidad de flexión



### Deflexión



Continuación de la tabla 4.11.



Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 4 de ellas (probeta 2, 3, 4 y 5) presenta rotura en la zona entre la carga y el punto de apoyo.	Espesor promedio = 3.47mm Esfuerzo máximo promedio = 40.79MPa Módulo de elasticidad promedio = 930.69MPa

Fuente: El autor

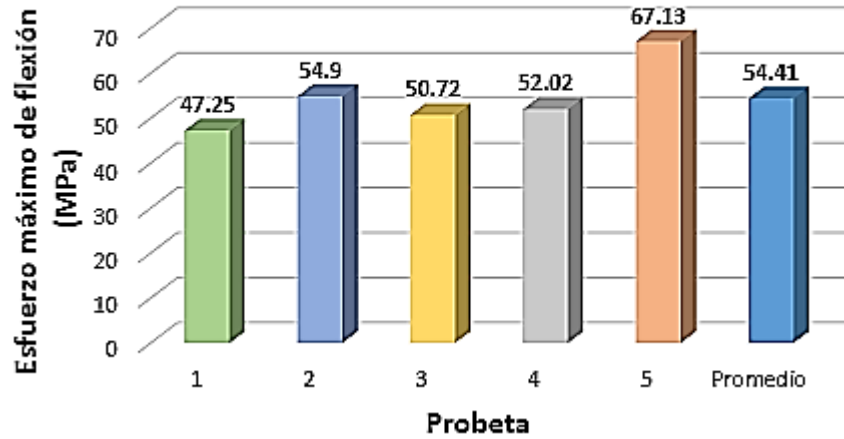
Tabla 4. 12. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C3).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		<b>REG:F-MCFC-03</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES                  MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO                  (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>						
<b>Fecha:</b>	10-Julio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato			
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>FLEXIÓN</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D7264			
<b>Laboratorio:</b>	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	75%			
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	25%			
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra corta	<b>Longitud de fibra:</b>	10mm			
<b>Distribución de fibra</b>	Al azar					
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	5			
<b>Dimensiones:</b>	160*13*3,37 Espesor promedio (mm)					
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM                  D7264</b>						
<b>Probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad de flexión (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Deformación máxima %</b>	<b>Tipo de falla</b>
<b>1</b>	41.80	47.25	1882.26	15.07	2.51	OAB
<b>2</b>	49.52	54.90	1695.27	19.27	3.24	OAB
<b>3</b>	46.33	50.72	2173.99	13.72	2.33	OLV
<b>4</b>	44.82	52.02	1654.46	19.04	3.14	OLV
<b>5</b>	59.42	67.13	1929.94	20.82	3.48	OAB
<b>Promedio</b>	<b>48.38</b>	<b>54.41</b>	<b>1867.18</b>	<b>17.58</b>	<b>2.94</b>	-
<b>Desviación estándar</b>	<b>6.77</b>	<b>7.63</b>	<b>208.03</b>	<b>3.03</b>	<b>0.49</b>	-
<b>Tipos de fallas evaluados</b>						
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>		<b>Tercer carácter</b>		
<b>O</b>	Otros	<b>A</b>	En el punto de carga	<b>B</b>	Fondo	
<b>O</b>	Otros	<b>L</b>	Entre la carga y el punto de apoyo	<b>V</b>	Varios	
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>						
						

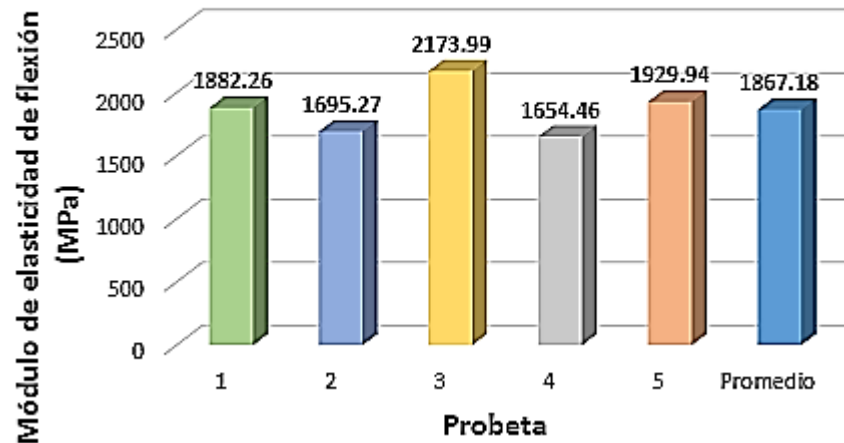
Continuación de la tabla 4.12.

Gráfica de resultados

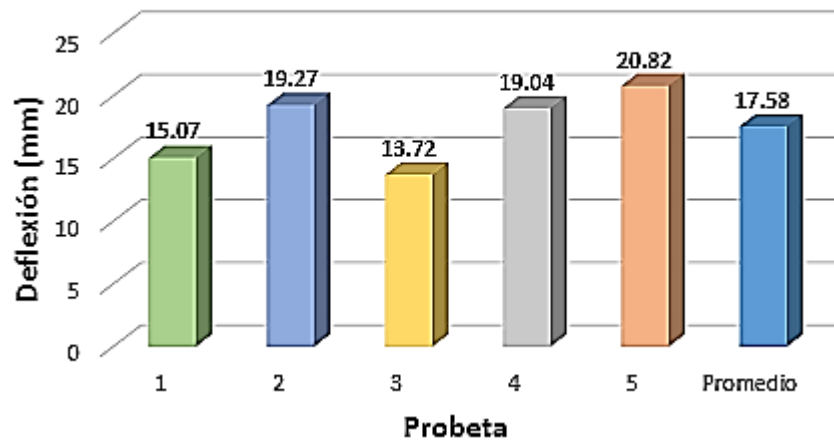
**Esfuerzo máximo de flexión**



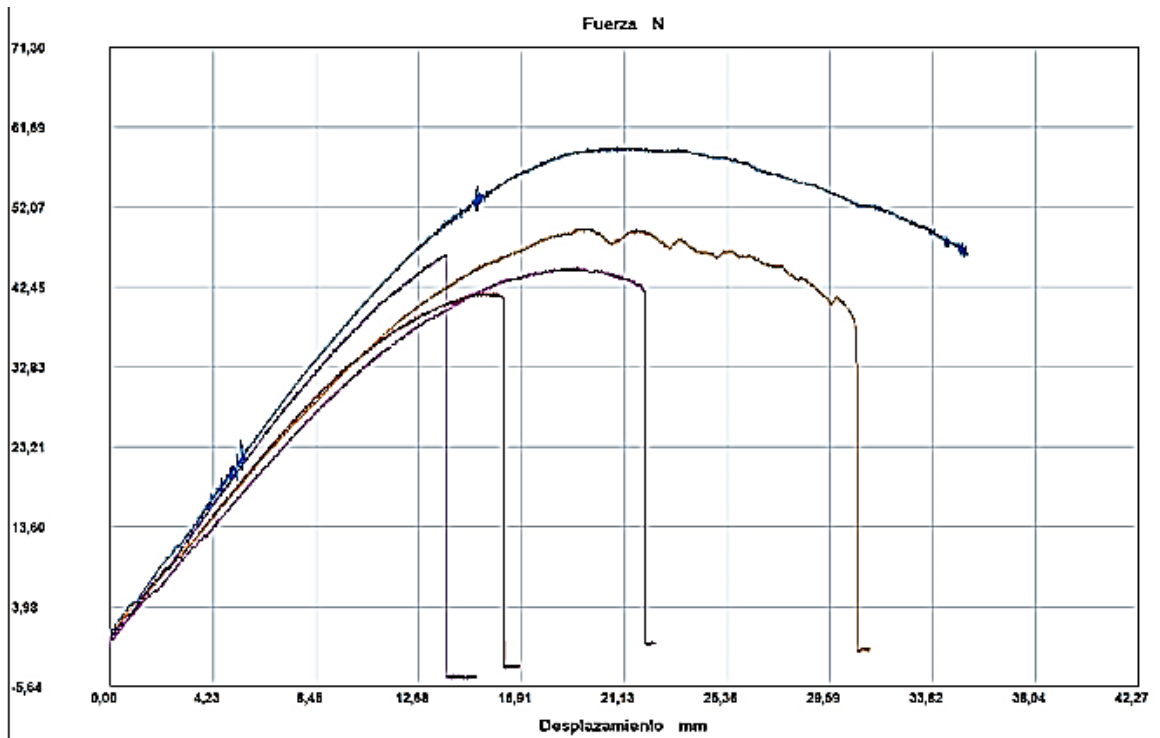
**Módulo de elasticidad de flexión**



**Deflexión**



Continuación de la tabla 4.12.



Probeta	FMax N
1	41,80
2	49,52
3	46,33
4	44,82
5	59,42
Media	48,378

Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales 3 de ellas (probeta 1, 2, 5) presenta rotura en el punto de carga.	Espesor promedio = 3.37mm Esfuerzo máximo promedio = 54.41MPa Módulo de elasticidad promedio = 1867.18MPa

Fuente: El autor

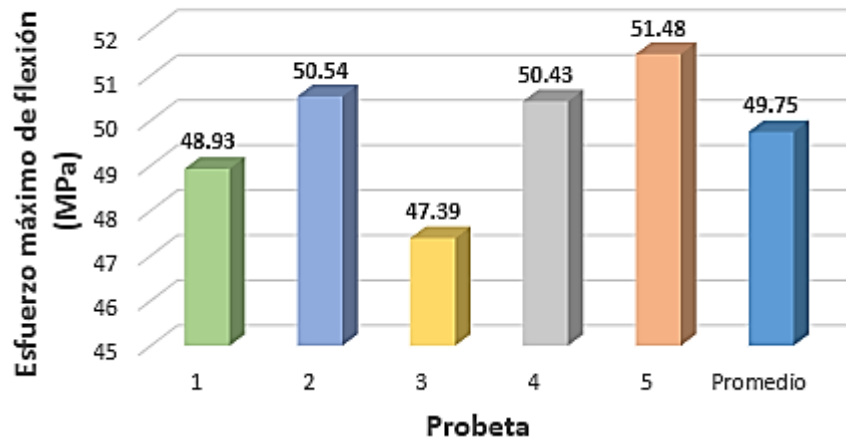
Tabla 4. 13. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de flexión (C6).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				REG:F-MCFL-04	
						REG:F-MCFL-04	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>							
<b>Fecha:</b>		10-Julio-2017		<b>Ciudad:</b>		Ambato	
<b>Tipo de ensayo:</b>		FLEXIÓN		<b>Norma:</b>		ASTM D7264	
<b>Laboratorio:</b>		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
<b>Máquina:</b>		Máquina Universal de Ensayos Electromecánicas MTE-10/50					
<b>Matriz:</b>		Resina Epoxi		<b>Fracción volumétrica</b>		70%	
<b>Refuerzos:</b>		Fibra de polipropileno		<b>Fracción volumétrica</b>		30%	
<b>Configuración de fibra</b>		Fibra larga		<b>Longitud de fibra:</b>		54mm	
<b>Distribución de fibra</b>		Longitudinal					
<b>Estratificación:</b>		Manual		<b>Número de probetas:</b>		5	
<b>Dimensiones:</b>		160*13*3.44 Espesor promedio (mm)					
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A FLEXIÓN BAJO LA NORMA ASTM D7264</b>							
Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Deformación máxima %	Tipo de falla	
1	44.15	48.93	1770.51	16.20	2.76	OAB	
2	47.67	50.54	1440.62	20.10	3.51	OAB	
3	42.63	47.39	1593.81	17.53	2.97	OAB	
4	46.16	50.43	1662.39	17.73	3.03	OAB	
5	45.32	51.48	1683.56	18.19	3.06	OAB	
<b>Promedio</b>	<b>45.19</b>	<b>49.75</b>	<b>1630.18</b>	<b>17.95</b>	<b>3.07</b>	<b>-</b>	
<b>Desviación estándar</b>	<b>1.92</b>	<b>1.61</b>	<b>123.32</b>	<b>1.41</b>	<b>0.27</b>	<b>-</b>	
<b>Tipos de fallas evaluados</b>							
<b>Primer carácter</b>		<b>Segundo carácter</b>			<b>Tercer carácter</b>		
<b>O</b>	Otros	<b>A</b>	En el punto de carga		<b>B</b>	Fondo	
<b>O</b>	Otros	<b>L</b>	Entre la carga y el punto de apoyo		<b>V</b>	Varios	
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>							
							

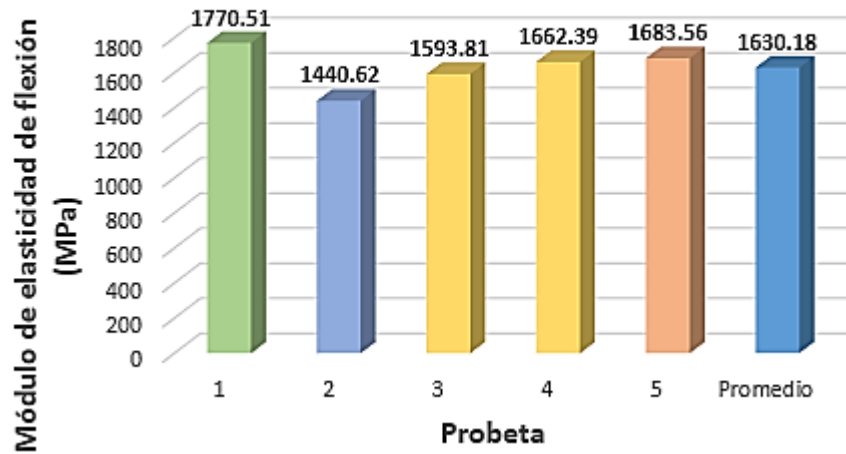
Continuación de la tabla 4.13.

Gráfica de resultados

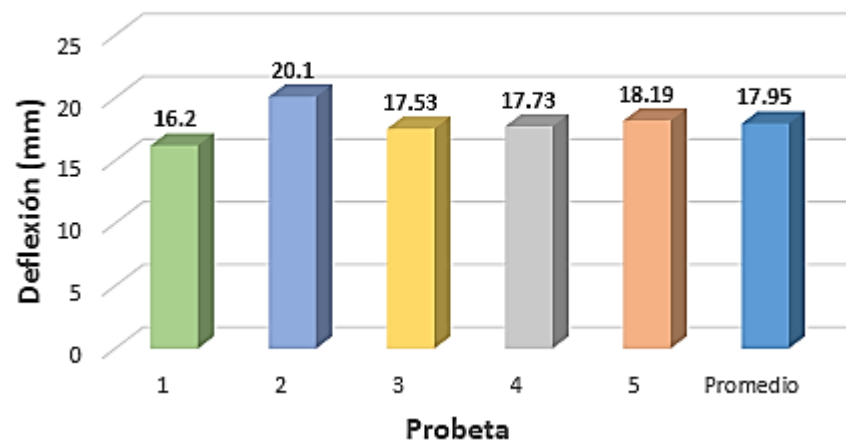
### Esfuerzo máximo de flexión



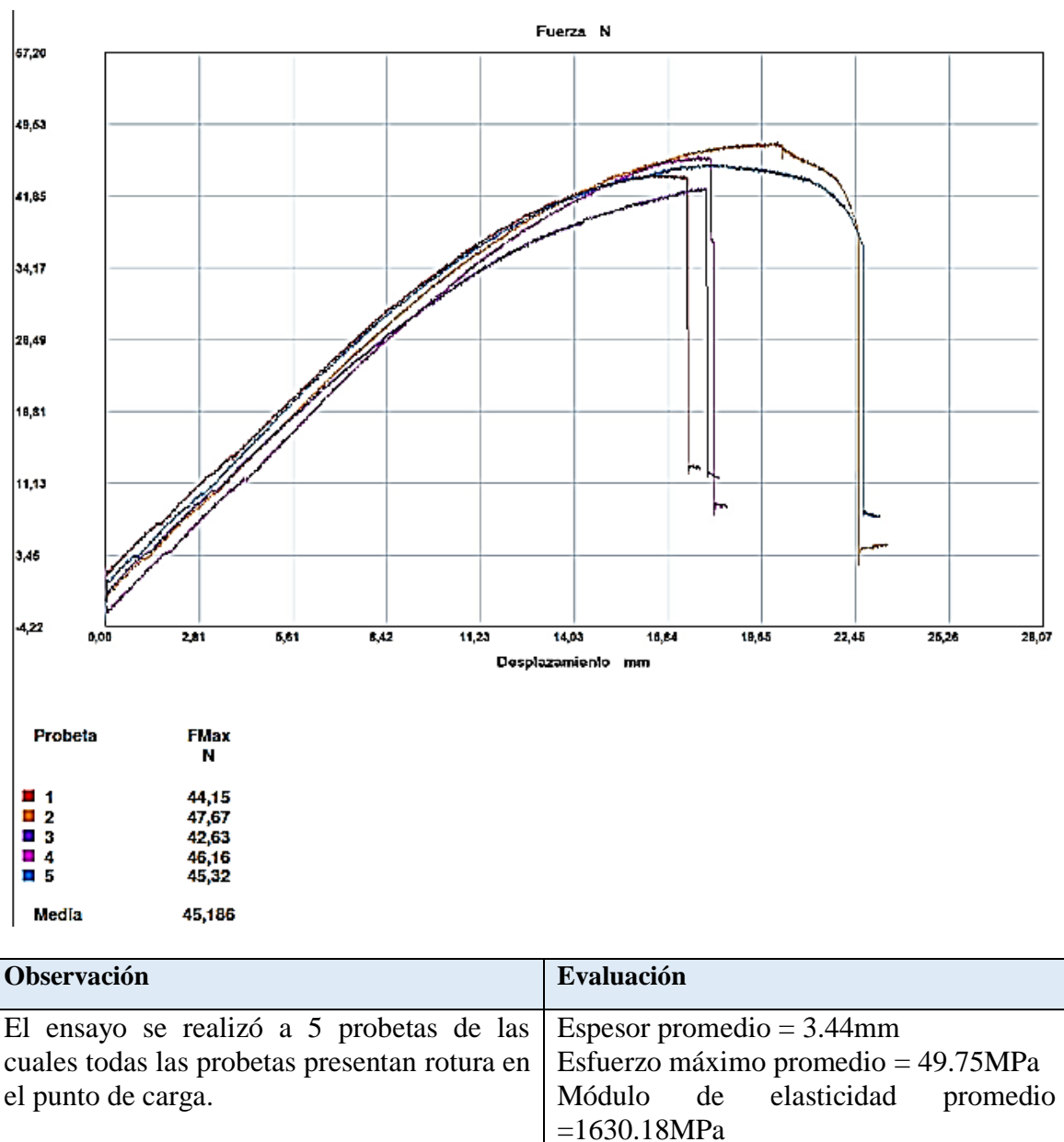
### Módulo de elasticidad de flexión



### Deflexión



Continuación de la tabla 4.13.



Observación	Evaluación
El ensayo se realizó a 5 probetas de las cuales todas las probetas presentan rotura en el punto de carga.	Espesor promedio = 3.44mm Esfuerzo máximo promedio = 49.75MPa Módulo de elasticidad promedio = 1630.18MPa

Fuente: El autor

#### 4.2.4 ENSAYO DE IMPACTO

Para el ensayo de impacto se tomaron 6 probetas por cada caso, las cuales se sometieron a impacto por caída de dardo a diferentes alturas, determinando así la altura máxima de impacto con la siguiente formula:

$$MEF = hwf \tag{Ec. (4.6)}$$

Dónde:



MEF = es la resistencia máxima al impacto (J)

h = altura máxima al momento de romper la probeta (mm)

w = peso del dardo (Kg)

f = factor de conversión, siendo este  $9,80665 \times 10^{-3}$ , si (h) esta en (mm) y w en (Kg)

Según la norma utilizada se debe considerar los tipos de falla que se presenta en las probetas sometidas a ensayos de impacto.

