



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO**

**AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA:**

**CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE  
RESINA EPÓXICA REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA  
COMPARADO CON LA MISMA RESINA REFORZADO CON FIBRA  
DE CAÑA DE AZÚCAR.**

**AUTOR: LENIN STALIN PONCE TOBAR**

**DIRECTOR: ING. ROMMEL PAÚL IMBAQUINGO NAVARRETE, MSc.**

**IBARRA, FEBRERO 2020**

## CERTIFICADO

### ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

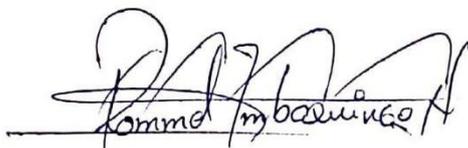
En calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

### CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "caracterización de un material compuesto a base de resina epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma resina reforzado con fibra de caña de azúcar" presentado por el señor: Lenin Stalin Ponce Tobar con el número de cedula 040146556-2 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 28 días del mes de febrero del 2020

Atentamente



Ing. Rommel Paúl Imbaquingo Navarrete MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO**



## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CEDULA DE IDENTIDAD:	040146556-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ponce Tobar Lenin Stalin		
DIRECCIÓN:	Barrio la Victoria/ Calle Hugo Guzmán y Alfredo Albuja		
EMAIL:	lsponcet@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO	062245288	TELÉFONO MÓVIL:	0997561492
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPÓXICA REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA COMPARADO CON LA MISMA RESINA REFORZADO CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR.		
AUTOR (ES):	Lenin Stalin Ponce Tobar		
FECHA:	28 de Febrero del 2020		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO	<input type="checkbox"/> POSGRADO	
TÍTULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ		
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Rommel Paúl Imbaquingo Navarrete, MSc.		

## 2. CONSTANCIA

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de febrero del 2020

**AUTOR:**



---

Firma

---

Lenin Stalin Ponce Tobar

---

Cédula: 0401465562

## DEDICATORIA

A mis padres, por haberme dado el regalo de la vida. De manera muy especial a Guadalupe, mi madre; quien con todo su amor ha sabido guiarme y apoyarme en mi vida académica y personal impulsándome a cumplir cada logro que me he propuesto en la vida.

Al amor de mi vida Milena, quien ha estado a mi lado de manera incondicional siendo mi fortaleza en los momentos difíciles, así como también, brindándome su compañía, alegría y amor a lo largo de toda esta etapa universitaria.

A mi hermana Jennifer, por ser un ejemplo en mi vida y brindarme siempre su apoyo.

A mi sobrina Jeymi, quien con su espíritu de niña llena mi vida de felicidad.

*Stalin Ponce*

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme paciencia, ganas de vivir, estudiar y superarme cada día para alcanzar un mejor futuro y lograr ser un ejemplo para las generaciones futuras.

A mi madre, Guadalupe quien con sus consejos, apoyo y sacrificio me ha impulsado a alcanzar todas las metas que me he propuesto, mi hermana Jennifer quien ha sido mi ejemplo a seguir y mi sobrina Jeymi quien con su inocencia y alegría me ha regalado momentos de felicidad.

Al amor de mi vida, Milena quien ha estado junto a mí en los momentos difíciles brindándome su amor incondicional y me ha motivado a ser mejor cada día.

A la Universidad Técnica del Norte, quien se ha convertido en mi segundo hogar y me ha permitido formarme personal y profesionalmente, a la toda la planta docente de la carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, en especial al Ing. Rommel Imbaquingo, MSc. Director de tesis, Ing. Erik Hernández MSc, y al Ing. Darwin Almeida, MSc. por ser partícipes de este trabajo de grado y haber contribuido a su desarrollo.

*Stalin Ponce*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>PÁGINA</b>
<b>RESUMEN</b>	xix
<b>ABSTRACT</b>	xx
<b>INTRODUCCIÓN</b>	xxi
<b>CAPÍTULO I</b>	1
<b>1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 ALCANCE	3
1.4 ANTECEDENTES	3
1.5 MATERIALES COMPUESTOS	5
1.5.1 Clasificación de los materiales compuestos	6
1.5.2 Componentes de los materiales compuestos	8
1.6 MATERIALES COMPUESTOS DE RESINA EPÓXICA REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA Y MISMA MATRIZ CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR.	10
1.6.1 Matrices y refuerzos	10
1.6.2 Unión y falla	11
1.6.3 Matrices poliméricas	12
1.6.3.1 Tipos de matrices poliméricas	12
1.6.4 Resinas epóxicas	14
1.6.4.1 Características	15
1.6.4.2 Propiedades de las resinas	16

1.6.4.3 Clases de resinas epoxi	17
1.6.4.4 Aplicaciones de resinas epóxicas	17
1.6.5 Refuerzo con fibras	18
1.6.5.1 Fibras	18
1.6.5.2 Propiedades mecánicas de fibras naturales	20
1.6.5.3 Fibra de cabuya	21
1.6.5.4 Caña de azúcar	25
<b>1.7 ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.</b>	<b>29</b>
1.7.1 Ensayo de tracción	29
1.7.2 Ensayo de flexión	30
1.7.3 Ensayo de impacto	31
1.7.4 Fractografía	32
1.7.4.1 Microscopía electrónica	33
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>34</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>34</b>
2.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO	34
2.1.1 Tipo de investigación	34
2.1.1.1 Exploratoria	34
2.1.1.2 Descriptiva	34
2.1.1.3 Bibliográfica	35
2.1.1.4 Experimental	35
2.1.2 Población y muestra	35
2.1.3 Operación de variables	36
2.1.3.1 Variable Independiente	36
2.1.3.2 Variable Dependiente	37
2.1.4 Recolección de información	37
2.1.5 Procesamiento y análisis	38
2.1.5.1 Procesamiento y análisis de información	38
2.1.5.2 Análisis e interpretación de resultados	38

2.2 PROCEDIMIENTO	40
2.2.1 Producción de la fibra de refuerzo	40
2.2.1.1 Fibra de Cabuya	40
2.2.1.2 Fibra de Caña de Azúcar	41
2.2.2 Cálculo de la masa en (g) de la fibra	41
2.2.2.1 Volumen de las probetas a tracción	41
2.2.2.2 Volumen de las probetas a flexión	42
2.2.2.3 Volumen de las probetas de impacto	43
2.2.2.4 Condiciones de las probetas	44
2.2.3 Fabricacion de las probetas	54
2.2.3.1 Fabricación del molde	54
2.2.3.2 Configuración de las fibras	55
2.2.3.3 Proceso de obtención de probetas a tracción, flexión e impacto.	56
<b>CAPITULO III</b>	61
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	61
3.1 RECOLECCIÓN DE DATOS	61
3.1.1 Fichas de reporte de ensayos de tracción	62
3.1.2 Fichas de reporte de ensayos de flexión	70
3.1.3 Fichas de reporte de ensayos de impacto	78
3.1.4 Fichas de reporte de ensayos fractográficos	82
3.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	86
3.2.1 Ensayo a tracción	86
3.2.1.1 Material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya	86
3.2.1.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar	89
3.2.1.3 Material compuesto resina epóxica + cabuya vs resina epóxica + caña de azúcar	91
3.2.2 Ensayo a flexión	97
3.2.2.1 Material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya	97
3.2.2.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar	99
3.2.2.3 Material compuesto resina epóxica + cabuya vs resina epóxica + caña de azúcar	102