- **TIPOS DE FALLA**

Los tipos de fallas con los que se evaluara las probetas sometidas a ensayos de impacto estas especificadas en la tabla 4.14.

*Tabla 4. 14. Tipos de fallas en los ensayos de impacto.*




<b>Tipo de falla</b>	<b>Descripción</b>	<b>Consideración</b>
<b>A</b>	Grietas o fisuras en una sola cara	No falla
<b>B</b>	Grietas que se extiendan por todo el espesor	No falla
<b>C</b>	Quebradizo	Falla
<b>D</b>	Placa traspasada totalmente rota	falla

*Fuente: El autor*

- **TABULACIÓN DE DATOS**




La tabulación de los resultados se los realizo mediante fichas técnicas, las que se presentan a continuación:

Tabla 4. 15. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (CI).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				REG:I-MCFC-01	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	20-Julio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D5628		
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Impacto por caída de dardo				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	80%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	20%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra corta	<b>Longitud de fibra:</b>	10mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Al azar	<b>Geometría de dardo</b>	FE		
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	6		
<b>Dimensiones:</b>	58*58*3.21 Espesor promedio (mm)	<b>Diámetro/Peso del dardo</b>	40mm/0.2315Kg		
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM D5628</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Altura de falla (mm)</b>	<b>Peso del dardo (Kg)</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Resistencia máxima al impacto (J)</b>	<b>Tipo de falla</b>
<b>El mejor</b>	1100	0.2315	$9.80665 \times 10^{-3}$	2.49	A
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					Grietas en una sola cara
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
El ensayo se realizó a 6 probetas de las cuales la probeta 6 presento un tipo de falla A,B(grietas en una sola cara y a lo largo del espesor), y las otras solo presentaron una falla de tipo A(grietas en una sola cara).			Espesor promedio=3.21mm La altura de falla es de 1100 mm		




Fuente: El autor

Tabla 4. 16. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (C2).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				REG:I-MCFL-02	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	20-Julio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	IMPACTO	<b>Norma:</b>	ASTM D5628		
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Impacto por caída de dardo				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	80%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	20%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra larga	<b>Longitud de fibra:</b>	54mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Longitudinal	<b>Geometría de dardo</b>	FE		
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	6		
<b>Dimensiones:</b>	58*58*3.25 Espesor promedio (mm)	<b>Diámetro/Peso del dardo</b>	40mm/0.2315Kg		
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM D5628</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Altura de falla (mm)</b>	<b>Peso del dardo (Kg)</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Resistencia máxima al impacto (J)</b>	<b>Tipo de falla</b>
El mejor	1350	0.2315	$9.80665 \times 10^{-3}$	3.06	A
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					Grietas en una sola cara
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
El ensayo se realizó a 6 probetas de las cuales la probeta 4 presento un tipo de falla A,B(grietas en una sola cara y a lo largo del espesor), la probeta 1 no presenta falla y las otras solo presentaron una falla de tipo A (grietas en una sola cara).			Espesor promedio=3.25mm La altura de falla es de 1350 mm		




Fuente: El autor

Tabla 4. 17. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (C3).

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				REG:I-MCFC-03	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	20-Julio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D5628		
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Impacto por caída de dardo				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	25%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra corta	<b>Longitud de fibra:</b>	10mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Al azar	<b>Geometría de dardo</b>	FE		
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	6		
<b>Dimensiones:</b>	58*58*3.32 Espesor promedio (mm)	<b>Diámetro/Peso del dardo</b>	40mm/0.2315Kg		
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM D5628</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Altura de falla (mm)</b>	<b>Peso del dardo (Kg)</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Resistencia máxima al impacto (J)</b>	<b>Tipo de falla</b>
<b>El mejor</b>	1000	0.2315	$9.80665 \times 10^{-3}$	2.27	B
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					grietas a lo largo del espesor
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
El ensayo se realizó a 6 probetas de las cuales la probeta 4 presento un tipo de falla A, la probeta 5 presenta una falla tipo C y las otras solo presentaron una falla de tipo B.			Espesor promedio=3.32mm La altura de falla es de 1000 mm		

Fuente: El autor

Tabla 4. 18. Recolección de información del comportamiento del material compuesto a ensayo de impacto (C6).



		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
				REG:I-MCFL-04	
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina Epoxi + fibra de polipropileno)</b>					
<b>Fecha:</b>	20-Julio-2017	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Tipo de ensayo:</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>Norma:</b>	ASTM D5628		
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de Materiales Universidad Técnica de Ambato				
<b>Máquina:</b>	Máquina de Impacto por caída de dardo				
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Fracción volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzos:</b>	Fibra de polipropileno	<b>Fracción volumétrica</b>	30%		
<b>Configuración de fibra</b>	Fibra larga	<b>Longitud de fibra:</b>	54mm		
<b>Distribución de fibra</b>	Longitudinal	<b>Geometría de dardo</b>	FE		
<b>Estratificación:</b>	Manual	<b>Número de probetas:</b>	6		
<b>Dimensiones:</b>	58*58*3.30 Espesor promedio (mm)	<b>Diámetro/Peso del dardo</b>	40mm/0.2315Kg		
<b>DATOS Y RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO BAJO LA NORMA ASTM D5628</b>					
<b>Probeta</b>	<b>Altura de falla (mm)</b>	<b>Peso del dardo (Kg)</b>	<b>Coefficiente</b>	<b>Resistencia máxima al impacto (J)</b>	<b>Tipo de falla</b>
<b>El mejor</b>	1250	0.2315	$9.80665 \times 10^{-3}$	3.27	A Grieta o grieta en una sola cara,
<b>Peso adicional (Kg)</b>	0.036		<b>Peso total (Kg)</b>	0.2675	
<b>Fotografía de las probetas ensayadas</b>					
					
<b>Observación</b>			<b>Evaluación</b>		
El ensayo se realizó a 6 probetas de las cuales la probeta 6 presento un tipo de falla C, y las otras solo presentaron una falla de tipo A.			Espesor promedio=3.30mm La altura de falla es de 1250mm		

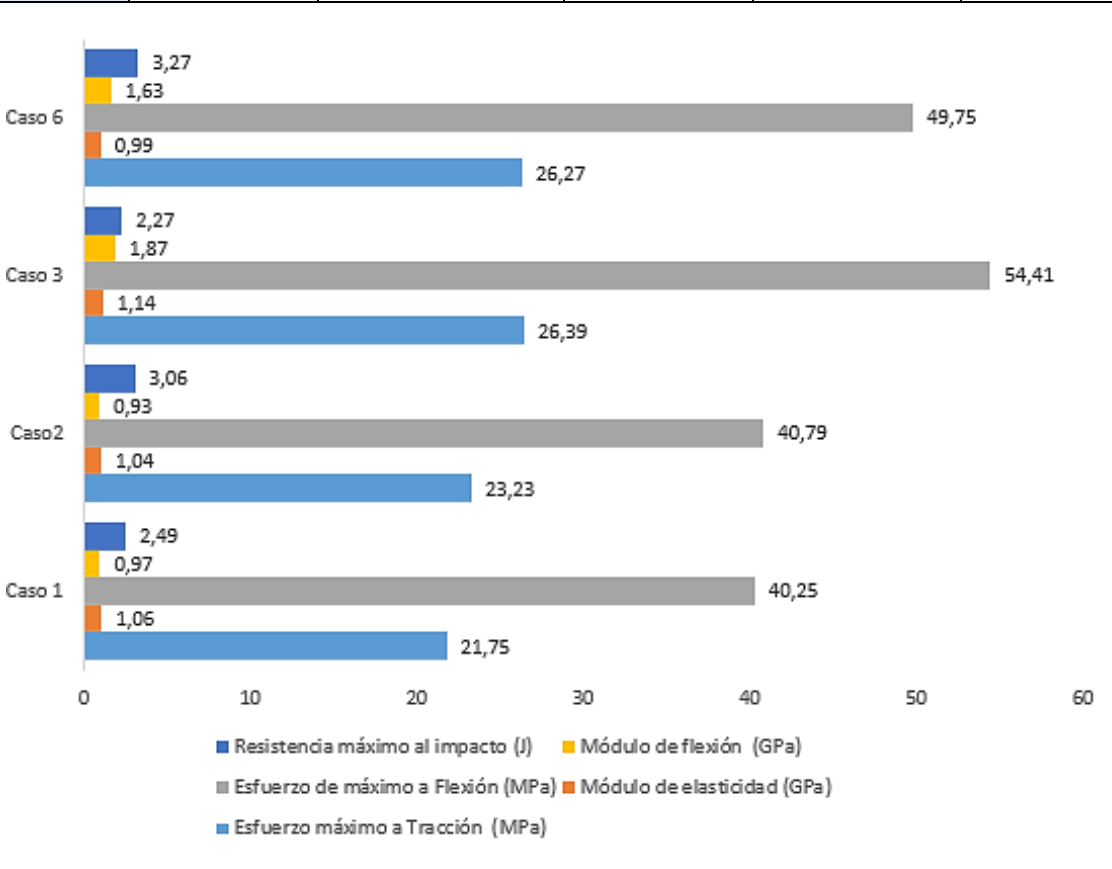
Fuente: El autor

#### 4.2.5 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO.

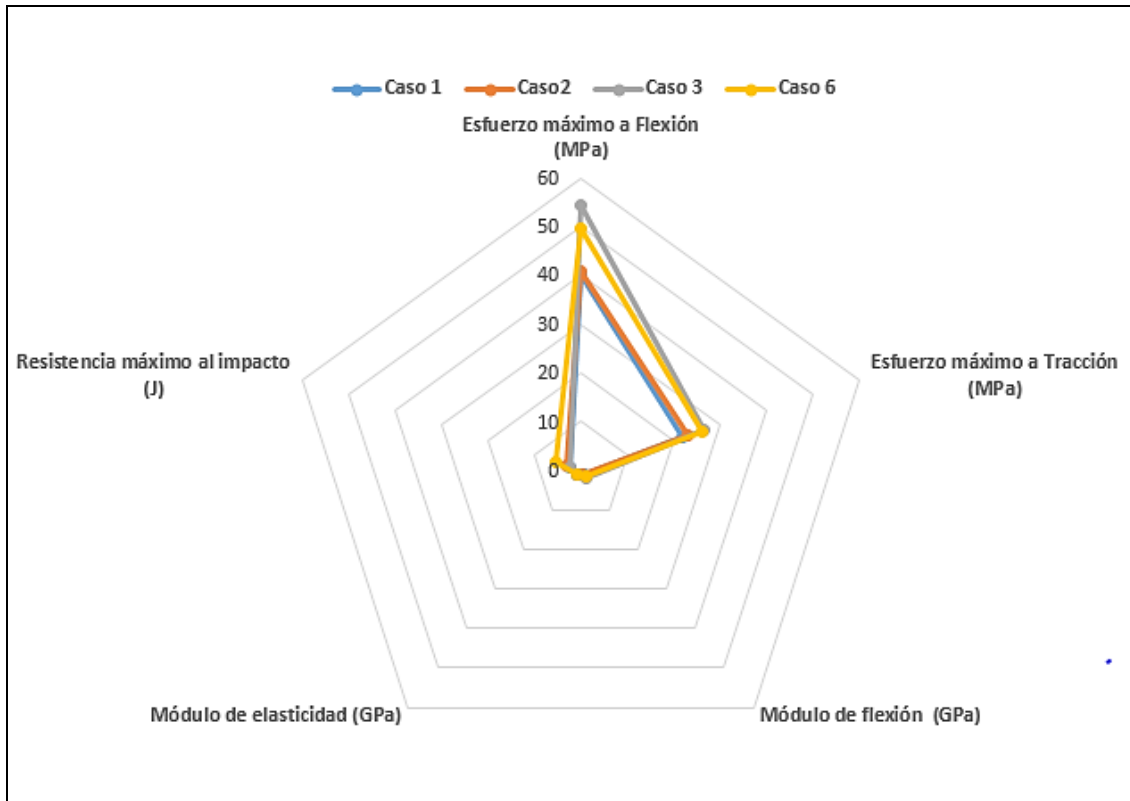
Esta interpretación de resultados consiste en analizar las propiedades mecánicas que presentan el material compuesto con sus respectivas fracciones volumétricas y elegir el material con mejor comportamiento mecánico. Como se muestra a continuación en la tabla 4.19

*Tabla 4. 19. Recolección de información del material compuesto que mejor comportamiento presenta a ensayos de tracción, flexión e impacto.*

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
					REG: Evaluación 2	
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIO DE PROBETAS DEL MATERIAL COMPUESTO (Resina Epóxica + Fibra de Polipropileno)						
Ensayo	Tracción		Flexión		Impacto	
Caso #	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Resistencia máximo al impacto (J)	
1	21.75	1.06	40.25	0.97	2.49	
2	23.23	1.04	40.79	0.93	3.06	
3	26.39	1.14	54.41	1.87	2.27	
6	26.27	0.99	49.75	1.63	3.27	

Caso	Esfuerzo máximo a Tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo de máximo a Flexión (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Resistencia máximo al impacto (J)
Caso 1	21,75	1,06	40,25	0,97	2,49
Caso 2	23,23	1,04	40,79	0,93	3,06
Caso 3	26,39	1,14	54,41	1,87	2,27
Caso 6	26,27	0,99	49,75	1,63	3,27



*Fuente: El autor*

En las gráficas del ensayo a tracción se puede apreciar que el caso 3 es el que mayor esfuerzo máximo de tracción presenta con 26.39 Mpa al igual que el módulo de elasticidad, seguido del caso 6 con 26.27 Mpa, la cual presenta una diferencia muy corta con respecto a la otra, que en la práctica podemos decir que son iguales.

En las gráficas del ensayo a flexión se puede apreciar que el caso 3 es el que mayor esfuerzo de rotura por flexión presenta con 54.41 Mpa al igual que el módulo de flexión, seguido del caso 6 con 49.75 Mpa, la cual indica que en este caso sí hay una diferencia considerable.

En cuanto al ensayo de impacto el material que mejor comportamiento presenta es el del caso 6 con 3.27 J de energía de impacto absorbida.

Tabla 4. 20. Interpretación de resultados del comportamiento del material compuesto a diferentes ensayos mecánicos.

TRACCIÓN							FLEXIÓN				IMPACTO		Acepta o no acepta (sobre 10)
Material	Espesor promedio (mm)	$\Delta$	Esfuerzo máximo (MPa)	$\Delta$	Módulo de elasticidad (MPa)	$\Delta$	Esfuerzo máximo (MPa)	$\Delta$	Módulo de flexión (MPa)	$\Delta$	Resistencia a máximo al impacto (J)	$\Delta$	
Caso 1	3.52	0.21	21.75	2.66	1066.19	3.89	40.25	6.05	969.23	380.09	2.49	0.71	6.67
Caso 2	3.38	0.07	23.23	1.18	1044.08	18.22	40.79	5.51	930.69	418.63	3.06	0.14	6.67
Caso 3	3.31	0	26.39	1.98	1139.16	76.86	54.41	8.11	1867.18	517.86	2.27	0.93	7.5
Caso 6	3.43	0.12	26.27	1.86	999.78	62.52	49.75	3.45	1630.18	280.86	3.27	0.49	9.17
<b>Parámetros</b>	<b>3,31</b>		<b>24.41</b>		<b>1062.30</b>		<b>46.30</b>		<b>1349.32</b>		<b>2.77</b>		

Valores de ponderación:

Aceptable	10
Medianamente aceptable	5
No aceptable	0

El parámetro que se utilizó para poder ponderar es el valor promedio de cada una de las propiedades mecánicas.

Fuente: El autor

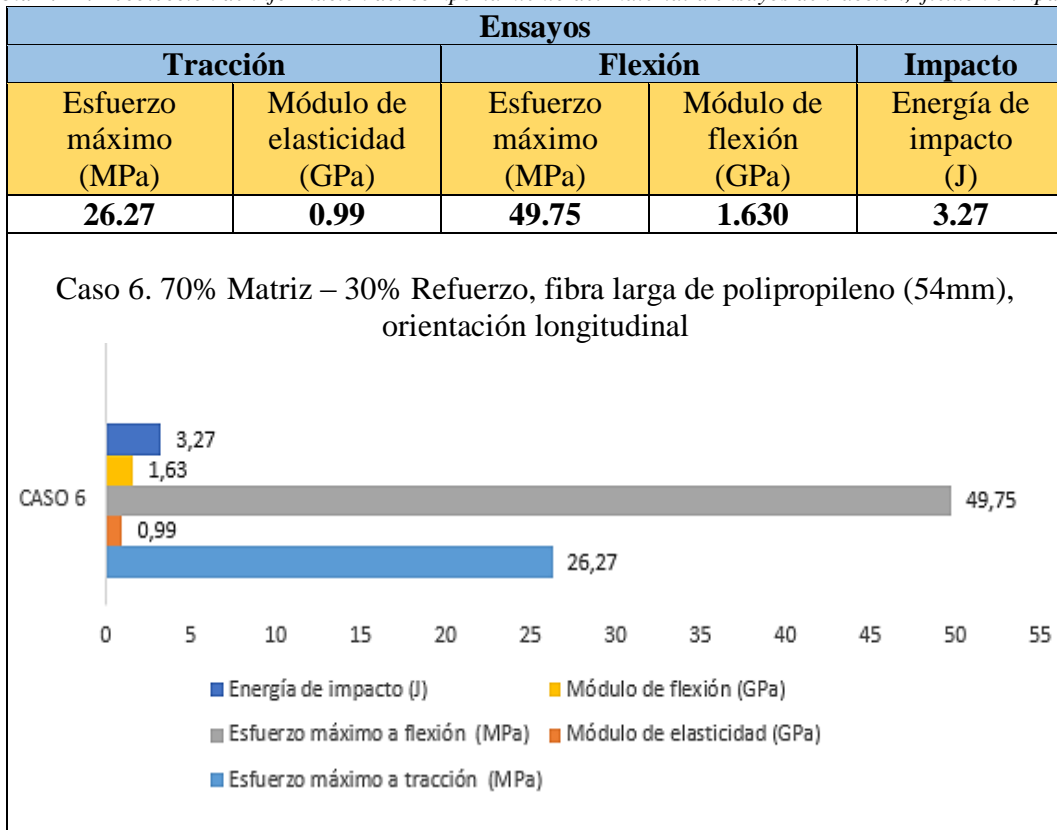


Como se puede observar en el tabla anterior, el material que mejores comportamiento mecánicas presenta según las ponderaciones ya establecidas es el material del **Caso 6** (70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm), orientación longitudinal). Con una puntaje de aceptación de **(9.17)**.

#### 4.2.7 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS FINALES

El material que mejores resultados presenta ante los ensayos de tracción, flexión impacto es el material compuesto del Caso 6.- 70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm) y orientación longitudinal, con lo cual tenemos los siguientes resultado, como se ve en la tabla 4.21.

**Tabla 4. 21.** Recolección de información del comportamiento del material a ensayos de tracción, flexión e impacto.



*Fuente: El autor*

#### 4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Como ya se vio en el análisis anterior el material compuesto que mejores propiedades mecánicas presenta es el material compuesto de 70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm), orientación longitudinal. Ahora verificaremos la hipótesis planteada con el método del t-Student, que es un método estadístico. Este método lo aplicamos para cada ensayo mecánico.

- **MÉTODO T-STUDENT PARA EL ENSAYO A TRACCIÓN**

Para poder realizar esta verificación tomaremos en cuenta la siguiente hipótesis:

El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores propiedades mecánicas que sus similares con fibra corta.

Términos que intervienen en el análisis.

$H_0$  = hipótesis nula

$H_a$  = hipótesis alternativa o de investigación

$\alpha$  = Margen de error

X = Resultados de los ensayos a tracción del material compuesto de resina epóxica reforzada con fibra larga de polipropileno.

Y=Resultados de los ensayos a tracción del material compuesto de resina epóxica reforzada con fibra corta de polipropileno.

$n_1$ = población 1

$n_2$ = población 2

### **Modelo lógico**

Hipótesis nula: El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores resultados a ensayos de tracción que sus similares con fibra corta.

Hipótesis alternativa: El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno no presentara mejores resultados a ensayos de tracción que sus similares con fibra corta.

### **Solución matemática**

Para la realización de este método se trabajara con un nivel de confianza del 95% lo que nos da un margen de error del 5%.

Con el margen de error encontramos en nivel de significancia.

Nivel de significancia o potencia de la prueba

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

Este valor nos sirve para determinar la región de rechazo en la distribución de t -Student.

Grados de libertad

$$V = n_1 + n_2 - 2$$

$$V = 15 + 15 - 2$$

$$V = 28$$

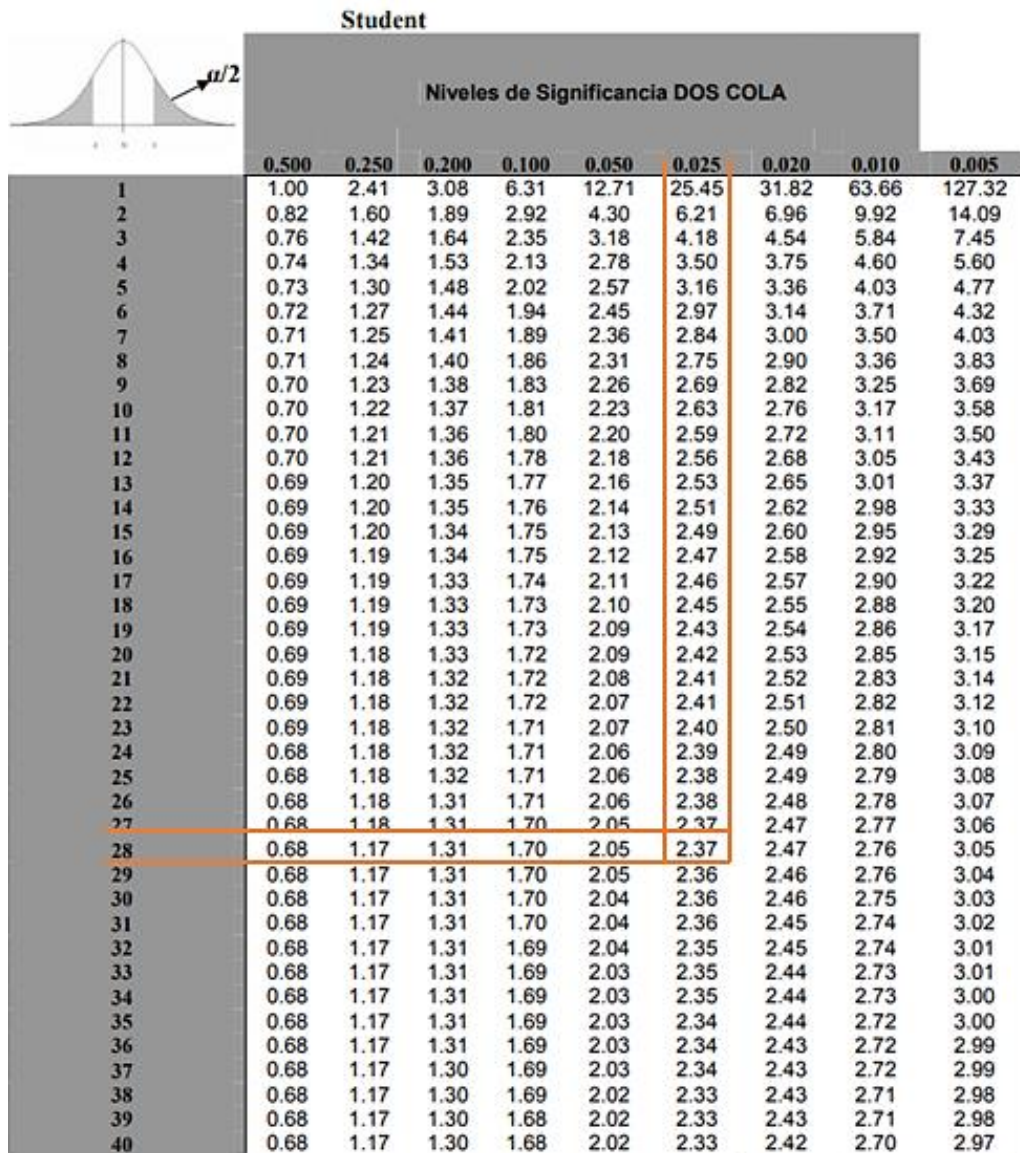


Figura 4. 2. Distribución t-Student según el nivel de significancia y los grados de libertad [25].

El valor del t-tabulado en los extremos de la distribución es de (-2.37 y 2.37), el valor del t-calculado debe estar entre estos valores.

## Cálculo de la distribución t.

Tabla 4. 22. Resultados de ensayos de tracción del material compuesto en fibra larga y fibra corta.

Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)			
Casos	Fibra larga	Casos	Fibra corta
2	25.59	1	22.41
	29.22		19.02
	16.16		19.87
	27.25		21.76
	17.93		25.70
4	20.95	3	21.15
	10.09		30.67
	19.30		27.07
	17.52		27.32
	18.10		25.74
6	26.01	5	10.22
	23.41		4.37
	27.63		12.18
	27.06		7.53
	27.25		9.77
<b>Media</b>	<b>22.23</b>		<b>18.99</b>

Fuente: El autor

Calculamos la varianza

$$s_1^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s_1^2 = \frac{430.90}{14}$$

$$s_1^2 = 30.78$$

$$s_2^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

$$s_2^2 = \frac{939.87}{14}$$

$$s_2^2 = 67.13$$

Cálculo de  $S_p$

$$S_p = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

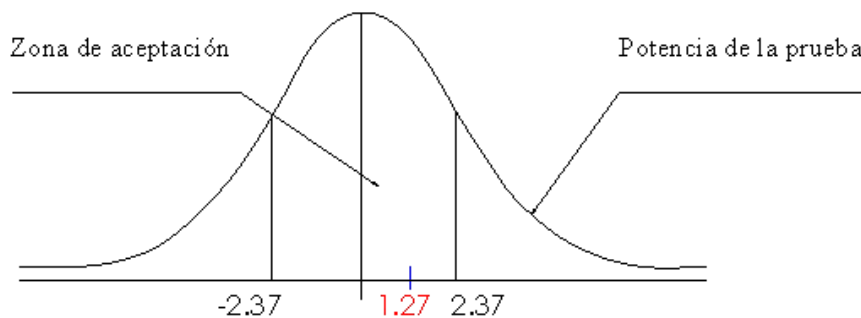
$$S_p = \sqrt{\frac{30.78(15 - 1) + 67.13(15 - 1)}{15 + 15 - 2}}$$

$$S_p = 6.99$$

Con este valor calculamos t.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$
$$t = \frac{(22.23 - 18.99)}{6.99 \sqrt{\frac{1}{15} + \frac{1}{15}}}$$
$$\mathbf{t = 1.27}$$

t-cálculado = 1.27 < t-tabulado = 2.37



Como el valor calculado es menor que el valor tabulado y se encuentra dentro de la zona de aceptación, se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), la misma que dice:

El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores resultados a ensayos de tracción que sus similares con fibra corta.

- **MÉTODO T-STUDENT PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN**

Para poder realizar esta verificación tomaremos en cuenta la siguiente hipótesis:

El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores propiedades mecánicas que sus similares con fibra corta.

Términos que intervienen en el análisis.

H<sub>0</sub> = hipótesis nula

H<sub>a</sub> = hipótesis alternativa o de investigación

α = Margen de error

X = Resultados de los ensayos a tracción del material compuesto de resina epóxica reforzada con fibra larga de polipropileno.

Y=Resultados de los ensayos a tracción del material compuesto de resina epóxica reforzada con fibra corta de polipropileno.

n1= población 1

n2= población 2

### **Modelo lógico**

Hipótesis nula: El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores resultados a ensayos de flexión que sus similares con fibra corta.

Hipótesis alternativa: El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno no presentara mejores resultados a ensayos de flexión que sus similares con fibra corta.

### **Solución matemática**

Para la realización de este método se trabajara con un nivel de confianza del 95% lo que nos da un margen de error del 5%.

Con el margen de error encontramos en nivel de significancia.

Nivel de significancia o potencia de la prueba

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

Este valor nos sirve para determinar la región de rechazo en la distribución de


t -Student.

Grados de libertad

$$V = n1+n2-2$$

$$V = 10+10-2$$

$$V = 18$$



**Student**

**Niveles de Significancia DOS COLA**

	0.500	0.250	0.200	0.100	0.050	0.025	0.020	0.010	0.005
1	1.00	2.41	3.08	6.31	12.71	25.45	31.82	63.66	127.32
2	0.82	1.60	1.89	2.92	4.30	6.21	6.96	9.92	14.09
3	0.76	1.42	1.64	2.35	3.18	4.18	4.54	5.84	7.45
4	0.74	1.34	1.53	2.13	2.78	3.50	3.75	4.60	5.60
5	0.73	1.30	1.48	2.02	2.57	3.16	3.36	4.03	4.77
6	0.72	1.27	1.44	1.94	2.45	2.97	3.14	3.71	4.32
7	0.71	1.25	1.41	1.89	2.36	2.84	3.00	3.50	4.03
8	0.71	1.24	1.40	1.86	2.31	2.75	2.90	3.36	3.83
9	0.70	1.23	1.38	1.83	2.26	2.69	2.82	3.25	3.69
10	0.70	1.22	1.37	1.81	2.23	2.63	2.76	3.17	3.58
11	0.70	1.21	1.36	1.80	2.20	2.59	2.72	3.11	3.50
12	0.70	1.21	1.36	1.78	2.18	2.56	2.68	3.05	3.43
13	0.69	1.20	1.35	1.77	2.16	2.53	2.65	3.01	3.37
14	0.69	1.20	1.35	1.76	2.14	2.51	2.62	2.98	3.33
15	0.69	1.20	1.34	1.75	2.13	2.49	2.60	2.95	3.29
16	0.69	1.19	1.34	1.75	2.12	2.47	2.58	2.92	3.25
17	0.69	1.19	1.33	1.74	2.11	2.46	2.57	2.90	3.22
18	0.69	1.19	1.33	1.73	2.10	2.45	2.55	2.88	3.20
19	0.69	1.19	1.33	1.73	2.09	2.43	2.54	2.86	3.17
20	0.69	1.18	1.33	1.72	2.09	2.42	2.53	2.85	3.15
21	0.69	1.18	1.32	1.72	2.08	2.41	2.52	2.83	3.14
22	0.69	1.18	1.32	1.72	2.07	2.41	2.51	2.82	3.12
23	0.69	1.18	1.32	1.71	2.07	2.40	2.50	2.81	3.10
24	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.39	2.49	2.80	3.09
25	0.68	1.18	1.32	1.71	2.06	2.38	2.49	2.79	3.08
26	0.68	1.18	1.31	1.71	2.06	2.38	2.48	2.78	3.07
27	0.68	1.18	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.77	3.06
28	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.37	2.47	2.76	3.05
29	0.68	1.17	1.31	1.70	2.05	2.36	2.46	2.76	3.04
30	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.46	2.75	3.03
31	0.68	1.17	1.31	1.70	2.04	2.36	2.45	2.74	3.02
32	0.68	1.17	1.31	1.69	2.04	2.35	2.45	2.74	3.01
33	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.01
34	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.35	2.44	2.73	3.00
35	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.44	2.72	3.00
36	0.68	1.17	1.31	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
37	0.68	1.17	1.30	1.69	2.03	2.34	2.43	2.72	2.99
38	0.68	1.17	1.30	1.69	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
39	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.43	2.71	2.98
40	0.68	1.17	1.30	1.68	2.02	2.33	2.42	2.70	2.97

Figura 4. 3. Distribución t-Student según el nivel de significancia y los grados de libertad [25].

El valor del t-tabulado en los extremos de la distribución es de (-2.45 y 2.45), el valor del t-cálculado debe estar entre estos valores.



## Cálculo de la distribución t.

Tabla 4. 23. Resultados de ensayos de flexión del material compuesto en fibra larga y fibra corta.

Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)			
Casos	Fibra larga	Casos	Fibra corta
2	38.68	1	47.36
	36.45		43.78
	41.41		32.65
	44.28		32.27
	43.13		45.21
6	48.93	3	47.25
	50.54		54.90
	47.39		50.72
	50.43		52.02
	51.48		67.13
<b>Media</b>	<b>45.27</b>		<b>47.33</b>

Fuente: El autor

Calculamos la varianza

$$s_1^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s_1^2 = \frac{252.53}{9}$$

$$s_1^2 = \mathbf{28.05}$$

$$s_2^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

$$s_2^2 = \frac{942.24}{9}$$

$$s_2^2 = \mathbf{104.69}$$

Cálculo de  $S_p$

$$S_p = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{28.05(10 - 1) + 104.69(10 - 1)}{10 + 10 - 2}}$$

$$S_p = \mathbf{8.14}$$

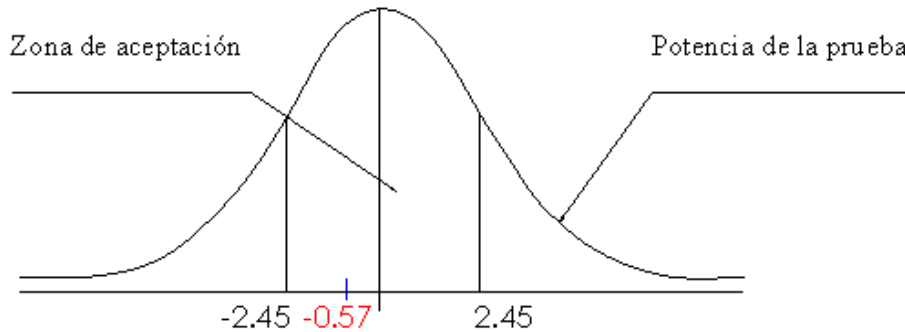
Con este valor calculamos t.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

$$t = \frac{(45.27 - 47.33)}{8.14 \sqrt{\frac{1}{10} + \frac{1}{10}}}$$

$$t = -0.57$$

t-cálculado = -0.57 < t-tabulado = -2.45



Como el valor calculado es menor que el valor tabulado y se encuentra dentro de la zona de aceptación, se acepta la hipótesis nula (H<sub>0</sub>), la misma que dice:

El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores resultados a ensayos de tracción que sus similares con fibra corta.

- **MÉTODO T-STUDENT PARA EL ENSAYO A IMPACTO**

Para poder realizar esta verificación tomaremos en cuenta la siguiente hipótesis:

El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores propiedades mecánicas que sus similares con fibra corta.

Términos que intervienen en el análisis.

H<sub>0</sub> = hipótesis nula

H<sub>a</sub> = hipótesis alternativa o de investigación

α = Margen de error

X = resultados de ensayos de impacto del material compuesto de resina epoxica reforzada con fibra larga de polipropileno.

Y=resultados de los ensayos a impacto del material compuesto de resina epoxica reforzada con fibra corta de polipropileno.

n<sub>1</sub>= población 1

$n_2 =$  población 2

Modelo lógico

Hipótesis nula: El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores resultados a ensayos de impacto que sus similares con fibra corta.

Hipótesis alternativa: El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno no presentara mejores resultados a ensayos de impacto que sus similares con fibra corta.

### **Solución matemática**

Para la realización de este método se trabajara con un nivel de confianza del 95% lo que nos da un margen de error del 5%.

Con el margen de error encontramos en nivel de significancia.

Nivel de significancia

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

Este valor nos sirve para determinar la región de rechazo en la distribución de t-Student.

Grados de libertad

$$V = n_1 + n_2 - 2$$

$$V = 12 + 12 - 2$$

$$V = 22$$

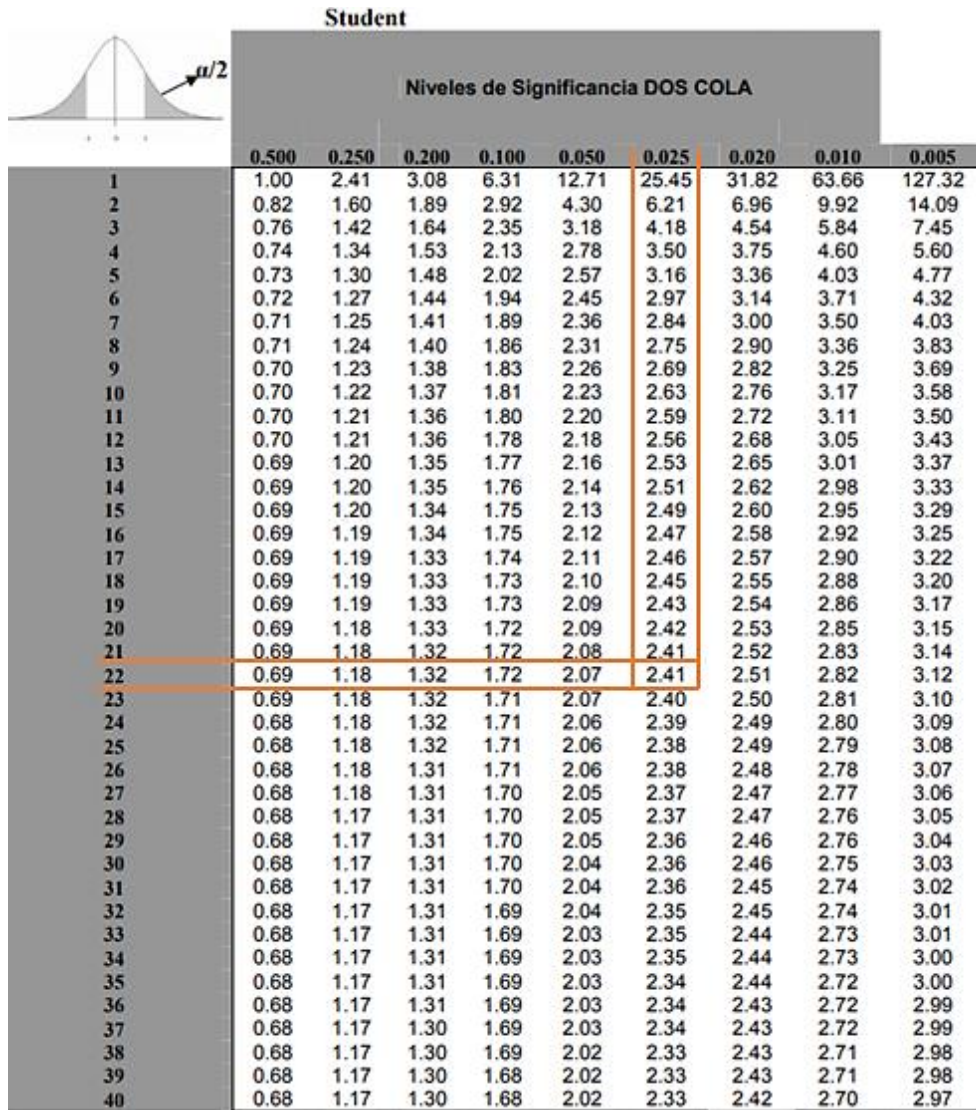


Figura 4. 4. Distribución t-Student según el nivel de significancia y los grados de libertad [25].