3.2.3 Ensayo a impacto	107
3.2.3.1 Material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya	107
3.2.3.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar	109
3.2.3.2 Material compuesto resina epóxica + cabuya vs resina epóxica + caña de azúcar	111
3.2.4 Planteamiento y verificación de la hipótesis	116
3.2.4.1 Material compuesto de resina epoxi y fibra de cabuya	116
3.2.4.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar	119
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>123</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>123</b>
4.1 CONCLUSIONES	123
4.2 RECOMENDACIONES	124
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>126</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>129</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINAS
<b>Tabla 1.1</b> Estructura, propiedades y aplicación de diferentes polímeros termoestables	14
<b>Tabla 1.2</b> Propiedades físicas de diferentes resinas.	16
<b>Tabla 1.3</b> Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas	20
<b>Tabla 1.4</b> Taxonomía de cabuya	22
<b>Tabla 1.5</b> Composición química de la fibra de cabuya	23
<b>Tabla 2.1</b> Variable Independiente	36
<b>Tabla 2.2</b> Variable Dependiente	37
<b>Tabla 2.3</b> Estructura de grupos de probetas de cabuya	45
<b>Tabla 2.4</b> Estructura de grupos de probetas de caña de azúcar	45
<b>Tabla 2.5</b> Cuadro resumen de los totales en gramos de masa por tipo de refuerzo	53
<b>Tabla 2.6</b> Medida total de la fibra en gramos para la fabricación de probetas	54
<b>Tabla 2.7</b> Orientación de la fibra de cabuya y caña de azúcar	55
<b>Tabla 3.1</b> Representación de la disposición del material y configuración	61
<b>Tabla 3.2</b> Resultado ensayo a tracción primer material con primera configuración	62
<b>Tabla 3.3</b> Resultado ensayo a tracción primer material con segunda configuración	64
<b>Tabla 3.4</b> Resultado ensayo a tracción segundo material con primera configuración	66
<b>Tabla 3.5</b> Resultado ensayo a tracción segundo material con segunda configuración	68
<b>Tabla 3.6</b> Resultado ensayo a flexión primer material con primera configuración	70
<b>Tabla 3.7</b> Resultado ensayo a flexión primer material con segunda configuración	72
<b>Tabla 3.8</b> Resultado ensayo a flexión segundo material con primera configuración	74
<b>Tabla 3.9</b> Resultado ensayo a flexión segundo material con segunda configuración	76
<b>Tabla 3.10</b> Resultado ensayo a impacto primer material con primera configuración	78
<b>Tabla 3.11</b> Resultado ensayo a impacto primer material con segunda configuración	79
<b>Tabla 3.12</b> Resultado ensayo a impacto segundo material con primera configuración	80
<b>Tabla 3.13</b> Resultado ensayo a impacto segundo material con segunda configuración	81
<b>Tabla 3.14</b> Análisis fractográfico primer material- primera configuración	82
<b>Tabla 3.15</b> Análisis fractográfico primer material- segunda configuración	83
<b>Tabla 3.16</b> Análisis fractográfico segundo material- primera configuración	84
<b>Tabla 3.17</b> Análisis fractográfico segundo material- segunda configuración	85

<b>Tabla 3.18</b> Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del primer material con la configuración 1 y 2	88
<b>Tabla 3.19</b> Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del segundo material con la configuración 1 y 2	90
<b>Tabla 3.20</b> Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del primero y segundo material con la configuración 1	93
<b>Tabla 3.21</b> Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del primero y segundo material con la configuración 2	95
<b>Tabla 3.22</b> Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del primer material con la configuración 1	98
<b>Tabla 3.23</b> Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del segundo material con la configuración 1 y 2	101
<b>Tabla 3.24</b> Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del primero y segundo material con la configuración 1	103
<b>Tabla 3.25</b> Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del primero y segundo material con la configuración 2	106
<b>Tabla 3.26</b> Datos estadísticos de la resistencia al impacto del primer material con la configuración 1 y 2	108
<b>Tabla 3.27</b> Datos estadísticos de la resistencia al impacto del segundo material con la configuración 1 y 2	110
<b>Tabla 3.28</b> Datos estadísticos de la resistencia al impacto del segundo material con la configuración 1	112
<b>Tabla 3.29</b> Datos estadísticos de la resistencia al impacto del segundo material con la configuración 2	114

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>PÁGINAS</b>
<b>Figura 1.1</b> Materiales simples	6
<b>Figura 1.2</b> Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo	7
<b>Figura 1.3</b> Clasificación de acuerdo con la geometría del refuerzo	8
<b>Figura 1.4</b> Componentes de un material compuesto	8
<b>Figura 1.5</b> Ilustración de matriz y refuerzo de un material compuesto	9
<b>Figura 1.6</b> Clasificación de los refuerzos por fibras	19
<b>Figura 1.7</b> Refuerzos de alambres, fibras y whiskers	19
<b>Figura 1.8</b> Clasificación de las fibras	20
<b>Figura 1.9</b> Fibras vegetales	21
<b>Figura 1.10</b> Planta de cabuya	21
<b>Figura 1.11</b> Fibra de cabuya	23
<b>Figura 1.12</b> Uso de la cabuya	24
<b>Figura 1.13</b> Plantación de caña de azúcar	25
<b>Figura 1.14</b> Planta caña de azúcar	26
<b>Figura 1.15</b> Fibra de caña de azúcar	27
<b>Figura 1.16</b> Características de la calidad de la caña de azúcar	27
<b>Figura 1.17</b> Orientación de la fibra (a)continua y alineada, (b)discontinua y alineada y (c) discontinua al azar	28
<b>Figura 1.18</b> Máquina de ensayos universal	30
<b>Figura 1.19</b> Esquema del ensayo a flexión a tres puntos.	31
<b>Figura 1.20</b> Máquina de ensayos de impacto por caída de dardo	32
<b>Figura 1.21</b> Determinación de la longitud de una línea irregular (perfil de fractura) usando divisores	32
<b>Figura 2.1</b> Diagrama de flujo del proceso de fabricación y ensayos destructivos de probetas	39
<b>Figura 2.2</b> Dimensión de las probetas a Tracción de acuerdo con la norma ASTM 3039	41
<b>Figura 2.3</b> Dimensión de las probetas a Flexión de acuerdo con la norma ASTM 7264	42
<b>Figura 2.4</b> Dimensión de las probetas a Impacto de acuerdo con la norma ASTM 5628	43
<b>Figura 2.5</b> Molde 1 para obtención de probetas	54
<b>Figura 2.6</b> Molde 2 para obtención de probetas	55