El valor del t-tabulado en los extremos de la distribución es de (-2.41y 2.41), el valor del t-cálculado debe estar entre estos valores.

## Cálculo de la distribución t.

Tabla 4. 24. Resultados de ensayos de impacto del material compuesto en fibra larga y fibra corta.

Energía de impacto absorbida (J)			
Casos	Fibra larga	Casos	Fibra corta
2	1.59	1	2.25
	1.82		2.15
	2.24		1.82
	2.27		2.40
	2.49		2.27
	3.06		2.49
6	2.04	3	2.14
	2.27		2.16
	2.49		1.59
	2.36		1.82
	3.15		2.04
	3.27		2.27
<b>Media</b>	<b>2.42</b>		<b>2.12</b>

Fuente: El autor

Calculamos la varianza

$$s_1^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

$$s_1^2 = \frac{2.95}{11}$$

$$s_1^2 = 0.27$$

$$s_2^2 = \frac{\sum(y_i - \bar{y})^2}{n - 1}$$

$$s_2^2 = \frac{0.75}{11}$$

$$s_2^2 = 0.07$$

Cálculo de  $S_p$

$$S_p = \sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}}$$

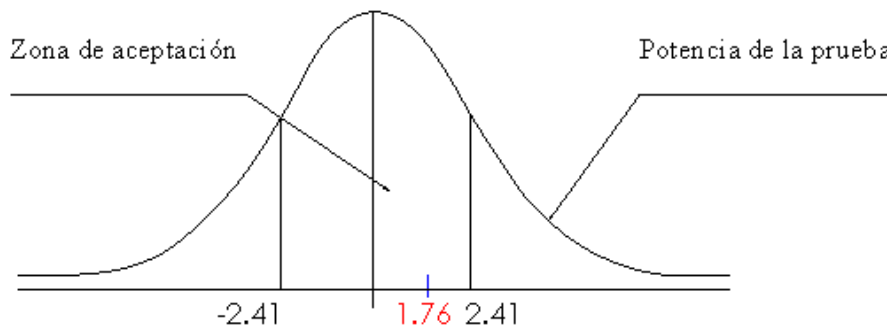
$$S_p = \sqrt{\frac{0.27(12 - 1) + 0.07(12 - 1)}{12 + 12 - 2}}$$

$$S_p = 0.41$$

Con este valor calculamos t.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$
$$t = \frac{(2.42 - 2.12)}{0.41 \sqrt{\frac{1}{12} + \frac{1}{12}}}$$
$$\mathbf{t = 1.76}$$

t-cálculado = 1.76 < t-tabulado = 2.41



Como el t-calculado es menor que el t-tabulado y se encuentra dentro de la zona de aceptación, se aceptado la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) la misma que dice:

El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra larga de polipropileno presentara mejores resultados a ensayos de impacto que sus similares con fibra corta.

### **Análisis final**

Con este análisis se comprobó que el material compuesto de 70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm), orientación longitudinal, es el materia que mejores propiedades presenta ante los ensayos de tracción, flexión e impacto ya que el valor de t está dentro del rango de aceptación.

### **4.4 POSIBLE APLICACIÓN INDUSTRIAL**

Una vez analizados los resultados de los ensayos mecánicos se determinó que el nuevo material compuesto presenta buenas propiedades mecánicas en especial es muy resistente al impacto, a continuación se realizó una tabla comparando la resistencia al impacto con otros materiales compuestos.

*Tabla 4. 25. Comparación de las propiedades mecánicas del material compuesto de resina epoxica y fibra de polipropileno con otros materiales compuestos.*

Material compuesto	Ensayos					Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
	Tracción		Flexión		Impacto	
	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Energía de impacto (J)	
Resina poliéster + fibras de tereftalato de polietileno.	24.27	1.12	0.77	2.46	1.52	1.2
Matriz epoxi + (algodón) y fibra natural (fibra de cabuya).	40.56	6.69	1.01	3.98	2.25	1.06
Resina poliéster + fibra de coco.	17.97	2.31	1.05	1.30	2.25	1.07
Matriz epoxi + fibra de algodón/fibra de pasto de paramo	13.19	0.66	305.74	2.54	1.43	0.72
<b>Resina epóxica + polipropileno</b>	<b>26.27</b>	<b>0.99</b>	<b>49.75</b>	<b>1.630</b>	<b>3.27</b>	<b>1.05</b>

*Fuente: El autor*

Como se puede observar en el cuadro anterior el material compuesto de resina epóxica reforzada con fibra de polipropileno tiene mejores propiedades mecánicas que algunos material compuestos. Nuestro material compuesto se puede utilizar en la industria de la construcción como techos falsos o pisos flotantes.

Los techos falsos están hechos de yeso, según la norma ASTM-C472 el yeso tiene una resistencia a la tracción que va de 11.76-24.5 MPa [26], nuestro material cumple perfectamente con esta propiedad ya que tiene 26.27 MPa, y está dentro del rango de cumplimiento.

En cuanto a pisos flotantes existen pisos fabricados de diferentes materiales como: madera, PVC, vinilo VLT, WPC (wood and plastic composite).

La madera MDF tiene una resistencia a la flexión de 30 MPa y una resistencia a atracción de 0.74 MPa, según el catálogo de *MASISA MDF* [27], si hacemos una comparación, nuestro material compuesto tiene una resistencia a la flexión de 49.75MPa y una resistencia a la tracción de 26.27 por lo que nuestro material está entorno a estos valores.

Si hablamos de los pisos flotantes que están hechos de PVC y WPC, estos materiales tienen una resistencia a la tracción de 31.5MPa y 10MPa respectivamente, según el

catálogo de *DESIGN FLOOR-soluciones constructivas-línea WPC* [28], si lo comparamos, nuestro material compuesto tiene una resistencia a la tracción de 26.27MPa, por lo que nuestro material compuesto está entorno a los valores ya mencionados.

Además nuestro material compuesto presenta otras propiedades que son importantes en la fabricación de pisos flotantes, esta propiedades físicas son: resistencia a agentes químicos, resistente a la penetración de microorganismos y resistentes a la humedad y el calor [28]. De igual manera nuestro material compuesto se lo podría utilizar en la industria del mueble, en forma de tableros para mesas y estanterías, por las propiedades antes mencionadas.



## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Los parámetros utilizados para el conformado y fabricación del material compuesto fueron las siguientes fracciones volumétricas (80-20%, 75-25%, 70-30%) que corresponden a las fracciones volumétricas de la matriz y el refuerzo respectivamente, la longitud y distribución del refuerzo (fibra corta 10mm, fibra larga 54mm) además del tipo de estratificación (manual).
- Con el análisis de las fracciones volumétricas se determinó las fracciones nominales y reales del refuerzo, el mismo que disminuye en un 20% según el experimento que se hizo cuando se fabricó previamente probetas pequeñas del material compuesto.
- La caracterización mecánica del material compuesto de resina epóxica y fibra de polipropileno se lo realizó bajo la norma ASTM D3039 para el ensayo de tracción, ASTM D7264 para el ensayo de flexión, ASTM D5628 para el ensayo de impacto, con lo que se pudo determinar que los materiales compuestos con fibras largas (54mm) presentan mejores propiedades que sus similares en fibras cortas (10mm), esto debido a que los extremos de una fibra soporta menos carga de la fibra, por lo tanto si tenemos menos extremos, mayor será la capacidad de la fibra para soportar las cargas.
- Con la evaluación de los resultados obtenidos de los 3 ensayos mecánicos realizados, se determinó el material compuesto que mejores propiedades mecánicas presenta siendo este el material del caso 4 que está formado de un 70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm) y orientación longitudinal, el mismo que presenta los siguientes valores:
  - Esfuerzo máximo a tracción = 26.27MPa
  - Módulo de elasticidad = 0.99GPa
  - Esfuerzo máximo a flexión = 49.75GPa
  - Módulo de flexión = 1.63GPa
  - Energía de impacto = 3.27J
- El material compuesto de resina epóxica con un 70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm) y orientación longitudinal, presenta un

valor relativamente alto de resistencia la impacto de 3.27J la que supera al valor de algunos materiales compuestos como se ve en la tabla 4.25.

- La aplicación de nuestro material compuesto es en la industria de la construcción, se la puede utilizar como pisos flotantes, techos falsos y como tableros para la construcción de mesas y estanterías, ya que presenta buenas propiedades mecánicas y físicas acordes para estas aplicaciones, tal y como se especifica en el apartado 4.4.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Se debe limpiar el molde con algún líquido para que esté libre de grasas e impurezas.
- Antes de colocar la fibra en el molde se debe verificar que esté limpia, libre de grasas e impurezas que puedan afectar al material compuesto.
- Además de colocar una capa de desmoldante es necesario colocar una capa de alcohol poli vinílico con lo cual aseguraremos que el material no se pegue al molde.
- Se debe verificar el tiempo de curado de la mezcla además de la temperatura y la humedad para poder tener mejores propiedades mecánicas.
- Para poder tener dimensiones exactas de las probetas según las especificaciones de las normas, es necesario cortar las mismas con una maquina laser.
- Al momento de colocar las sobremontas en las probetas de tracción se debe pegarlas con una mezcla de pegamento líquido y bicarbonato.
- Se debe hacer más investigaciones de materiales compuestos híbridos con fibras de polipropileno y fibras naturales, para analizar si mejora los resultados a ensayos de impacto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] W.F. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, 4ª ed. España: Mc Graw Hill, 2006, Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, pp.1-4, 374-375.
- [2] M.A. Pérez, y M. Sánchez, *Fundamentos de la Mecánica de los Materiales Compuestos*, Universidad Politécnica de Catalunya, España: Omnia Publiher, 2014, Introducción a la Mecánica de los Materiales compuestos, pp.1-2.
- [3] A. Moral y M. Nogueira, *Materiales Compuestos-Composites*, Junio 2007, Materiales Compuestos, pp.3-4, 7-13.
- [4] H.V. Guerrero, et al. *Nuevos Materiales*, 1ª ed. Ecuador: Imprefepp, 2011, Materiales compuestos, pp.47-48, 103-105.
- [5] F. Stupenengo, *Materiales y materias prima*, Argentina-Buenos Aires: Colección Encuentro Inet, 2011, Materiales compuestos, pp.6, 18-19.
- [6] D.R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 3ª ed. Columbia-Estados unidos: International Thomson Editores, Materiales Compuestos, pp.1-4, 495-496, 517-525.
- [7] A. Besednjak, *Materiales Compuestos Procesos de Fabricación de Embarcaciones*, 1ª ed. Baecelona: Edicions Virtuals: [www.edicionsupc.es](http://www.edicionsupc.es), 2005, Clasificación de Polímeros, pp.20-23, 32-33.
- [8] F.R. Delgado, “*Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros*”. Escuela Politécnica Nacional, Quito, Proyecto técnico previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, noviembre 2012.
- [9] G.M. Antigüedad, “*Proceso y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzado con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas*”. Universidad Complutense de Madrid, España, Memoria para optar al grado de doctor, 2008.
- [10] S. Poveda, *Lecturas complementarias, Materiales compuestos: Visual Grahpics Group*, Presentación normalizada de piezas de Material compuestos, pp.4.

- [11] Mariano (2011), *Tecnología de los plásticos, blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, procesos de transformación*, [en línea]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resinaepoxi.html>, [Acceso el 20-03-2017].
- [12] E. Barbero, S.K. García, S. Sánchez, “*Mecánica de materiales compuestos*”. Universidad Carlos III de Madrid, España, Introducción a los materiales compuestos, Curso para Master en Mecánica Estructural Avanzada. 2010/2011.
- [13] L. Gonzales, *Generalidades sobre las fibras artificiales*. Colombia-Palmira: 2010, Fibra de polipropileno, pp.11-12
- [14] W. Benavides y L. Gonzales, *Fibras de polipropilenos para reforzamiento de matrices cementicias*, Colombia-Palmira: 2012, recopilación sobre fibras comerciales disponibles, pp.4-6
- [15] W.D. Callister, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 4ª ed. Medellín: Editorial Reverte, 2006, Materiales compuestos reforzados con fibra, pp.540-548.
- [16] J. Paredes, “*Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses,*” Trabajo de investigación previo a la obtención del grado académico de Magister en Diseño Mecánico , Facultad de Ing. Civil y Mecánica, Universidad técnica de Ambato, Ambato 2012.
- [17] N. Tamayo, “*Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzada con fibras de cabuya mediante estratificación,*” Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Facultad de Ing. Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito Junio 2012.
- [18] S. Diez, “*Técnica de la estratificación manual aplicada a la escultura: Moldes y Contra moldes,*” *Rev. Iberoamericana de Polímeros*, Vol. 11, No. 4, pp. 208-209, Julio 2010
- [19] “Gel coats” Delta Glass-Centro Integral del Plástico reforzado, Av. Mitre 2880-CP. B1605AKQ- Munro, Buenos Aires-Argentina, Boletín técnico No. 9

- [20] G. Bonet, C. Botero, M. Fontana, “Estructuras de materiales compuestos, Ensayos normalizados de caracterización”, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería, UNLP, Documento técnico para el Curso 2012.
- [21] F. Delgado, “*Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros,*” Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Químico, Facultad de Ing. Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito Noviembre 2012.
- [22] D. Ruiz, *Fundamentos y ensayos en materiales metálicos*, 8ª ed. Buenos aires-Argentina: MDC MACHINE S.A, 2006, Ensayos de materiales, pp.32-33, 41
- [23] J. Newell, *Ciencia de materiales aplicaciones en ingeniería*, 1ª ed. New Jersey-USA: Alfaomega 2011, Medición de las propiedades mecánicas, pp.80
- [24] M. Rodríguez, G. Villavicencio, “*Obtención de materiales compuestos de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio mediante moldeo por aspersión,*” Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, Facultad de Ing. Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, Quito Junio 2013.
- [25] L. García, “*distribución T- Student*”. Universidad Nacional Federico Villarreal, Tabla de distribución T-Student, Curso Estadística Inferencial, 20113.
- [26] *Standard test Methods for Physical Testing of Gypsum, Gypsum Plasters and Gypsum Concrete*, Norma ASTM-C 472, Reapproved 2014.
- [27] *Masisa MDF*, Ficha Técnica, propiedades Físico-Mecánicas, Disponible en: <file:///C:/Users/HP/Desktop/pisos%20flotantes/1492019048MDF.pdf>.
- [28] *Design Floor*, Ficha Técnica, línea WPC Pisos flotantes, comportamiento, disponible en: <file:///C:/Users/HP/Desktop/20180904084157-pisos-flotantes---linea-wpc.pdf>.

# ANEXOS

Anexo 1.- Ficha técnica de la resina Epóxica.

Anexo 2.- Norma para ensayo de Tracción ASTM D3039.

Anexo 3.- Norma para ensayo de Flexión ASTM D7264.

Anexo 4.- Norma para ensayo de Impacto ASTM D5628.

Anexo 5.- Informe técnico de los ensayos a Tracción y Flexión del material compuesto.

Anexo 6.- Planos



# TECHNICAL DATA SHEET



**Henkel Corporation**  
Professional and Consumer Adhesives  
Rocky Hill, CT 06067  
Phone 1-800-624-7767  
Fax (440) 250-9661  
[www.henkel.com](http://www.henkel.com) [www.loctiteproducts.com](http://www.loctiteproducts.com)



Item #	Package	Size
1365736	Carded Bottles	2 x 4 fl. oz.

## DESCRIPTION:

Loctite® Epoxy Heavy Duty is a two-part adhesive consisting of an epoxy resin and a hardener. When mixed in equal volumes, resin and hardener react to produce a tough, rigid, high strength bond in 5 minutes for most projects. It can be used as an adhesive for a wide range of materials or as a versatile filler for gap bonding, surface repairs and laminating. Loctite® Epoxy Heavy Duty does not shrink and is resistant to water and most common solvents. It can be tinted with earth pigments, cement or sand for colour matching. It can be sanded and drilled.

## RECOMMENDED FOR:

Bonding metal, glass, ceramic, wood, many rigid plastics, china, tile, fiberglass, concrete and stone. Can be combined with fiberglass cloth for a durable patch.

## NOT RECOMMENDED FOR:

- Polyethylene, polypropylene, nylon, polytetrafluoroethylene (PTFE)/Teflon® or flexible materials
- Applications requiring short-term heat exposure of greater than 302°F (150°C)
- Continuously wet areas or water immersion

## FEATURES & BENEFITS:

Feature	Benefits
High impact resistant.....	Won't crack when drilled
Can be tinted.....	Match surrounding materials
Water resistant.....	Can be used outdoors
Does not shrink.....	One-time application
Sets in 5-10 minutes.....	Quick completion of project

## DIRECTIONS:

### Tools Typically Required:

Utility knife, mixing tool/applicator (e.g. wooden stick), disposable surface, (e.g. foil or paper cup).

### Safety Precautions:

Well-ventilated area, gloves.

### Preparation:

Surfaces must be clean, dry and free from oil, wax and paint. Roughen smooth surfaces for better adhesion by sandblasting or sanding with emery cloth. Wash glass and ceramic surfaces with soap and water then rinse and let dry. Pre-fit parts to be joined. Unscrew nozzles and remove seal. Replace nozzles, remove caps and cut tips. Dispense equal amounts of resin and hardener onto a clean, discardable surface. Prepare as much as can be used in 5 minutes. Recap bottles at once ensuring that the correct cap goes back on the correct bottle. Interchanging caps will make future cap removal impossible. Mix resin and hardener for one minute thoroughly.

### Application:

For best results apply a small amount of mixed adhesive to both surfaces within one to two minutes of mixing and press together. Placing parts together close to the 5 minute set time will reduce adhesion. Remove any excess glue immediately with mineral spirits, acetone or rubbing alcohol (follow all solvent manufacturer's precautions). Support surfaces until bond sets (approx. 5 minutes). Usable strength achieved in 20 minutes. Fully cured in 24 hours.

### Clean-up:

Clean excess glue immediately by wiping with clean cloth. Acetone may be used to assist in removal. Cured adhesive may be cut away with caution using a sharp blade. Prolonged immersion in paint stripper will soften the cured adhesive to aid removal. Note: Acetone is highly flammable and not compatible with all surfaces. Follow manufacturer's instructions and test on small area before applying.

## STORAGE AND DISPOSAL

Not damaged by freezing. If frozen, warm to room temperature until the resin and hardener become liquid enough to mix. Use an approved hazardous waste facility for disposal.

## LABEL PRECAUTIONS

**DANGER:** Resin contains epoxy resin. Hardener contains polymercaptan and amine curing agents. Do not get in eyes or on skin. Do not breathe vapors. FIRST AID: For eye contact, flush with water for 15 minutes, call a physician. For skin contact, wash thoroughly with soap and water, call a physician if symptoms persist. If swallowed, DO NOT induce vomiting, call a physician. **KEEP OUT OF THE REACH OF CHILDREN.**

**WARNING:** This product contains chemicals known as the State of California to cause cancer, birth defects or other reproductive harm.