<b>Figura 2.7</b> Enserado de los moldes	56
<b>Figura 2.8</b> Colocación de la fibra en los moldes para mezclar con resina	56
<b>Figura 2.9</b> Molde completo con fibra y resina	57
<b>Figura 2.10</b> Colocación de la tapa del molde	57
<b>Figura 2.11</b> Desmontaje de la probeta del molde	58
<b>Figura 2.12</b> Plancha de probetas del material compuesto	58
<b>Figura 2.13</b> Probetas a tracción	59
<b>Figura 2.14</b> Probetas a flexión	59
<b>Figura 2.15</b> Probetas a impacto	60
<b>Figura 3.1</b> Esfuerzo máximo probetas a tracción primer material- primera configuración	63
<b>Figura 3.2</b> Carga vs deformación ensayo tracción primer material-primera configuración	63
<b>Figura 3.3</b> Esfuerzo máximo probetas a tracción primer material- segunda configuración	65
<b>Figura 3.4</b> Carga vs deformación ensayo tracción primer material- segunda configuración	65
<b>Figura 3.5</b> Esfuerzo máximo probetas a tracción segundo material- primera configuración	67
<b>Figura 3.6</b> Carga vs deformación ensayo tracción segundo material- primera configuración	67
<b>Figura 3.7</b> Esfuerzo máximo probetas a tracción segundo material- segunda configuración	69
<b>Figura 3.8</b> Carga vs deformación ensayo tracción segundo material-segunda configuración	69
<b>Figura 3.9</b> Esfuerzo máximo probetas a flexión primer material- primera configuración	71
<b>Figura 3.10</b> Carga vs deformación ensayo flexión primer material-primera configuración	71
<b>Figura 3.11</b> Esfuerzo máximo probetas a flexión primer material- segunda configuración	73
<b>Figura 3.12</b> Carga vs deformación ensayo flexión primer material-segunda configuración	73
<b>Figura 3.13</b> Esfuerzo máximo probetas a flexión segundo material- primera configuración	75

<b>Figura 3.14</b> Carga vs deformación ensayo flexión segundo material-primera configuración	75
<b>Figura 3.15</b> Esfuerzo máximo probetas a flexión segundo material- segunda configuración	77
<b>Figura 3.16</b> Carga vs deformación ensayo flexión segundo material-segunda configuración	77
<b>Figura 3.17</b> Comparación resistencia a tracción primer material- dos configuraciones	86
<b>Figura 3.18</b> Comparación módulo de elasticidad primer material- dos configuraciones	87
<b>Figura 3.19</b> Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción del primer material - dos configuraciones	87
<b>Figura 3.20</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción	88
<b>Figura 3.21</b> Comparación resistencia a tracción segundo material- dos configuraciones	89
<b>Figura 3.22</b> Comparación módulo de elasticidad segundo material- dos configuraciones	89
<b>Figura 3.23</b> Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción del segundo material - dos configuraciones.	90
<b>Figura 3.24</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción	91
<b>Figura 3.25</b> Comparación resistencia a tracción primer y segundo material- primera configuración	91
<b>Figura 3.26</b> Comparación módulo de elasticidad primer y segundo material- primera configuración	92
<b>Figura 3.27</b> Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción entre los dos materiales - primera configuración.	92
<b>Figura 3.28</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción	93
<b>Figura 3.29</b> Comparación resistencia a tracción primer y segundo material- segunda configuración	94
<b>Figura 3.30</b> Comparación módulo de elasticidad primer y segundo material- segunda configuración	94
<b>Figura 3.31</b> Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción entre los dos materiales - segunda configuración.	95

<b>Figura 3.32</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción	96
<b>Figura 3.33</b> Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción de los dos materiales - dos configuraciones	96
<b>Figura 3.34</b> Comparación resistencia a flexión primer material- dos configuraciones	97
<b>Figura 3.35</b> Comparación módulo de flexión primer material- dos configuraciones	97
<b>Figura 3.36</b> Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión del primer material - dos configuraciones.	98
<b>Figura 3.37</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión	99
<b>Figura 3.38</b> Comparación resistencia a flexión segundo material- dos configuraciones	99
<b>Figura 3.39</b> Comparación módulo de flexión segundo material- dos configuraciones	100
<b>Figura 3.40</b> Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión del segundo material - dos configuraciones.	100
<b>Figura 3.41</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión	101
<b>Figura 3.42</b> Comparación resistencia a flexión primer y segundo material- primera configuración	102
<b>Figura 3.43</b> Comparación módulo de flexión primer y segundo material- primera configuración	102
<b>Figura 3.44</b> Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión entre los dos materiales – primera configuración.	103
<b>Figura 3.45</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión	104
<b>Figura 3.46</b> Comparación resistencia a flexión primer y segundo material- segunda configuración	104
<b>Figura 3.47</b> Comparación módulo de flexión primer y segundo material- segunda configuración	105
<b>Figura 3.48</b> Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión entre los dos materiales – segunda configuración.	105
<b>Figura 3.49</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión	106

<b>Figura 3.50</b> Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión de los dos materiales - dos configuraciones.	107
<b>Figura 3.51</b> Comparación resistencia al impacto primer material- dos configuraciones	107
<b>Figura 3.52</b> Altura vs energía de fallo a impacto del primer material - dos configuraciones.	108
<b>Figura 3.53</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto	109
<b>Figura 3.54</b> Comparación resistencia el impacto segundo material- dos configuraciones	109
<b>Figura 3.55</b> Altura vs energía de fallo a impacto del segundo material - dos configuraciones.	110
<b>Figura 3.56</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto	111
<b>Figura 3.57</b> Comparación resistencia al impacto primer y segundo material- primera configuración	111
<b>Figura 3.58</b> Comparación de altura vs energía de fallo a impacto entre los dos materiales – primera configuración	112
<b>Figura 3.59</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto	113
<b>Figura 3.60</b> Comparación resistencia al impacto primer y segundo material- segunda configuración	113
<b>Figura 3.61</b> Comparación de altura vs energía de fallo a impacto entre los dos materiales - segunda configuración	114
<b>Figura 3.62</b> Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto	115
<b>Figura 3.63</b> Comparación de altura vs energía media de fallo a impacto de los dos materiales – dos configuraciones	115
<b>Figura 3.64</b> Distribución t de student para el refuerzo de fibra de cabuya	118
<b>Figura 3.65</b> Distribución t de student para el refuerzo de fibra de caña de azúcar	121

**ÍNDICE DE ANEXOS**

	<b>PÁGINAS</b>
<b>ANEXO I</b>	
Norma ASTM 3039 para ensayos a tracción de materiales compuestos	130
<b>ANEXO II</b>	
Norma ASTM 7264 para ensayos a flexión de materiales compuestos	143
<b>ANEXO III</b>	
Norma ASTM 5628 para ensayos a impacto de materiales compuestos	154
<b>ANEXO IV</b>	
Resultados del ensayo destructivo a tracción del material compuesto	164
<b>ANEXO V</b>	
Resultados del ensayo destructivo a flexión del material compuesto	174
<b>ANEXO VI</b>	
Resultados del ensayo destructivo a impacto del material compuesto	184
<b>ANEXO VII</b>	
Resultados del ensayo fractográfico del material compuesto	189

## RESUMEN

El presente proyecto titulado “Caracterización de un material compuesto a base de resina epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma resina reforzado con fibra de caña de azúcar” abarca un campo de estudio teórica y experimental haciendo referencia al campo de los materiales compuestos. En primera instancia, se realizó una investigación exploratoria describiendo las propiedades físico-químicas y mecánicas que presenta de manera independiente la matriz y cada uno de los refuerzos que se usó. En segundo lugar, se procedió a la fabricación de las probetas del material compuesto conformadas por una matriz de resina epóxica con un refuerzo de fibras naturales de cabuya y caña de azúcar, para someter a ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto bajo normativa estándar ASTM propias para cada ensayo y para materiales compuestos, considerando ciertas configuraciones específicas tanto en la orientación de las fibras, así como la fracción volumétrica a usarse en cada caso. De igual forma se usó el método de estratificación por compresión para asegurarse de que entre la matriz y el refuerzo exista la adhesión correcta y evitar presencia de aire en el interior del material compuesto pudiendo conllevar a la obtención de resultados erróneos a la hora de realizar los ensayos destructivos siendo la finalidad la caracterización mecánica cada uno de estos materiales compuestos.

Esta investigación guarda también un análisis fractográfico de las mismas después de haber realizado los ensayos destructivos con la final de hacer un análisis más exhaustivo del comportamiento de las fibras, tipos de fallas, adherencia de la matriz de resina epóxica con el refuerzo de fibra tanto de cabuya como caña de azúcar.

Finalmente, con los datos obtenidos se procedió a la interpretación de resultados realizando una comparación entre los dos materiales compuestos y sus respectivas configuraciones, lo cual permitió determinar el material compuesto que presentó las mejores características mecánicas en su composición, así como la mejor relación entre matriz y refuerzo a la hora de realizar la combinación.

**Palabras Clave:** Tracción, Flexión, Impacto, Ensayos, Resina, Fibras

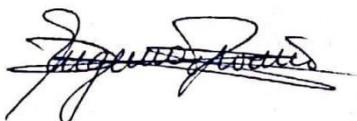
## ABSTRACT

This project entitled "Characterization of a composite material based on epoxy resin reinforced with cabuya fiber compared to the same resin reinforced with sugar cane fiber" covers a field of theoretical and experimental study with reference to the field of composite materials. First of all, an exploratory investigation was carried out describing the physical-chemical and mechanical properties that the matrix and each of the reinforcements used independently presents. Secondly, we proceeded to the manufacture of the test pieces of the composite material formed by an epoxy resin matrix with a reinforcement of natural fibers of cabuya and sugar cane, to subject them to destructive tests of traction, bending and impact under ASTM standard, own for each test and for composite materials, considering certain specific configurations both in the orientation of the fibers, as well as the volumetric fraction to be used in each case. Likewise, the compression stratification method was used to ensure that correct adhesion exists between the matrix and the reinforcement and to avoid the presence of air inside the composite material, which may lead to erroneous results when performing the tests destructive tests being the purpose the mechanical characterization to each of these composite materials.

The present research also keeps a fractographic analysis of them after having carried out the destructive tests with the end of making a more exhaustive analysis of the behavior of the fibers, types of faults, adhesion of the epoxy resin matrix with the fiber reinforcement of cabuya and sugar cane.

Finally, with the obtained data, we proceeded to the interpretation of results making a comparison between the two composite materials and their respective configurations, which allowed to determine the composite material that presented the best mechanical characteristics in its composition, as well as the best relationship between matrix and reinforcement when making the combination.

**Key Words:** Traction, Bending, Impact, Tests, Resin, Fibers.



## INTRODUCCIÓN

El ser humano desde tiempos remotos se ha enfocado en el descubrimiento de todo tipo de materiales para la fabricación de muchos implementos que le ayudan en su diario vivir, estos materiales con el pasar de los años han mejorado y perfeccionando en durabilidad, reducción de peso o costos de fabricación, significando millones de productores de implementos que usan un sin número de materiales en los cuales predomina el uso del plástico y el metal.

En los últimos años se ha dado importancia al cuidado del medio ambiente debido al notable deterioro que ha ido sufriendo, para lo cual la ingeniería de los materiales tiene el compromiso de investigar cual es el impacto ambiental que generan los nuevos materiales como los ya existentes en el mercado desde su fabricación hasta su posterior deshecho. De esta manera los investigadores o ingenieros busca crear materiales que sean amigables con el medio ambiente pero que a su vez presenten propiedades similares o mejores que los que se usan tradicionalmente para los diversos ámbitos para los cuales sean aplicables, para esto se han realizado muchos estudios en materiales compuestos que posean fibras naturales que a la hora de desecharlos tarden mucho menos en degradarse.

En el mundo entero ya se hacen uso materiales compuestos con fibras naturales, un claro ejemplo es la India en la que existe una larga tradición en la producción de compuestos que emplean fibras naturales para aplicaciones como tuberías, paneles y perfiles, sin embargo a raíz de las críticas de los últimos años alrededor de la preservación de los recursos naturales el uso de la fibra natural se ha reinventado en América del Norte y Europa Occidental, porque estos países han puesto un alto interés en las materias primas renovables (Velasquez Restrepo, Pelaéz Arroyave, & Giraldo Vásquez, 2016).