Refer to the Material Safety Data Sheet (MSDS) for further information

## DISCLAIMER

The information and recommendations contained herein are based on our research and are believed to be accurate, but no warranty, express or implied, is made or should be inferred. Purchasers should test the products to determine acceptable quality and suitability for their own intended use. Nothing contained herein shall be construed to imply the nonexistence of any relevant patents or to constitute a permission, inducement or recommendation to practice any invention covered by any patent, without authority from the owner of the patent.

## TECHNICAL DATA

Typical Uncured Physical Properties		Typical Application Properties	
<u>Color:</u>		<u>Application Temperature:</u>	39°F (4°C) to 95°F (35°C)
Hardener:	Opaque	<u>Odour:</u>	Amine
Resin:	Clear	<u>Gel Time:</u>	5 minutes (Gel time is dependent on temperature and amount of adhesive used)
<u>Base:</u>	Epoxy resin / Polymercaptan hardener	<u>Usable Strength:</u>	20 minutes
<u>Specific Gravity:</u>		<u>Full Cure Time:</u>	24 hours
Hardener:	1.04		Note: Cure time is dependent upon temperature, humidity and amount of product used
Resin:	1.17		
<u>Flash Point:</u>			
Hardener:	199°F (93°C)		
Resin:	480°F (249°C)		
<u>VOC Content:</u>			
(Resin+ Hardener)	0.1% by weight		
<u>Shelf Life:</u>	24 months from date of manufacture (Unopened)		
<u>Lot Code Explanation:</u>	YYDDD YY = Last two digits of year of manufacture DDD = Day of manufacture based on 365 days in a year  For example: 13061 = 61 <sup>st</sup> day of 2013 = March 2, 2013		



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

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

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

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

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

### 1. Scope

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

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

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

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

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

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

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

### 3. Terminology

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



dimensions, shown within square brackets:  $[M]$  for mass,  $[L]$  for length,  $[T]$  for time,  $[Θ]$  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,  $\epsilon^{transition}$   $[nd]$ ,  $n$* —the strain value at the mid range of the transition region between the two essentially linear portions of a bilinear stress-strain or strain-strain curve.

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

### 3.3 Symbols:

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

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

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

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

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

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

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

3.3.8  $h$ —coupon thickness.

3.3.9  $L_g$ —extensometer gage length.

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

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

3.3.12  $P$ —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16  $w$ —coupon width.

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

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

3.3.19  $\delta$ —extensional displacement.

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

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

3.3.22  $\sigma$ —normal stress.

3.3.23  $\nu$ —Poisson's ratio.

## 4. Summary of Test Method

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

## 5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

## 6. Interferences

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

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

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

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

## 7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

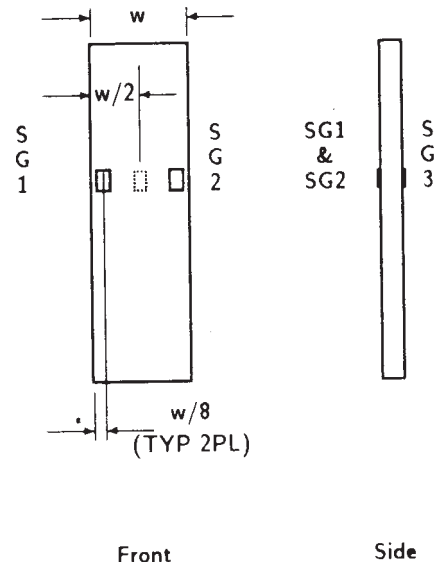


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

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

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

where:

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

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

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

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

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**8. Sampling and Test Specimens**

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

**TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

**8.2.3 Detailed Examples**—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insufficient to create a properly dimensioned and 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.

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

DRAWING NOTES:

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

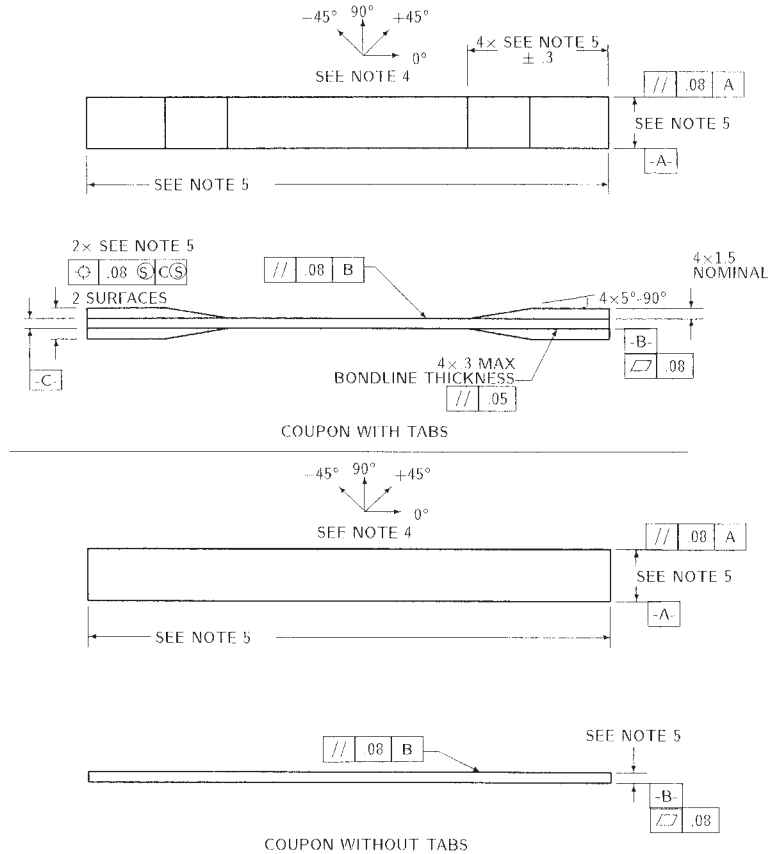


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

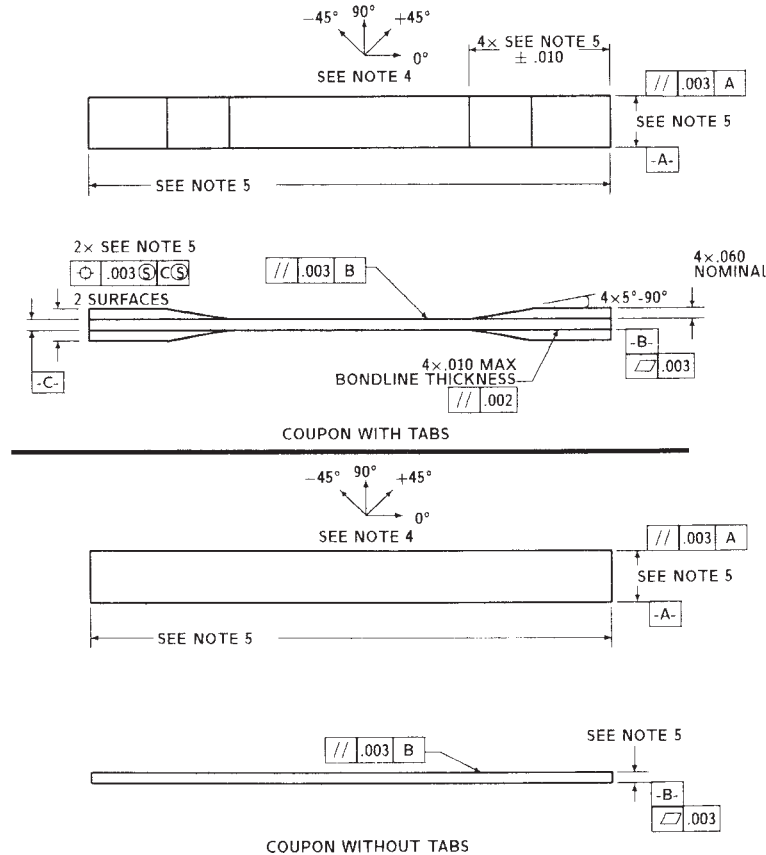
NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to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

**DRAWING NOTES:**

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

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


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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

<sup>A</sup> 1000  $\mu\epsilon$  = 0.001 absolute strain.

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

## 12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

### 12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

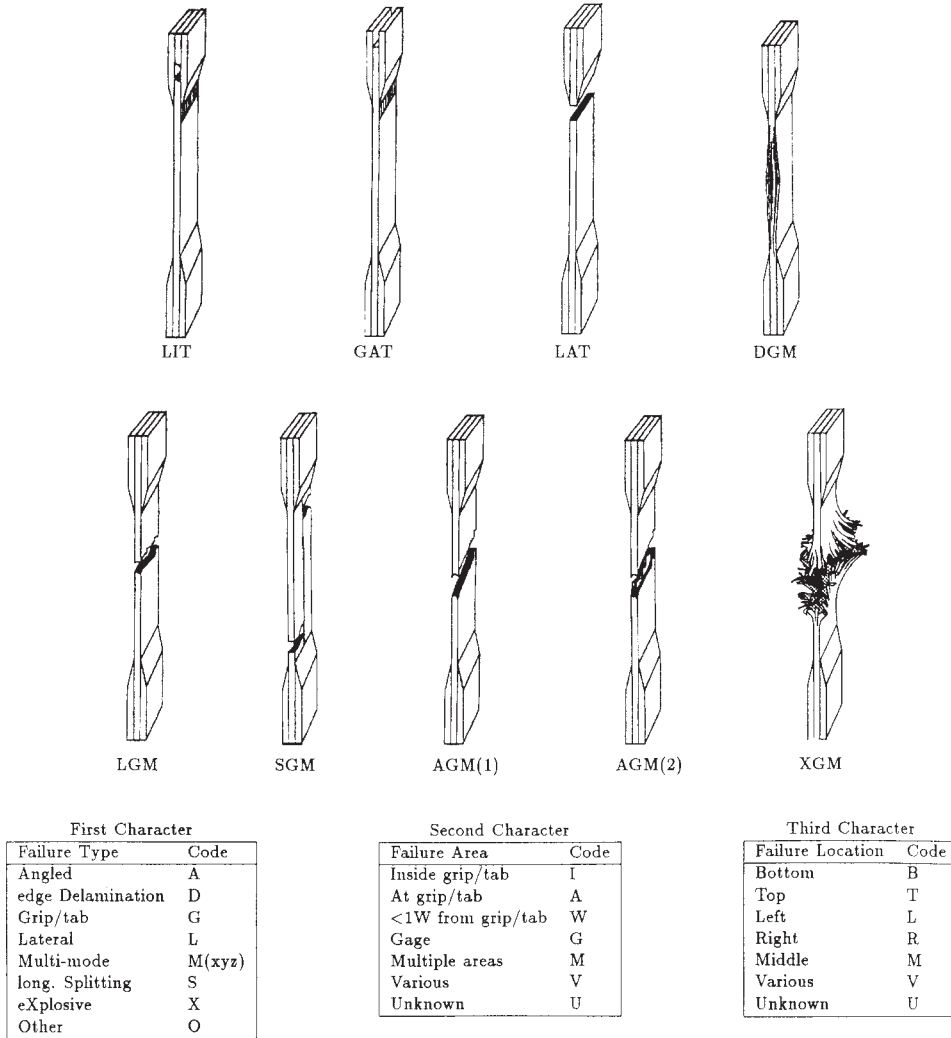


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

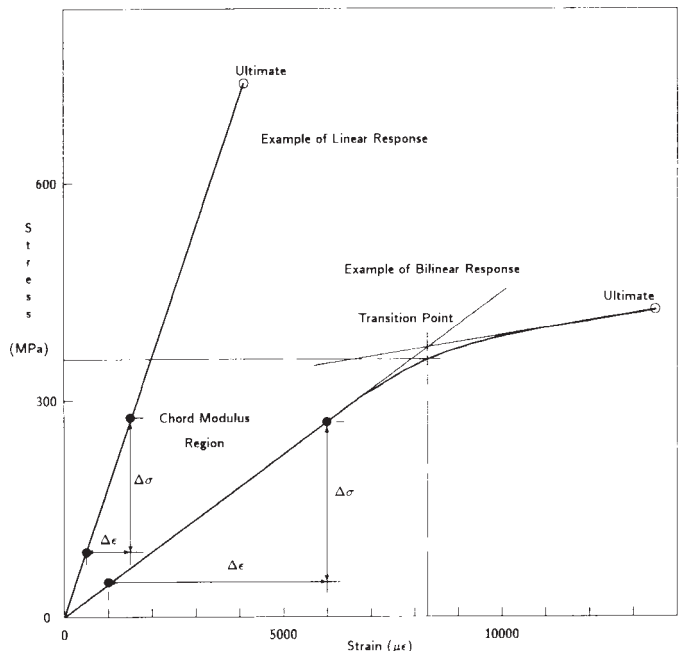


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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:

- $\nu$  = 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:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1}/\bar{x} \quad (13)$$

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.<sup>10</sup> 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 (66108 carbon/Ciba R 6376

**TABLE 4 Precision Statistics**

Material	$\bar{x}$	$s \bar{x}$	$S_r$	$S_R$	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
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	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_r/X$  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.

<sup>10</sup> International Harmonization of Composite Materials—Phase I: 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 $S/X$ , %	Average of $S_R/X$ , %
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 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).*



Designation: D 7264/D 7264M – 07

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

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 reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 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:*<sup>2</sup>

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 Metric<sup>3</sup>

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)<sup>3</sup>

### 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.

<sup>3</sup> Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

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

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard’s Document Summary page on the ASTM website.

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

$E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity

$E_f^{secant}$  = 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

$\delta$  = mid-span deflection of the specimen

$\epsilon$  = strain at the outer surface at mid-span of the specimen

$\sigma$  = 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

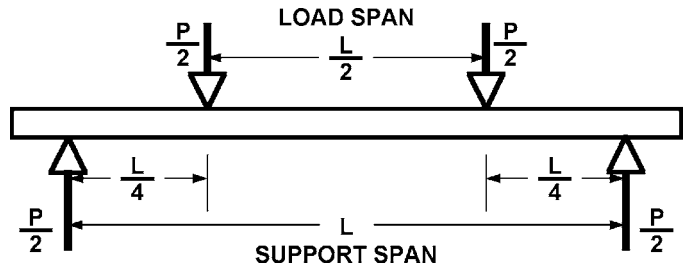


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.

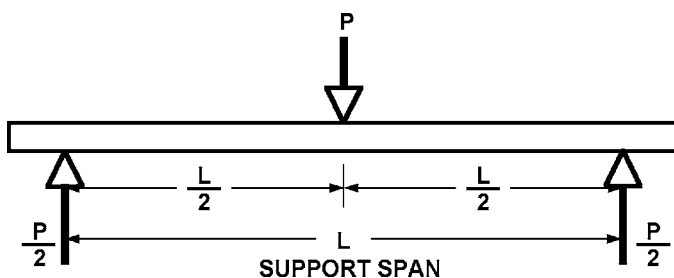


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

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.

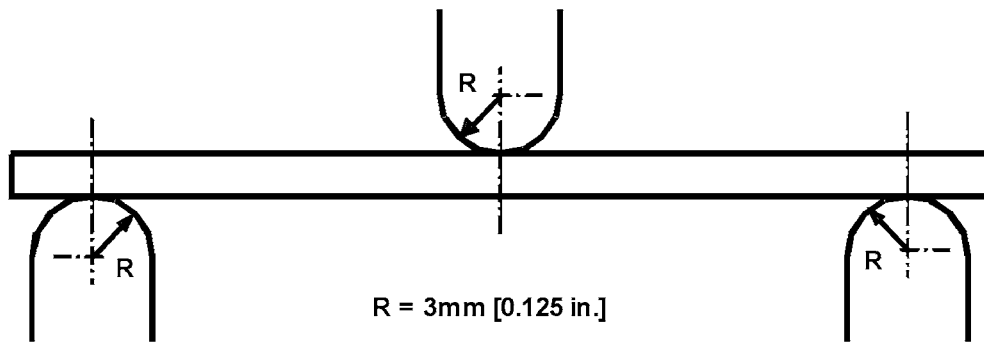
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces 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.

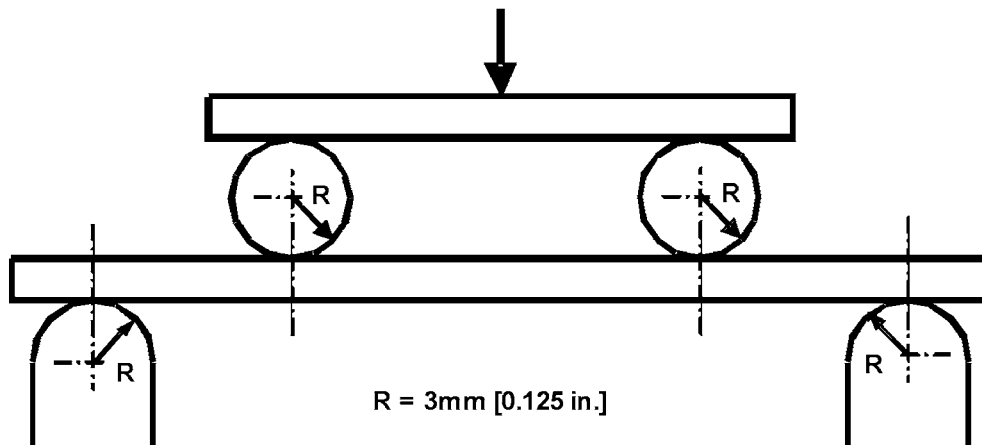
**7. Apparatus**

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)



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  $\pm 0.02$  mm [ $\pm 0.001$  in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 0.1$  mm [ $\pm 0.004$  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  $\pm 1$  % 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  $\pm 3$  % 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

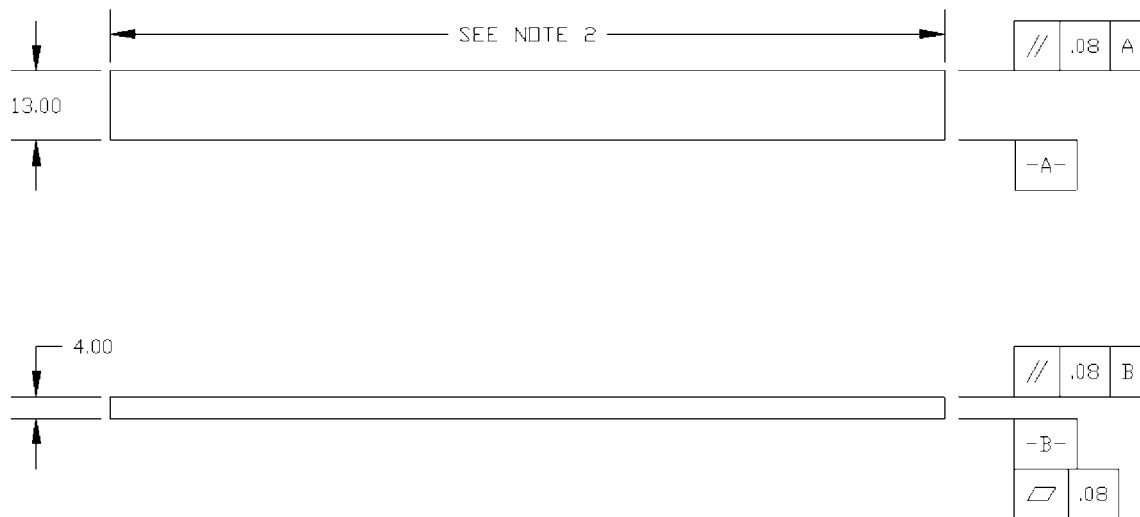
within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 5$  % relative humidity.