El Ecuador también es uno de los países que va dando un comienzo en todo lo referente al cuidado del medio ambiente, introduciendo en su plan nacional de desarrollo objetivos que promuevan las buenas prácticas que ayuden a contribuir con la reducción de la contaminación y alcanzar un cambio en su matriz energética. Debido a que se encuentra aún en sus etapas iniciales el uso de la fibra natural aún se encuentra en estado limitado, sin embargo, el país cuenta con un gran potencial para la producción de un sin número de fibras naturales con una gran cantidad de aplicaciones que se les podría dar con un valor agregado.

La industria automotriz a puesto su atención en introducir polímeros biodegradables con refuerzo de fibras naturales en la fabricación de partes del vehículo, por ejemplo una de las casas comerciales de vehículos más grandes en el mundo como lo es FORD ha ido buscando materiales alternativos que sean ecológicos para implementarlos en las partes de sus vehículos por lo que ha centrado su atención en las fibras del agave del cual ha tenido excelentes resultados, entre los componentes que Ford está considerando fabricar con estos materiales están arneses de cables, unidades de aire acondicionado, piezas del tablero y compartimientos de almacenamiento (FORD, 2016).

# CAPÍTULO I

## 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las características mecánicas de un material compuesto a base de resina epóxica reforzado con fibra de cabuya comparado con la misma matriz reforzada con fibra de caña de azúcar, mediante ensayos de materiales que permitan determinar que material compuesto presenta las mejores propiedades mecánicas.

#### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la orientación de las fibras de refuerzo, fracción volumétrica y forma de estratificación de cada uno de los materiales compuestos.
- Determinar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto de los materiales compuestos por resina epóxica con refuerzo de fibra de cabuya y resina epóxica con fibra de caña de azúcar.
- Realizar ensayos fractográficos para determinar la adherencia de la matriz con el material de refuerzo.
- Buscar el material compuesto que presente mejores propiedades para determinar la mejor combinación.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN

En el pasado el uso de materiales como metal y plástico no significaba un problema al medio ambiente ni el ser humano, pero en la actualidad y con el incremento de la demanda de productos se ha vuelto un problema muy significativo ya que no se da un adecuado tratamiento a los productos de desecho que en su composición llevan este tipo de material, para el cual deben pasar miles de años para poder degradarse generando un alto índice de contaminación.

En la actualidad el ser humano ha prestado su atención en el cuidado del medio ambiente para basar sus estudios en crear materiales que generen un menor impacto en el medio ambiente pero que a su vez presenten propiedades similares o mejores que los que se usan habitualmente, para esto se han realizado muchas investigaciones en materiales compuestos que posean fibras naturales que a la hora de desecharlos tarden mucho menos en degradarse.

El uso de materiales compuestos con fibras naturales ya es más evidente en el todo el mundo un claro ejemplo es la India en la que existe una larga tradición en la producción de compuestos que emplean fibras naturales para aplicaciones como tuberías, paneles y perfiles (Velásquez, Pelaéz, & Giraldo, 2016).

El Ecuador es uno de los países que va dando un inicio en todo lo referente al cuidado medioambiental, en su plan nacional de desarrollo “TODA UNA VIDA” en el objetivo 3 garantiza los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones y en su política 3,4 hace referencia al promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global (Secretaría nacional de planificación y desarrollo, 2017).

De igual manera en el país se busca un cambio en la matriz energética para lo cual el objetivo 5 busca impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria; teniendo en su política 5,6 el promover la investigación, la formación, la capacitación, el desarrollo y la transferencia tecnológica, la innovación y el emprendimiento, la protección de la propiedad intelectual, para impulsar el cambio de la matriz productiva mediante la vinculación entre el sector público, productivo y las universidades; de igual manera en su política 5,8 busca fomentar la producción nacional con responsabilidad social y ambiental, potenciando el manejo eficiente de los recursos naturales y el uso de tecnologías duraderas y ambientalmente limpias, para garantizar el abastecimiento de bienes y servicios de calidad (Secretaría nacional de planificación y desarrollo, 2017).

Esto permite que actuales generaciones se estén preocupando por el cuidado del ambiente y vayan realizando estudios para reducir su deterioro, teniendo muchas universidades del país egresados que han realizado sus investigaciones en materiales compuestos con fibras naturales como coco, piña, yute, entre otros, como materiales alternativos para la fabricación

de varios elementos logrando que sean amigables con el medio ambiente y dando un uso más eficiente a los recursos renovables del país.

### **1.3 ALCANCE**

Se realizó la caracterización de un material compuesto a base de resina epóxica reforzado con fibra de cabuya y un material con la misma matriz reforzada con fibra de caña de azúcar, en la que se determinó la densidad del material compuesto que presentan tanto las fibras de cabuya como las fibras de caña de azúcar con la matriz; de igual manera se seleccionó la orientación con la cual se colocó las fibras, la fracción volumétrica y forma de estratificación de cada uno de los materiales compuestos; también, para obtener cada una de las propiedades mecánicas, a estos materiales compuestos se los sometió a pruebas de tracción basado en la norma ASTM D 3039-08 en la que tenemos 5 probetas de 250 x 25 mm, flexión basado en la norma ASTM D 7264-07 con un número de 5 probetas de 160 x 16 mm, impacto basado en la norma ASTM D 5628-10 en la que se usó 5 probetas de 58 x 58 mm y también Fractografía para poder observar la adherencia de la matriz con el material de refuerzo para cada caso anteriormente nombrado. Luego se realizó una comparación de los diferentes materiales compuestos con lo que nos permite identificar cual presenta mejores propiedades mecánicas determinando de esta manera cual es la mejor combinación entre la resina epóxica y una de las fibras de refuerzo.

### **1.4 ANTECEDENTES**

Los análisis sistemáticos y las pruebas experimentales de fibra única de agave (penco) han permitido evidenciar que las propiedades de la fibra se ven significativamente afectadas por la edad de las hojas: al pasar de 1 a 4-5 años, la resistencia y la rigidez aumentan aproximadamente + 25% y + 50% (Zucarello & Zingales, 2017).

Se debe tener en cuenta, como un punto muy importante, la edad de las plantas de agave (penco) de las cuales se procede a hacer el uso de la fibra para obtener mejores propiedades y una estructura más resistente para poder realizar cada una de las pruebas, así se logrará mejores resultados y un máximo potencial y aprovechamiento de la planta, mejorando de manera significativa el material compuesto con resina epóxica.

Mylsamy & Rajendran (2010), en su estudio mostraron que los compuestos útiles con buena resistencia podrían desarrollarse con éxito utilizando compuestos epoxi reforzados con fibras de Agave (penco); la resistencia a la tracción, el módulo de tracción, la resistencia a la compresión y el módulo de compresión fueron significativamente altos. Se observa que por medio de este estudio permite conocer las buenas propiedades que brinda el material compuesto al combinar la fibra del agave con la resina epóxica, mediante las pruebas de tracción y compresión se obtienen resultados con niveles altos en su resistencia, con esto se ayuda a establecer que este tipo de combinación arrojará excelentes resultados con el material final.

En las probetas fabricadas con resina epóxica se observó que no hubo buena adherencia entre fibra-matriz, lo cual al ser sometidas a esfuerzos de tensión fracturó rápidamente, se muestra un módulo de elasticidad bajo, esto significa que la resina epóxica no puede ser la mejor combinación con la fibra de agave (Olmera , Jiménez , & Mendoza, 2013).

Se determina que el material compuesto de resina epóxica y fibra de agave puede presentar ciertas falencias al realizar pruebas de tensión y flexión debido a que la fibra no presenta una buena adherencia con el material base como es la resina epóxica, así que se debe tomar en cuenta a la hora de la dosificación y orientación de las fibras en la resina para poder obtener una mejor adherencia y por consiguiente una mejora en las pruebas de tensión y flexión.

Helmath, Babuvishwanath & Puroh (2018), en su estudio manifiesta que los compuestos de azúcar de caña tienen los valores más altos de impacto y resistencia a la flexión que los compuestos de fibras de vidrio cortadas; además, la fibra más larga mejora la resistencia a la flexión y al impacto. Haciendo referencia a pruebas de impacto y flexión, este estudio nos da a conocer que con el uso de la fibra de caña de azúcar se pueden obtener mejores resultados debido a las porciones de fibras largas que se pueden obtener de las plantas de caña de azúcar, dando una pauta clave para realizar un enfoque especial en el uso de fibra de caña de azúcar.

Se encontró que el yute, la fibra de hoja de piña y los materiales compuestos de poliéster y epoxi reforzados con fibra de vidrio eran ligeros, poseían mejores propiedades mecánicas; por lo tanto, estos materiales compuestos se pueden utilizar para aplicaciones tales como piezas de automóviles, paquetes electrónicos, construcción de edificios (Indra, Prasad, & Kumara, 2017). Se determina que varias pruebas realizadas a materiales compuestos con

fibras naturales brindan numerosas ventajas frente a materiales convencionales, una de estas es el mejoramiento de las propiedades mecánicas y de igual manera aligerando el peso de los mismos, permitiendo que fabricantes de partes ya sean automotrices o construcción se vayan interesando más en el uso de materiales alternativos, así como el cuidado del medio ambiente.

El análisis experimental sistemático realizado sobre biocompuestos de fibra corta y larga con matriz epoxi verde o matriz de PLA, reforzada con fibras de agave optimizadas, extraídas del segmento intermedio de hojas de 4 años y 5 años, sometidas también a tratamiento de mercerización con y sin carga de tracción, ha permitido detectar la configuración óptima que conduce a biocompuestos renovables de alto rendimiento (Zuccarello & Scaffaro , 2017).

Es muy importante la disposición y orientación en la cual se va a colocar la fibra de refuerzo ya sean cortas o largas las fibras mientras se le brinde una adecuada configuración de la resina como de la fibra se logrará obtener un compuesto con altos valores en pruebas y en su rendimiento ya que al ir variando los volúmenes y porcentajes tanto de la resina como de la fibra podremos ir obteniendo diferentes configuraciones para poder seleccionar u optar por la mejor para su materialización.

## **1.5 MATERIALES COMPUESTOS**

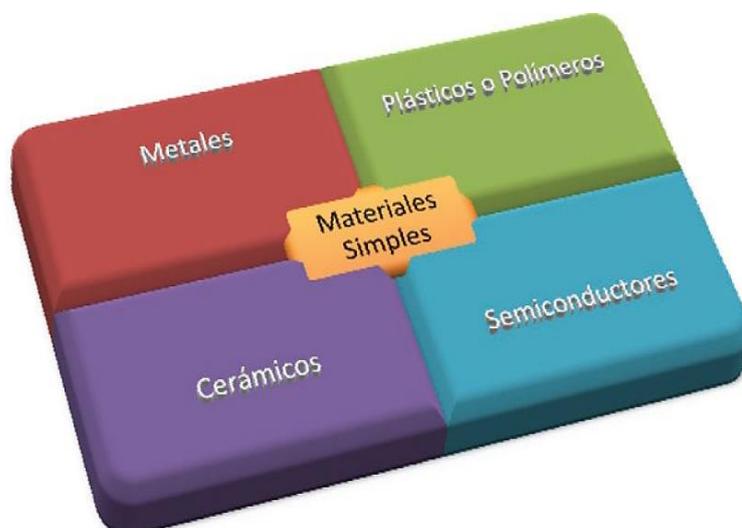
La definición de materiales compuestos está dada por la combinación o formación de dos o más materiales para obtener como resultado otro material con diferentes propiedades, que se diferencian en su forma y composición, sin que exista reacción química entre ellos (Tixe & Vistín, 2015).

Por lo general lo que se busca en la creación de un material compuesto son propiedades o características únicas que los materiales simples no puedan brindar para satisfacer una determinada necesidad. En cada uno de los materiales compuestos se puede diferenciar dos elementos que son denominados: matriz o fase continua y refuerzo o fase discontinua.

En la naturaleza son pocos los materiales constituidos por un solo elemento, la mayor parte son una mezcla de diferentes componentes que al combinarse producen un material compuesto que presenta un desempeño, generalmente, mejor que el de cada uno de los materiales por separado (Botero, Romo , Mendez, & Gonzáles, 2013).

Askeland, Fulay & Wright (2012), mencionan que al combinar dos elementos distintos se logra obtener un tercer elemento denominado material compuesto que permite juntar las propiedades de los dos elementos que lo componen obteniendo mejoras sustanciales en sus propiedades y en algunos casos se logra características únicas que por separado los componentes no pueden tener, permitiendo obtener una aplicación en muchos ámbitos y para distintos trabajos.

Las mejoras más evidentes de los materiales compuestos están en sus propiedades físicas permitiendo mayores resistencias mecánicas, de igual forma se puede lograr notables reducciones de peso y mejores acabados superficiales a comparación de otros materiales simples. Por tal motivo en la actualidad el campo automotriz está fijando su curso hacia el estudio de materiales compuestos que permitan sustituir varios elementos de los vehículos logrando mejoras en sus diseños y a su vez contribuir con el cuidado medioambiental.



**Figura 1.1** Materiales simples  
(Botero, Romo , Mendez, & Gonzáles, 2013)

En la figura 1.1 se presenta la clasificación de los materiales simples.

### 1.5.1 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

La clasificación de los materiales compuestos está basada en tres aspectos como son los tipos de matriz, de refuerzo y la geometría con la cual van a estar dispuestos (Mazón, 2017).