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.

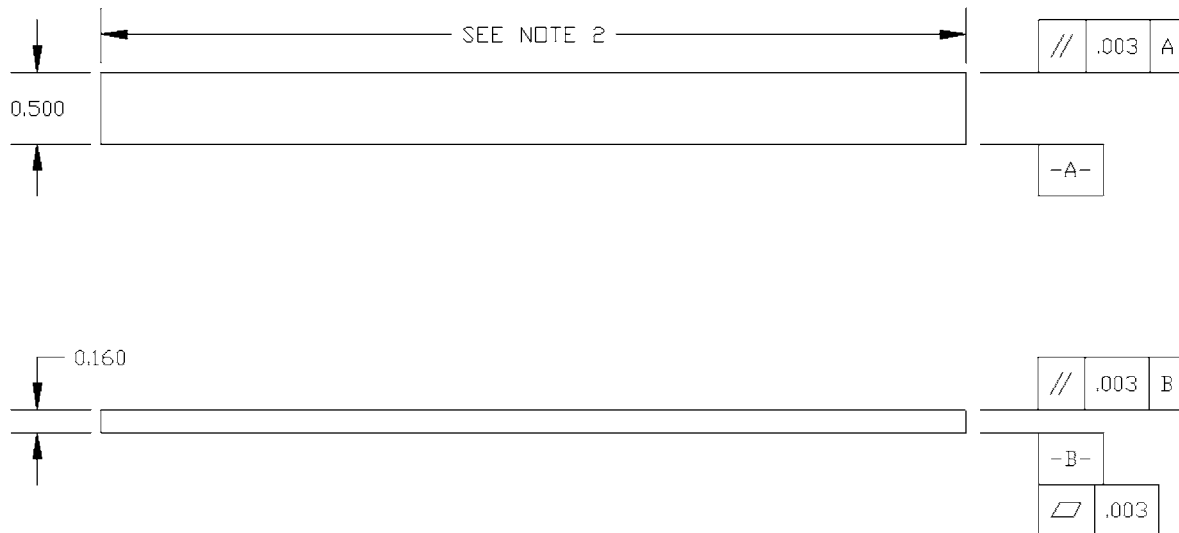
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets 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)



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. 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

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):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1}$$

where:

- $\sigma$  = 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.<sup>4</sup> 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):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \tag{2}$$

where:

- $\sigma$  = 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

<sup>4</sup> For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, 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:

- $\epsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- $\delta$  = 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:

- $\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],
- $\epsilon$  = 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.<sup>5</sup> 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:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

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.

<sup>5</sup> For 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

(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.

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.

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.

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.

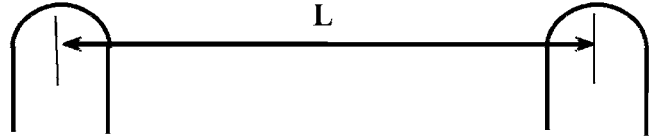


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

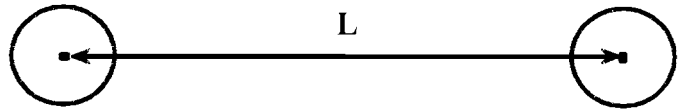


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

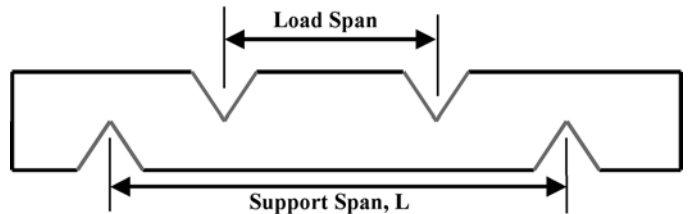


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

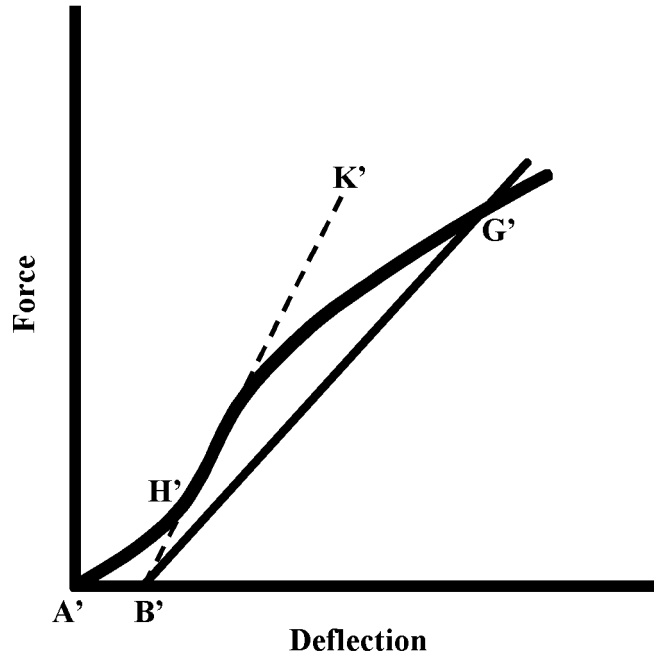


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

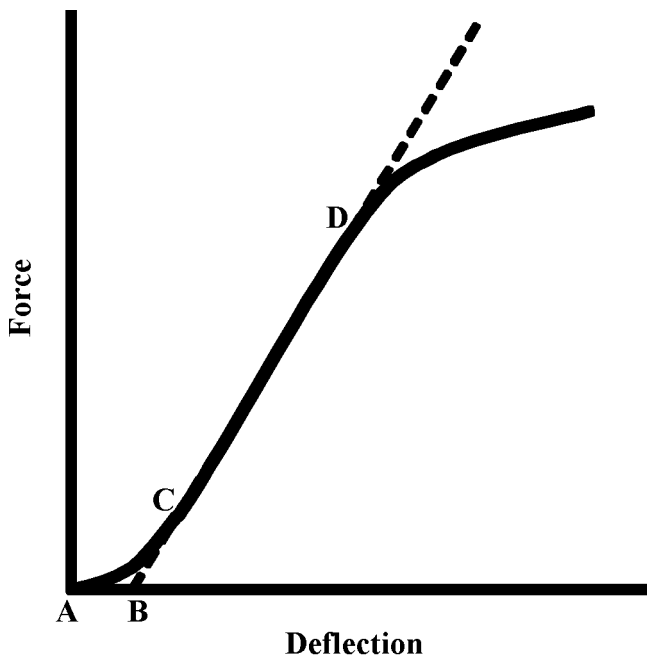


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

*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](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*





## Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D5628; 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 ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

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 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics
- D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method
- D2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)
- D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6779 Classification System for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

#### 2.2 ISO Standards:<sup>3</sup>

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D883 and D1600.

#### 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, to the product of the constant mass and the 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 example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

<sup>3</sup> Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

<sup>1</sup> 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 July 1, 2010. Published July 2010. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2007 as D5628 - 07. DOI: 10.1520/D5628-10.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

3.2.5 *tup*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (*tup*) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is 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 Brucceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).<sup>4</sup> 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 *tup* 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 are likely to 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 can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC should 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 *tup* used in Geometry FB minimizes problems with *tup* 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 D1709. They have been

<sup>4</sup> The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

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 D3763.

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 *tup* must be somewhat arbitrary. Although a choice of *tup* geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall 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 greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. 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 is 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 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.

#### 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.

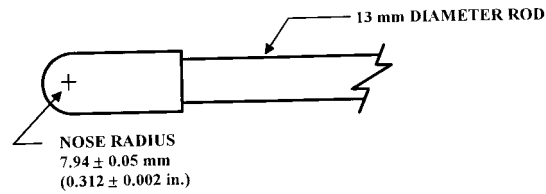


FIG. 1 (a)

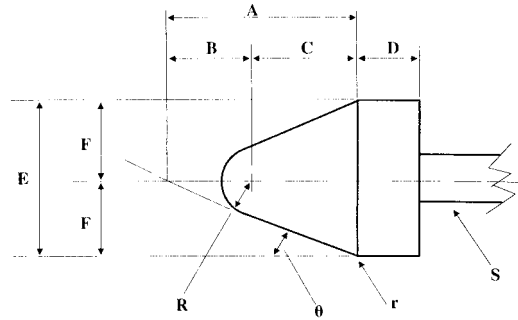


FIG. 1 (b)

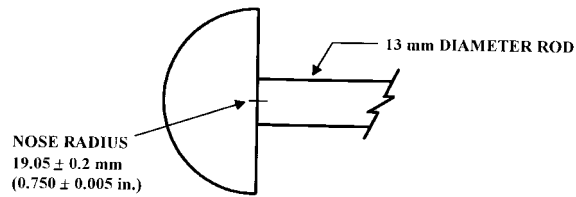


FIG. 1 (c)

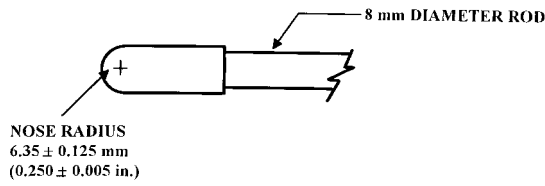


FIG. 1 (d)

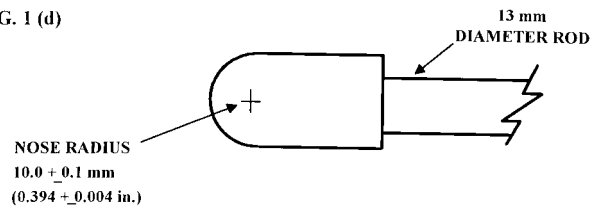


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±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) <sup>A</sup>	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

<sup>A</sup> Larger diameter shafts shall be used.

FIG. 1 Tup Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

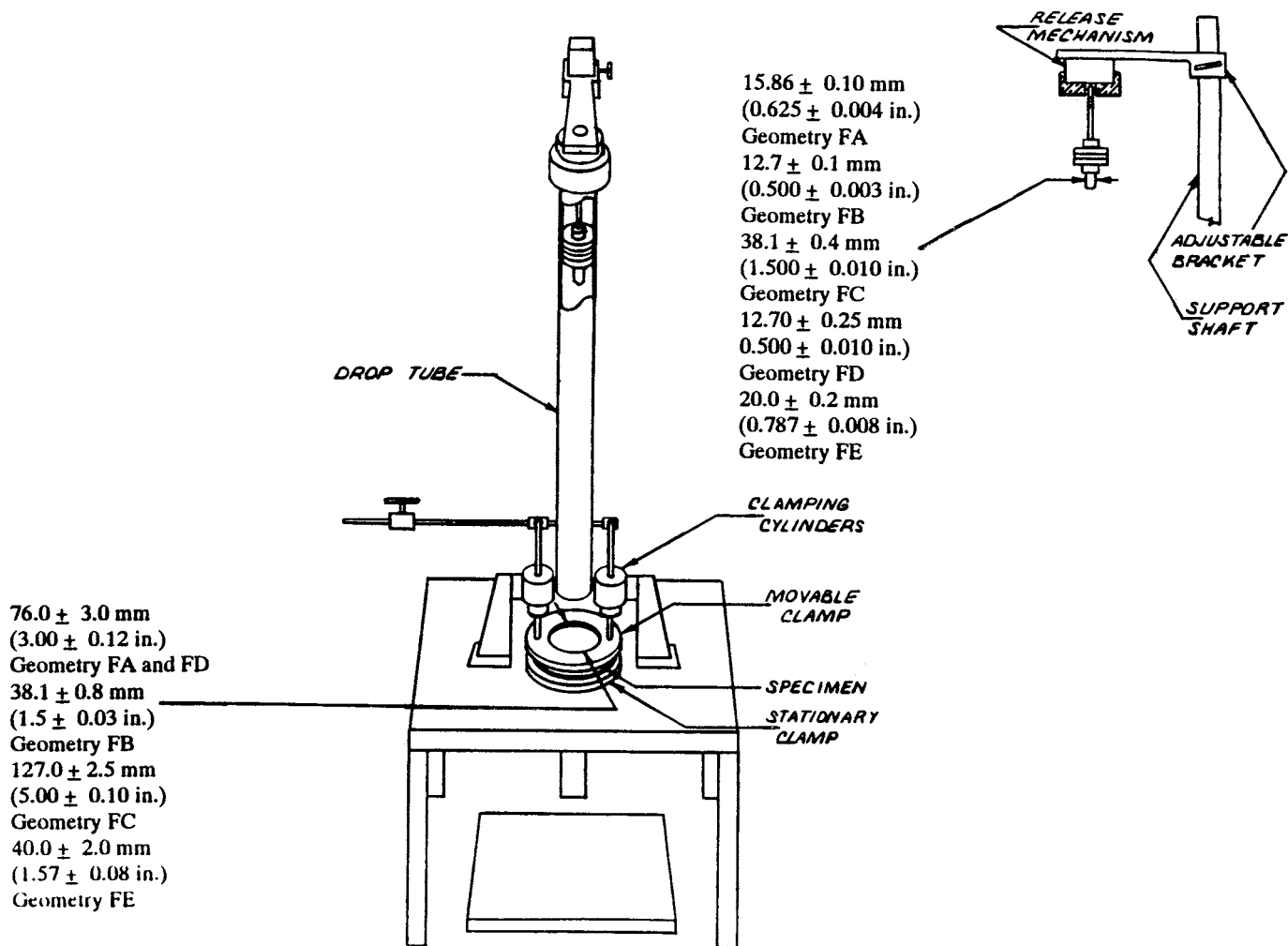


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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.). 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 are 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 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

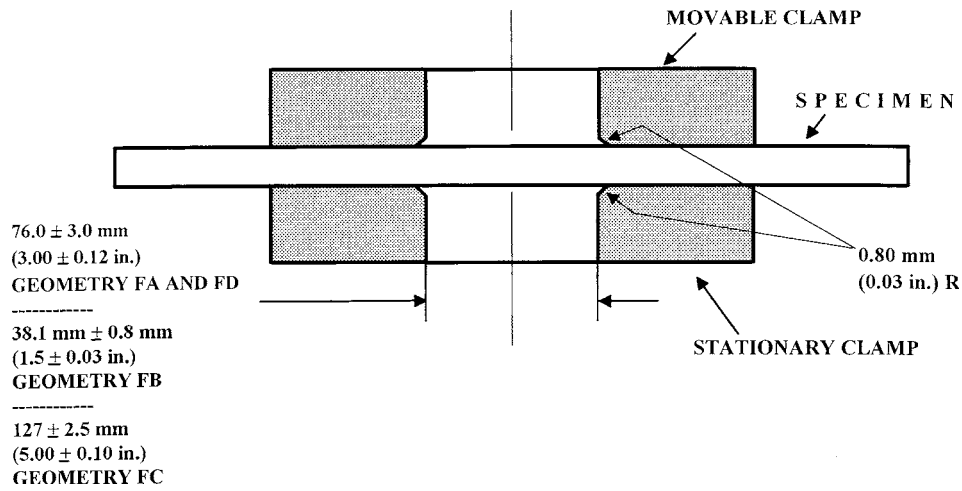


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

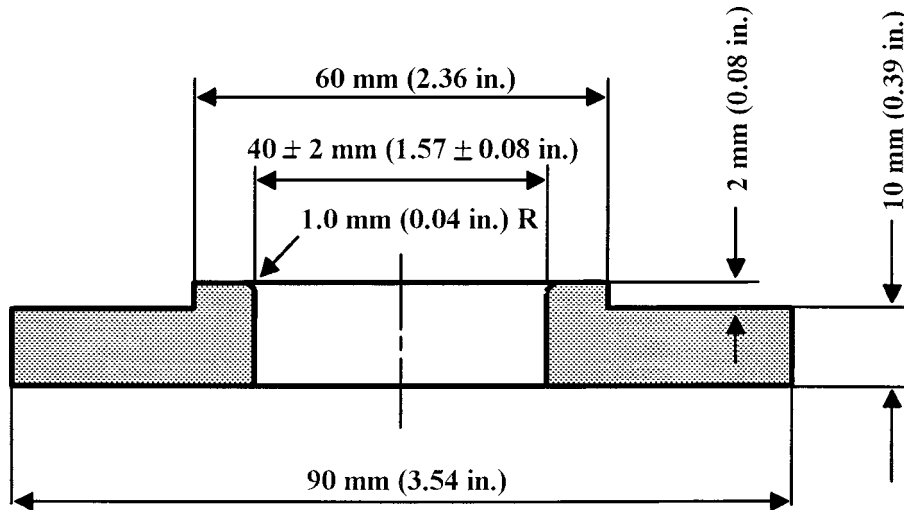


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

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)

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

**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)

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

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 [D5947](#) for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of  $\pm 1$  %.

## 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 tup. A tube or cage can contain the tup 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 tup. Figure 2 of Test Method [D2444](#) shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

## 9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section [14](#).

## 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 data shall not be used for referee purposes. For compliance with [ISO 6603-1](#) the test specimen shall be  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) in diameter or  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) square with a thickness of  $2 \pm 0.1$  mm ( $0.08 \pm 0.004$  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 range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. 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, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice [D618](#), for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. 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 polyamides, the material specifications (for example, Classification System [D6779](#)) 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 at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

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 [D618](#).

## 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.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is not necessary to measure each specimen. It is sufficient to

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

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  $0.660 \pm 0.008$  m ( $26.0 \pm 0.3$  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 D618. 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 is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

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 shall 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 can 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:

$s_w$  = estimated standard deviation, mass, kg

$s_h$  = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

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:

$$S_{\bar{w}} = G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_{\bar{h}} = G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$S_{\bar{h}}$  = estimated standard deviation of the mean height, mm,

$s_w$  = estimated standard deviation of the mean mass, kg,  
and

$G$  = factor that is a function of  $s/d$  (see Appendix X2).

A sample computation of  $s_w$  is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of  $G$  at other levels of  $s/d$ , 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:

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

$S_{MFE}$  = 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,

**TABLE 3 Precision, Method FB**

Material	Mean, $J$	Values Expressed as Percent of the Mean	
		$V_r$	$r$
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) <sup>A</sup>	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) <sup>A</sup>	11.8	14.9	42.2

<sup>A</sup> Data generated in three laboratories.

$V_r$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$ .

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 (D5628), 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 robin<sup>5</sup> 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 E691. 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. (**Warning**—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 not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 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  $V_r$  and  $V_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

<sup>5</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.



TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, <i>J</i>	Values Expressed as Percent of the Mean	
		<i>V<sub>r</sub></i>	<i>r</i>
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene–Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

*V<sub>r</sub>* = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
*r* = 2.83 *V<sub>r</sub>*.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton 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)

#### X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n<sub>x</sub></i>	<i>n<sub>o</sub></i>	<i>i</i>	<i>n<sub>i</sub></i>	<i>in<sub>1</sub></i>	<i>i<sup>2</sup>n<sub>1</sub></i>
	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 ( <i>N<sub>g</sub></i> )	11 ( <i>N<sub>o</sub></i> )		9 ( <i>N</i> )	6 ( <i>A</i> )	8 ( <i>B</i> )

$$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$$

$$w = w_o + d(A/N - 0.5) = 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5) = 7.17 \text{ kg}$$

$$s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029] = 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029] = 0.77 \text{ kg}$$

$$s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$$

$$s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$$

**TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean**

<i>s/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	1.095	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, SPPPB*, 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.

## SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

- (1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618.
- (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

*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). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).*

Anexo 5.- Informe técnico del ensayo a Tracción



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:180416255820170516-ETC</b>	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Luis Alfredo Toapanta Muyulema.	
<b>DIRECCIÓN:</b> Ambato, Pichuia.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 18041625582	<b>TELÉFONO:</b> 0999914670
<b>E-MAIL:</b> luitoapanta@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Material matriz polimérica con refuerzo de fibra de polipropileno.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D3039-2015.

Número de Probetas cuantificadas.

Grupo o N°	Configuración del refuerzo	Longitud de fibra(mm)	Orientación de fibra	Fracción volumétrica Matriz- Refuerzo	Masa de refuerzo requerido (g)		Número de probetas a ensayar
					Nominal	Real	
1	Fibra corta	10	Al azar	80-20%	60.11	25.25	5
2	Fibra larga	54	Longitudinal	80-20%	60.11	25.25	5
3	Fibra corta	10	Al azar	75-25%	75.13	31.55	5
4	Fibra larga	54	Longitudinal	75-25%	75.13	31.55	5
5	Fibra corta	10	Al azar	70-30%	90.15	37.86	5
6	Fibra larga	54	Longitudinal	70-30%	90.15	37.86	5
<b>Total probetas</b>							<b>30</b>

**Nota:** El proceso de fabricación del material compuesto de matriz epoxi y fibra de polipropileno se lo realizó mediante estratificación manual a compresión con un tiempo de secado mínimo de 20 días.

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**

**INFORME N°: 180416255820170516-ETC**

**Designación del material:** Material matriz polimérica con refuerzo de fibra de polipropileno.

**Método de ensayo:** ASTM D3039-2015.

**Empresa / Cliente:** Luis Alfredo Toapanta Muyulema.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 05 de junio de 2017.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 06 de junio de 2017.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**Número de Probetas cuantificadas.**

Grupo N°	Configuración del refuerzo	Longitud de fibra(mm)	Orientación de fibra	Fracción volumétrica Matriz-Refuerzo	Masa de refuerzo requerido (g)		Número de probetas a ensayar
					Nominal	Real	
1	Fibra corta	10	Al azar	80-20%	60.11	25.25	5
2	Fibra larga	54	Longitudinal	80-20%	60.11	25.25	5
3	Fibra corta	10	Al azar	75-25%	75.13	31.55	5
4	Fibra larga	54	Longitudinal	75-25%	75.13	31.55	5
5	Fibra corta	10	Al azar	70-30%	90.15	37.86	5
6	Fibra larga	54	Longitudinal	70-30%	90.15	37.86	5
<b>Total probetas</b>							<b>30</b>

**Nota:** El proceso de fabricación del material compuesto de matriz epoxi y fibra de polipropileno se lo realizó mediante estratificación manual a compresión con un tiempo de secado mínimo de 20 días.

		
<b>Elaborado por:</b>		<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza	Ing. Ángel Balseca	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Ambato, 08 de Junio de 2017.**  
**N°. Factura. 001-002-000002810**

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 09-05-2017  
Revisión: 5

**INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS**



**Resultados:**

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
1	180416255820170516- ETC 01-1	21°C, 51%	a=24,86 b=3,71	2066,59	22,41	974,20	2,3	AGM
2	180416255820170516- ETC 01-2	21°C, 51%	a=25,73 b=3,95	1933,48	19,02	905,90	2,1	LAT
3	180416255820170516- ETC 01-3	21°C, 51%	a=24,93 b=3,92	1941,88	19,87	1034,93	1,92	LAT
4	180416255820170516- ETC 01-4	21°C, 51%	a=24,87 b=3,75	2029,33	21,76	1104,53	1,97	LAT
5	180416255820170516- ETC 01-5	21°C, 51%	a=24,84 b=4,00	2553,86	25,70	1311,38	1,96	AGM
Promedio $\bar{x}$				2105,02	21,75	1066,19	2,05	
Desviación estándar $S_{n-1}$				257,24	2,59	155,49	0,15	
Coeficiente de variación CV				12,22	11,94	14,58	7,57	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
6	180416255820170516- ETC 02-1	21°C, 52%	a=25,03 b=3,36	2152,70	25,59	1084,60	2,36	AGM
7	180416255820170516- ETC 02-2	21°C, 52%	a=24,64 b=3,40	2448,29	29,22	1062,69	2,75	AGM
8	180416255820170516- ETC 02-3	21°C, 52%	a=24,74 b=3,51	1404,08	16,16	908,37	1,78	LAT
9	180416255820170516- ETC 02-4	21°C, 52%	a=24,76 b=3,47	2341,70	27,25	1190,18	2,29	AGM
10	180416255820170516- ETC 02-5	21°C, 52%	a=24,91 b=3,40	1518,72	17,93	974,55	1,84	LAT
Promedio $\bar{x}$				1973,09	23,23	1044,08	2,20	
Desviación estándar $S_{n-1}$				480,66	5,82	107,91	0,40	
Coeficiente de variación CV				24,36	25,06	10,33	18,17	



Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones		Fuerza máxima tracción (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
11	180416255820170516- ETC 03- 1	21°C, 50%	a= 24,89	b=3,09	1626,65	21,15	1208,57	1,75	AGM
12	180416255820170516- ETC 03- 2	21°C, 50%	a= 24,96	b=3,45	2641,65	30,67	1157,61	2,65	AGM
13	180416255820170516- ETC 03- 3	21°C, 50%	a=24,72	b=3,33	2229,07	27,07	1128,28	2,4	AGM
14	180416255820170516- ETC 03- 4	21°C, 50%	a=25,07	b=3,34	2287,99	27,32	1067,36	2,56	LAT
15	180416255820170516- ETC 03- 5	21°C, 50%	a=24,80	b=3,11	1985,35	25,74	1133,96	2,27	AGM
			Promedio $\bar{x}$		2154,14	26,39	1139,16	2,326	
			Desviación estándar $S_{n-1}$		376,80	3,44	51,13	0,35	
			Coeficiente de variación CV		17,49	13,07	4,48	15,20	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones		Fuerza máxima tracción (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
16	180416255820170516- ETC 04- 1	21°C, 50%	a= 24,90	b=3,14	1638,40	20,95	834,86	2,51	LAT
17	180416255820170516- ETC 04- 2	21°C, 50%	a= 24,97	b=3,29	829,69	10,09	841,62	1,2	AGM
18	180416255820170516- ETC 04- 3	21°C, 50%	a=24,94	b=3,18	1530,81	19,30	1005,30	1,92	AGM
19	180416255820170516- ETC 04- 4	21°C, 50%	a=24,73	b=3,01	1304,38	17,52	1018,79	1,72	AGM
20	180416255820170516- ETC 04- 5	21°C, 50%	a=24,88	b=3,22	1450,24	18,10	830,38	2,18	LAT
			Promedio $\bar{x}$		1350,70	17,19	906,19	1,906	
			Desviación estándar $S_{n-1}$		315,71	4,17	96,83	0,49	
			Coeficiente de variación CV		23,37	24,30	10,68	25,87	



Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
			a	b					
21	180416255820170516- ETC 05- 1	21°C, 50%	a=25,12	b=3,34	857,89	10,22	774,62	1,32	LIT
22	180416255820170516- ETC 05- 2	21°C, 50%	a=24,92	b=3,51	382,37	4,37	553,35	0,79	LAT
23	180416255820170516- ETC 05- 3	21°C, 50%	a=24,72	b=3,28	988,14	12,18	982,82	1,24	LAT
24	180416255820170516- ETC 05- 4	21°C, 50%	a=24,74	b=3,43	639,35	7,53	697,62	1,08	AGM
25	180416255820170516- ETC 05- 5	21°C, 50%	a=24,67	b=3,56	858,39	9,77	775,702	1,26	LAT
			Promedio $\bar{x}$		745,22	8,81	756,82	1,138	
			Desviación estándar $S_{n-1}$		238,42	2,98	155,44	0,21	
			Coeficiente de variación CV		31,99	33,86	20,53	18,78	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
			a	b					
26	180416255820170516- ETC 06- 1	21°C, 61%	a=24,83	b=3,60	2324,92	26,01	1012,03532	2,57	AGM
27	180416255820170516- ETC 06- 2	21°C, 61%	a=24,80	b=3,51	2038,06	23,41	992,078791	2,36	AGM
28	180416255820170516- ETC 06- 3	21°C, 61%	a=24,63	b=3,67	2498,14	27,63	918,16303	3,01	AGM
29	180416255820170516- ETC 06- 4	21°C, 61%	a=24,77	b=3,52	2359,83	27,06	1078,29682	2,51	AGM
30	180416255820170516- ETC 06- 5	21°C, 61%	a=24,92	b=3,56	2417,91	27,25	998,342244	2,73	LAT
			Promedio $\bar{x}$		2327,77	26,27	999,783242	2,636	
			Desviación estándar $S_{n-1}$		174,72	1,710	57,0915717	0,25	
			Coeficiente de variación CV		7,50	6,50	5,71	9,39	



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Nomenclatura:**

**De tipo de falla evaluado:** El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer caracter	Segundo caracter	Tercer caracter	Parte superior
L	A	T	Parte superior
L	I	T	Parte superior
A	G	M	Medio

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 09-05-2017  
Revisión: 5

**INFORME DE ENSAYO DE  
TRACCIÓN MATERIALES  
COMPUESTOS**

Página 5 de 5



# Informe técnico del ensayo a Flexión



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

## RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°: 180416255820170606-EFC</b>	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Luis Alfredo Toapanta Muyulema.	
<b>DIRECCIÓN:</b> Ambato, Picahuia.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 18041625582	<b>TELÉFONO:</b> 0999914670
<b>E-MAIL:</b> luitoapanta@gmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Material matriz polimérica con refuerzo de fibra de polipropileno.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D7264-2015.

### Número de Probetas cuantificadas.

Grupo N°	Configuración del refuerzo	Longitud de fibra(mm)	Orientación de fibra	Fracción volumétrica a Matriz-Refuerzo	Masa de refuerzo requerido (g)		Número de probetas a ensayar
					Nominal	Real	
1	Fibra corta	10	Al azar	80-20%	60.11	25.25	5
2	Fibra larga	54	Longitudinal	80-20%	60.11	25.25	5
3	Fibra corta	10	Al azar	75-25%	75.13	31.55	5
4	Fibra larga	54	Longitudinal	70-30%	90.15	37.86	5
<b>Total probetas</b>							<b>20</b>

**Nota:** El proceso de fabricación del material compuesto de matriz epoxi y fibra de polipropileno se lo realizó mediante estratificación manual a compresión con un tiempo de secado mínimo de 20 días.

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**  
**INFORME N°: 180416255820170606-EFC**

**Designación del material:** Material matriz polimérica con refuerzo de fibra de polipropileno.

**Método de ensayo:** ASTM D7264-2015. **Procedimiento:** A

**Empresa / Cliente:** Luis Alfredo Toapanta Muyulema.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 13 de junio de 2017.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 13 de junio de 2017




Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**Número de Probetas cuantificadas.**

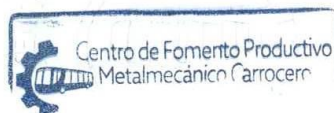
Grupo N°	Configuración del refuerzo	Longitud de fibra(mm)	Orientación de fibra	Fracción volumétrica a Matriz-Refuerzo	Masa de refuerzo requerido (g)		Número de probetas a ensayar
					Nominal	Real	
1	Fibra corta	10	Al azar	80-20%	60.11	25.25	5
2	Fibra larga	54	Longitudinal	80-20%	60.11	25.25	5
3	Fibra corta	10	Al azar	75-25%	75.13	31.55	5
4	Fibra larga	54	Longitudinal	70-30%	90.15	37.86	5
<b>Total probetas</b>							<b>20</b>

**Nota:** El proceso de fabricación del material compuesto de matriz epoxi y fibra de polipropileno se lo realizó mediante estratificación manual a compresión con un tiempo de secado mínimo de 20 días.

**Distancia entre apoyos:** 110 mm

		
<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	
Ing. Fernando Galarza	Ing. Ángel Balseca	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Ambato, 14 de Junio de 2017.**  
**N°. Factura. 001-002-000002810**





**Resultados.**

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
1	180416255820170606-EFC 01 -1	17°C, 79%	a=12,65 b=3,46	43,47	29,678	47,36	930,15	5,09	OAB
2	180416255820170606-EFC 01 -2	17°C, 79%	a=12,67 b=3,54	42,13	26,398	43,78	944,83	4,63	OAB
3	180416255820170606-EFC 01 -3	17°C, 79%	a=12,53 b=3,51	30,55	16,469	32,65	1139,17	2,87	OAB
4	180416255820170606-EFC 01 -4	17°C, 79%	a=12,68 b=3,51	30,55	18,303	32,27	1012,90	3,19	OAB
5	180416255820170606-EFC 01 -5	17°C, 79%	a=12,83 b=3,51	43,31	31,711	45,21	819,12	5,52	OLV
Promedio $\bar{x}$				38,00	24,51	40,25	969,23	4,26	
Desviación estándar $S_{n-1}$				6,82	6,81	7,23	117,73	1,17	
Coeficiente de variación CV				17,95	27,77	17,96	12,15	27,56	

Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
6	180416255820170606-EFC 02 -1	18°C, 75%	a=12,61 b=3,42	34,58	22,140	38,68	1030,32	3,75	OAB
7	180416255820170606-EFC 02 -2	18°C, 75%	a=12,66 b=3,55	35,25	18,390	36,45	1126,10	3,24	OLV
8	180416255820170606-EFC 02 -3	18°C, 75%	a=12,98 b=3,42	38,10	31,024	41,41	787,03	5,26	OLV
9	180416255820170606-EFC 02 -4	18°C, 75%	a=12,59 b=3,51	41,63	31,209	44,28	815,26	5,43	OLV
10	180416255820170606-EFC 02 -5	18°C, 75%	a=12,62 b=3,48	39,95	27,935	43,13	894,72	4,82	OLV
Promedio $\bar{x}$				37,90	26,14	40,79	930,69	4,50	
Desviación estándar $S_{n-1}$				3,01	5,68	3,21	144,37	0,96	
Coeficiente de variación CV				7,94	21,71	7,88	15,51	21,37	



Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
11	180416255820170606-EFC 03 -1	17°C, 75%	a= 12,93	b=3,36	41,80	15,066	47,25	1882,26	2,51	OAB
12	180416255820170606-EFC 03 -2	17°C, 75%	a=12,95	b=3,39	49,52	19,266	54,90	1695,27	3,24	OAB
13	180416255820170606-EFC 03 -3	17°C, 75%	a=12,81	b=3,43	46,33	13,718	50,72	2173,99	2,33	OLV
14	180416255820170606-EFC 03 -4	17°C, 75%	a=12,82	b=3,33	44,82	19,042	52,02	1654,46	3,14	OLV
15	180416255820170606-EFC 03 -5	17°C, 75%	a= 12,86	b=3,37	59,42	20,815	67,13	1929,94	3,48	OAB
					Promedio $\bar{x}$	17,58	54,41	1867,18	2,94	
					Desviación estándar $S_{n-1}$	3,03	7,63	208,03	0,49	
					Coefficiente de variación CV	7,94	14,02	11,14	16,78	

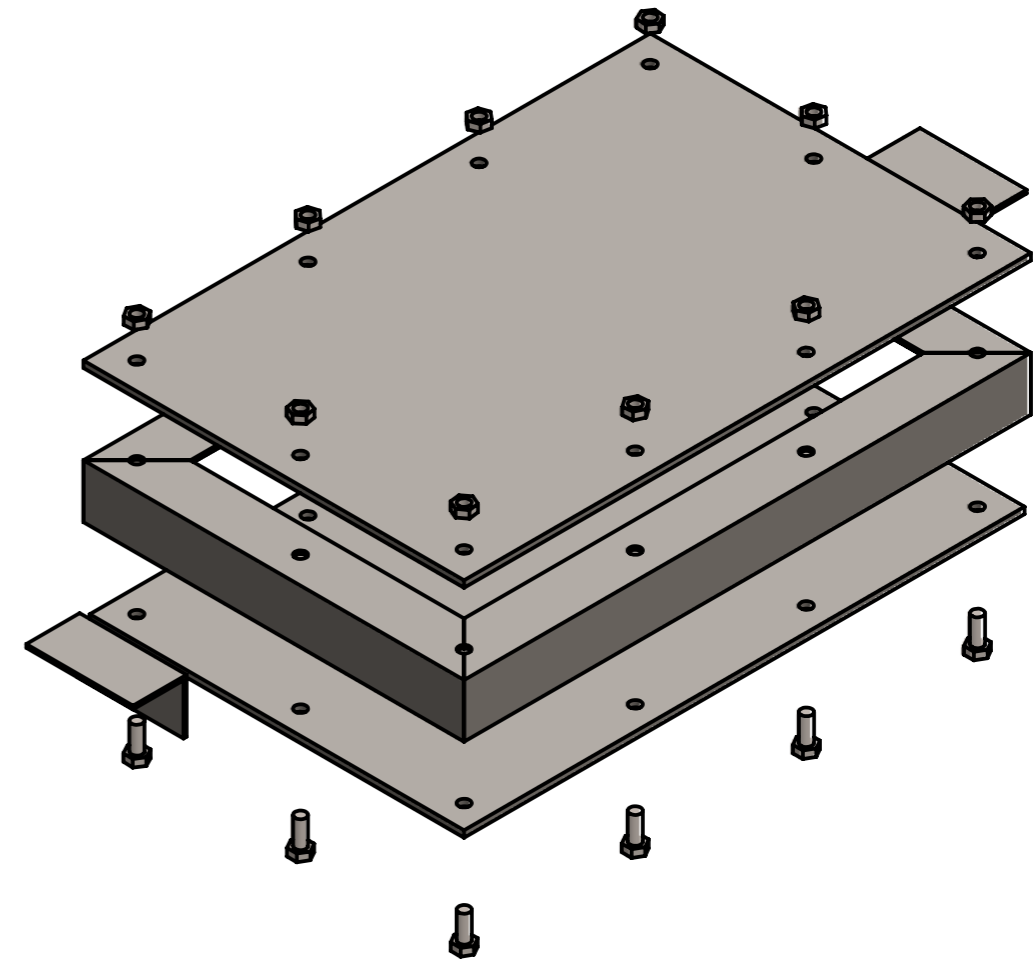
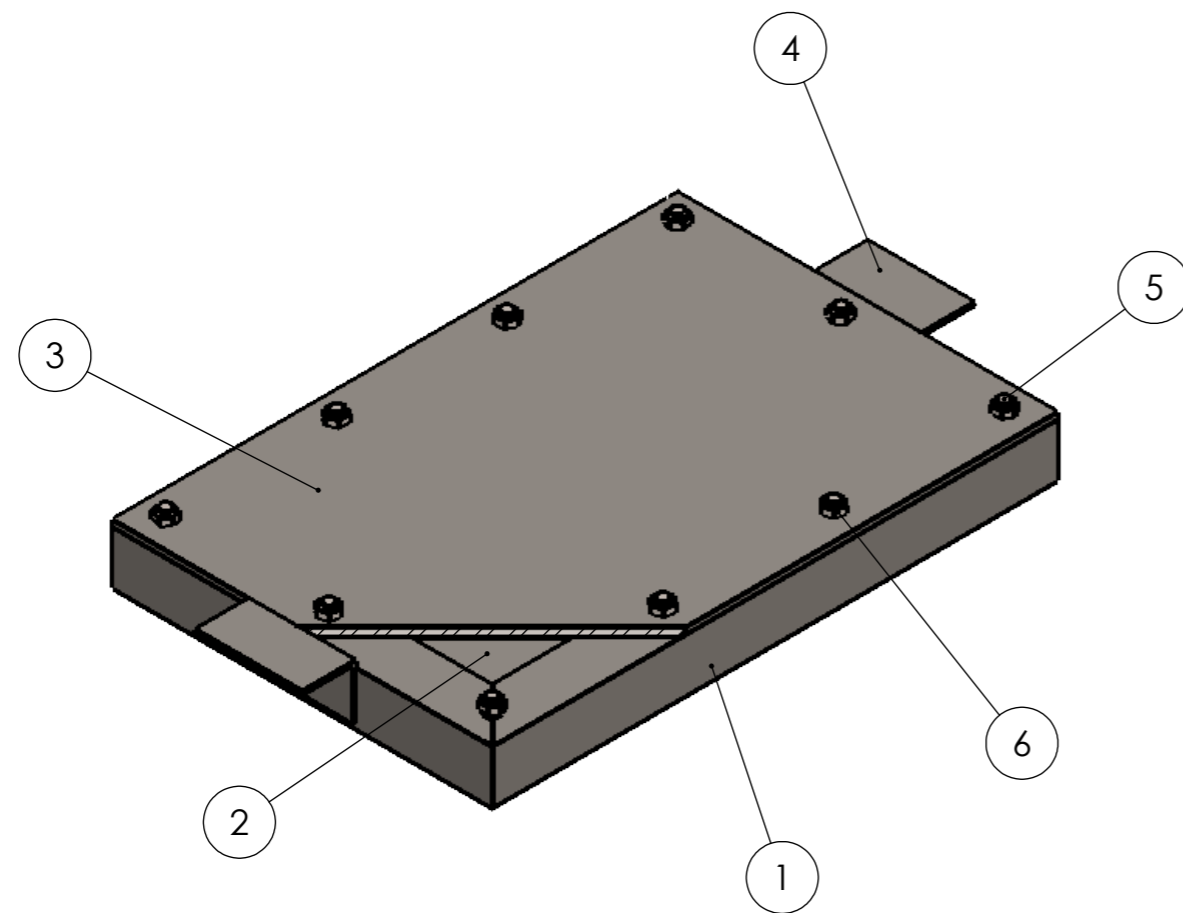
Pro beta	Identificación de probeta	Temperatura y humedad	Dimensiones		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad secante de flexión (Mpa)	Deformación máxima (%)	Tipo de falla evaluado
16	180416255820170606-EFC 04 -1	17°C, 74%	a=12,58	b=3,44	44,15	16,203	48,93	1770,51	2,76	OAB
17	180416255820170606-EFC 04 -2	17°C, 74%	a=12,56	b=3,52	47,67	20,100	50,54	1440,62	3,51	OAB
18	180416255820170606-EFC 04 -3	17°C, 74%	a=12,69	b=3,42	42,63	17,533	47,39	1593,81	2,97	OAB
19	180416255820170606-EFC 04 -4	17°C, 74%	a= 12,69	b=3,45	46,16	17,731	50,43	1662,39	3,03	OAB
20	180416255820170606-EFC 04 -5	17°C, 74%	a=12,64	b=3,39	45,32	18,190	51,48	1683,56	3,06	OAB
					Promedio $\bar{x}$	17,95	49,75	1630,18	3,07	
					Desviación estándar $S_{n-1}$	1,41	1,61	123,32	0,27	
					Coefficiente de variación CV	7,86	3,23	7,56	8,88	