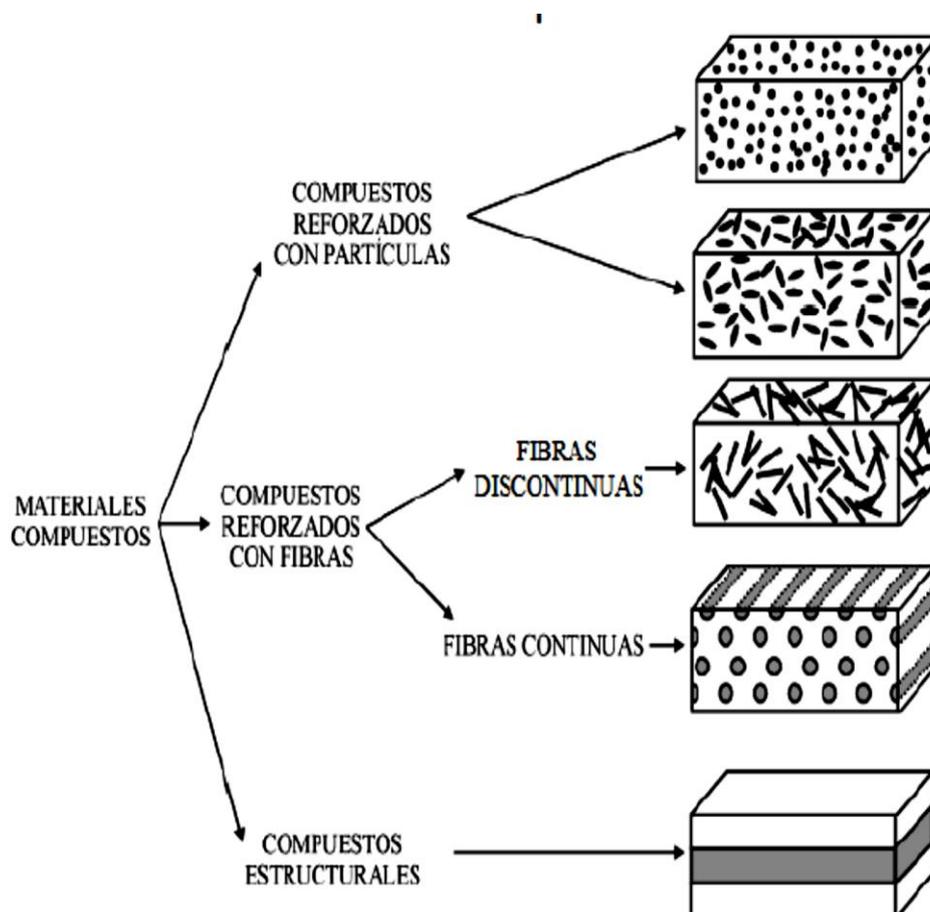
**a) Dependiendo la matriz podemos tener:**

- Matriz polimérica

- Matriz cerámica
- Matriz metálica

**b) Dependiendo el refuerzo podemos tener compuestos:**

- Con refuerzo de partículas
- Con refuerzo de fibras
- Con refuerzos estructurales

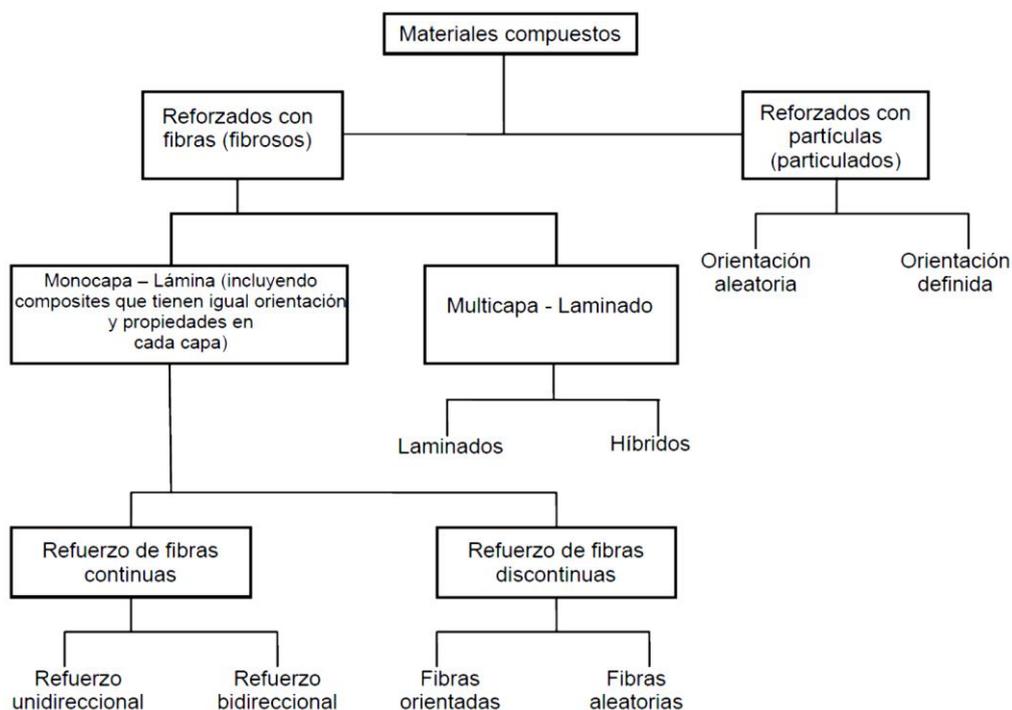


**Figura 1.2** Clasificación de los materiales compuestos según el tipo de refuerzo (Mazón, 2017)

En la figura 1.2 se presenta la clasificación de los materiales compuestos dependiendo el tipo de refuerzos con el cual están estructurados.

**c) Dependiendo la geometría:**

Uno de los factores clave para lograr mejorar las propiedades de un material sin duda depende de la geometría con la cual se ha dispuesto el refuerzo de un material compuesto.

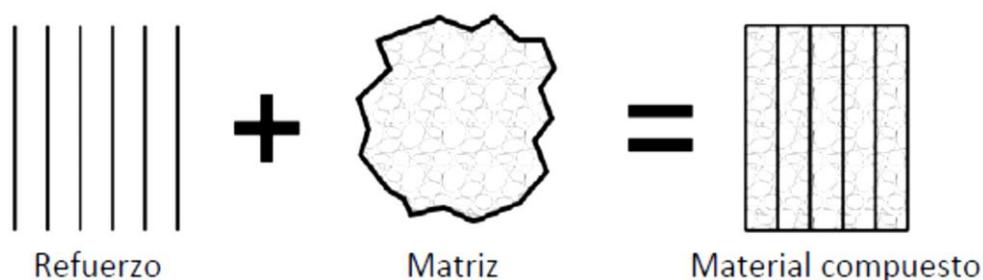


**Figura 1.3** Clasificación de acuerdo con la geometría del refuerzo (Imbaquingo, 2018)

En la figura 1.3 se muestra como están clasificados los materiales compuestos dependiendo de la geometría con la cual está dispuesto su refuerzo.