**Nomenclatura:**

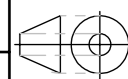
**De tipo de falla evaluado:** el tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D2764-2015.

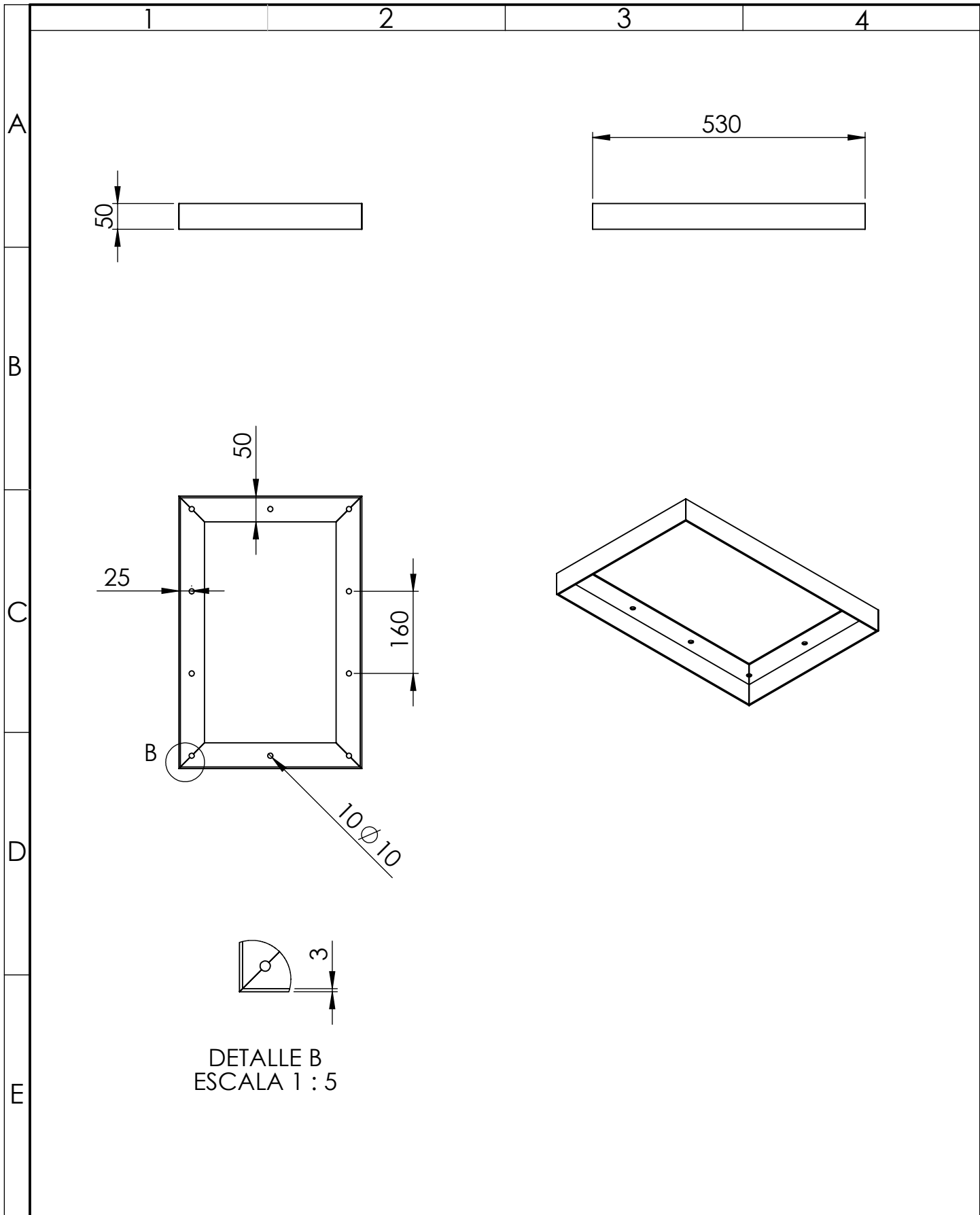
Primer carácter	Segundo carácter	Tercer carácter	Fondo
O	A	B	Fondo
O	L	V	varios



6	Tuerca hexagonal rosca M12	Acero	10
5	Perno Hexagonal de rosca gruesa 1*1/2	Acero	10
4	Agarre	Acero ASTM A-36	2
3	Tapa	Acero ASTM A-36	1
2	Base	Acero ASTM A-36	1
1	Marco	Perfil estructural L 2*2*1/8	1
N.º DE ELEMENTO	ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±1		18.4Kg		VARIOS	
FECHA		NOMBRE		TÍTULO:	
DIBUJÓ: 24/06/2018		Luis Toapanta		ENSAMBLE	
REVISÓ: 26/06/2018		Ing. María Paredes			
APROBÓ: 26/06/2018		Ing. María Paredes			
U.T.A.				N.º DE LÁMINA	
INGENIERÍA MECÁNICA				HOJA 1 DE 5	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:	
				REGISTRO:	

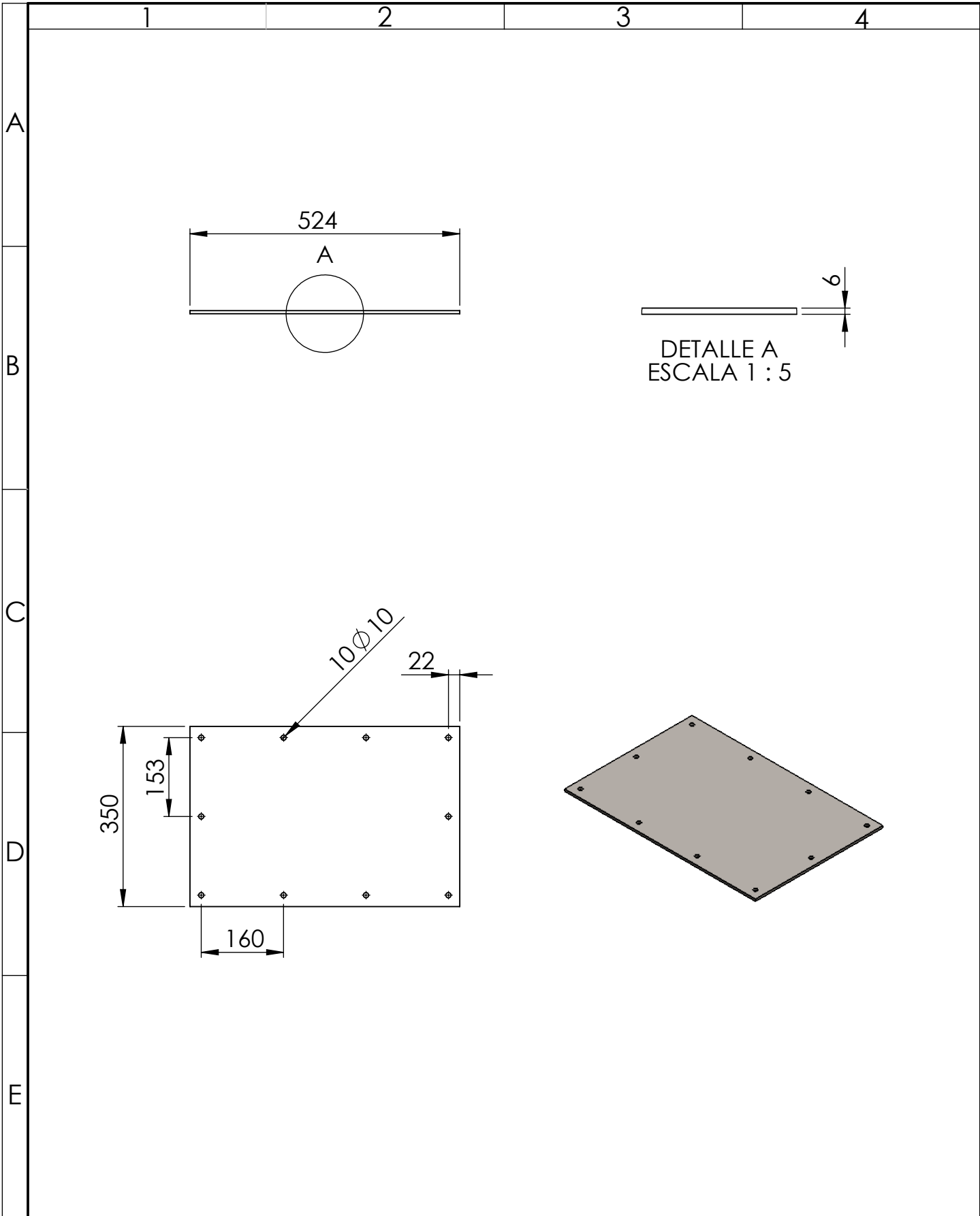




DETALLE B  
ESCALA 1 : 5

				Tolerancia: ±1	Peso: Kg:5.5	MATERIAL: ACERO ASTM A-36		
						TÍTULO: <b>MARCO</b>	Escala: 1:10	
				Dibujo:	24/06/2018		Luis Topanta	
				Reviso:	26/06/2018		Ing. María B. Paredes	
				Aprobo:	26/06/2018	Ing. María B. Paredes		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 2 DE 5	Registro:	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:		





				Tolerancia:	Peso:	MATERIAL:	
				±1	Kg:4.5	ACERO ASTM A-36	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				Dibujo:	24/06/2018	Luis Topanta	BASE
				Reviso:	26/06/2018	Ing. María B. Paredes	
				Aprobo:	26/06/2018	Ing. María B. Paredes	
				U.T.A.		Número de Lámina:	Escala:
				INGENIERÍA MECÁNICA		3 DE 5	1:10
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:	Registro:
							☐ ⊕



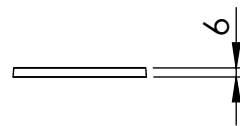
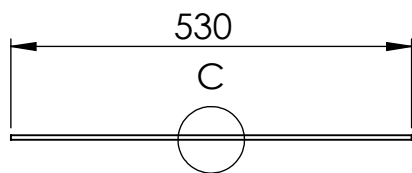
1

2

3

4

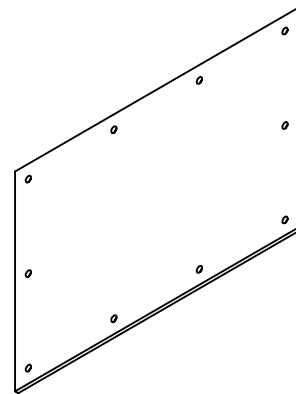
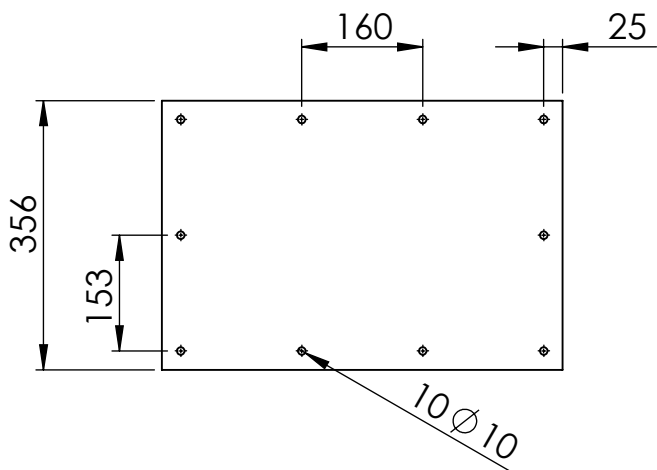
A



DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

B

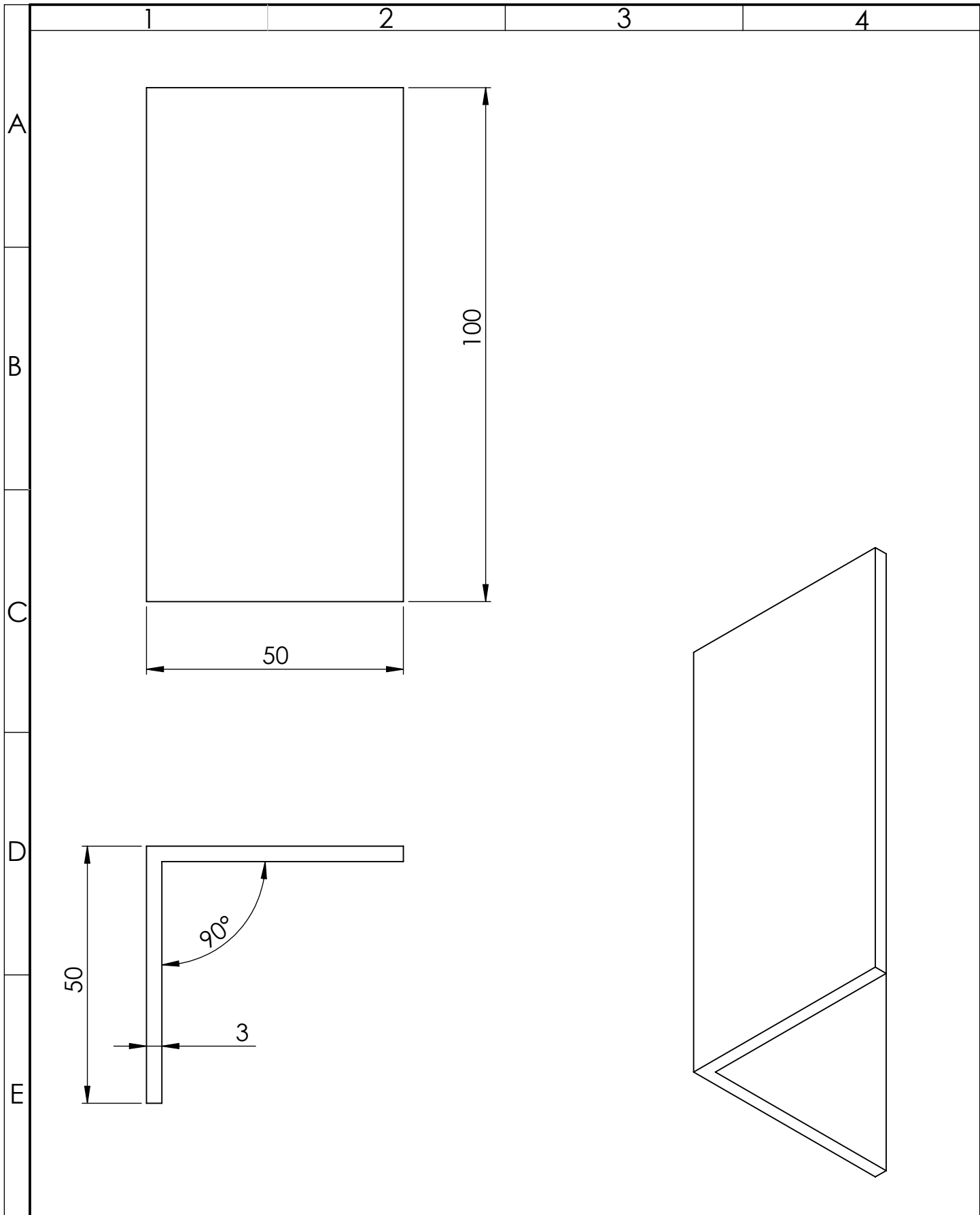
C



D

E

				Tolerancia: $\pm 1$	Peso: Kg:5.7	MATERIAL:  ACERO ASTM A-36		
						TÍTULO:  <b>TAPA</b>	Escala:  1:10	
				Dibujo:	24/06/2018		Luis Topanta	
				Reviso:	26/06/2018		Ing. María B. Paredes	
				Aprobo:	26/06/2018	Ing. María B. Paredes		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 4 DE 5	Registro: 	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:		



				Tolerancia: ±1	Peso: Kg:0.9	MATERIAL: ACERO ASTM A-36		
						TÍTULO: <b>AGARRE</b>	Escala: 1:1	
				Dibujo:	24/06/2018		Luis Topanta	
				Reviso:	26/06/2018		Ing. María B. Paredes	
				Aprobo:	26/06/2018	Ing. María B. Paredes		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Número de Lámina: 5 DE 5	Registro:	
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:		