### 1.5.2 COMPONENTES DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Imbaquingo (2018), en su estudio manifiesta que los materiales compuestos en esencia es la unión de dos elementos con propiedades distintas en su naturaleza o también denominados heterogéneos los cuales no deben ser fusionados en su totalidad ya que debe poderse apreciar, de manera sencilla y por medios físicos, cada uno de sus elementos con esto logramos que el material pueda tener las diferentes propiedades de sus componentes.

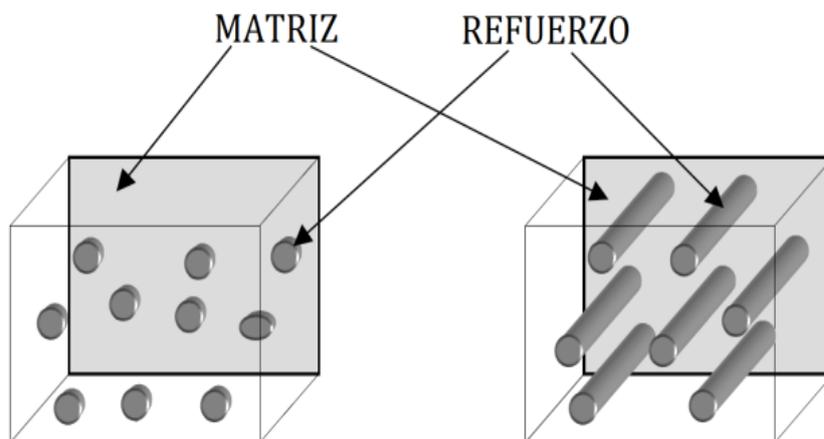


**Figura 1.4** Componentes de un material compuesto (Imbaquingo, 2018)

En la figura 1.4 se presenta al material compuesto y su estructura la cual está conformada por un refuerzo y una matriz.

El hecho de que los materiales compuestos sean heterogéneos muchas veces hace que también sean anisotrópicos, sus propiedades dependen de la orientación del material de refuerzo, haciendo que sus propiedades no sean las mismas en todo su volumen (Imbaquingo, 2018).

Con la orientación podemos aumentar notablemente las características del material logrando propiedades únicas de igual manera se puede lograr un mejor acabado ya que dependiendo en lo que se piensa utilizar el material en algunos casos es muy importante el acabado superficial.



**Figura 1.5** Ilustración de matriz y refuerzo de un material compuesto  
(Trejos, 2014)

En la figura 1.5 se observa cómo se encuentra dispuesta físicamente tanto la matriz como el refuerzo de un material compuesto.

Mazón (2017), en su estudio menciona que la matriz y el refuerzo son los componentes de un material compuesto, mientras que la superficie de conexión entre estos se denomina interfaz, también hay la posibilidad de adicionar agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, con el objetivo de mejorar la superficie de la interfaz del material compuesto, de tal forma que las propiedades del material se magnifiquen en lugar de verse afectadas.

## **1.6 MATERIALES COMPUESTOS DE RESINA EPÓXICA REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA Y MISMA MATRIZ CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR.**

### **1.6.1 MATRICES Y REFUERZOS**

Imbaquingo (2018), afirma que en materiales compuestos se tiene como base principal la matriz quien es encargada de albergar en forma continua al refuerzo permitiendo alcanzar una buena solidez y continuidad del material. El material cuenta con varias funciones que puede llegar a cumplir, entre las cuales se tiene:

- Lograr una buena protección superficial del material hacia los refuerzos de la abrasión mecánica.
- Permite transferir, hacia los refuerzos, cargas que se aplican sobre la matriz.
- En el caso de que el refuerzo sea de fibras, permite que el material presente un buen soporte lateral evitando el pandeo cuando se aplica cargas de compresión.
- Forma una barrera protectora ante factores ambientales dañinos como la humedad.
- Permite consistencia y continuidad del material.
- Aglutinar los refuerzos.
- Fijación de los elementos de refuerzo.

El material que es utilizado como matriz influye en las propiedades físicas, eléctricas, químicas y mecánicas del compuesto, por ejemplo, en el caso de las propiedades mecánicas, la resistencia a tracción, la resistencia al impacto, la ductilidad, entre otras, dependerán del tipo de matriz y a su vez del tipo de refuerzo y la configuración que se utilice (Jácome, 2015).

La falla que puede presentarse en un material compuesto principalmente se debe a la capacidad que posee el material para lograr una buena adherencia entre la matriz y el refuerzo, así como también la matriz es la que provee al material sus propiedades eléctricas permitiendo ser un aislante o un conductor.

### 1.6.2 UNIÓN Y FALLA

Por lo general en un material compuesto debe presentarse una completa armonía entre el elemento que se usará como matriz, así como del material que servirá como refuerzo, procurando una buena adherencia entre estos.

Las fibras o material de refuerzo deben estar firmemente unidas al material de la matriz, la carga debe transferirse correctamente de la matriz a las fibras del material compuesto; si la unión de estas es pobre, las fibras pueden llegar a salirse de la matriz durante la carga, reduciendo la resistencia y la resistencia a la fractura del material compuesto (Jácome, 2015).

Rodríguez, Álvarez, Valín & Díaz (2015), en su estudio mencionan que su material compuesto uso como matriz resina epoxi con un refuerzo de fibras de henequén largas las cuales se dispuso aleatoriamente con diferentes porcentajes en masa de inclusión de fibras como refuerzo, para lo cual se utilizó el prensado en frío en moldes tipo caja con la inclusión manual de los componentes y un proceso de cura posterior.

La cura efectuada bajo 70 °C durante 24 horas, contribuye a la polimerización de la matriz, la eliminación de la humedad de las fibras y la homogenización de las propiedades mecánicas de todas las placas, evitando la degradación de las fibras por temperatura (Rodríguez Soto , Alvarez Borges, Valín Rivera, & Díaz Batista, 2015).

En algunos casos, como la fibra de vidrio, se puede llegar a usar algunos compuestos para dar un recubrimiento adicional en el material generando buenas propiedades ante agentes que pueden llegar a ser nocivos como la humedad y permitiendo una mejor unión entre matriz y refuerzo, en el caso de la fibra de vidrio se usa el silano o hidruro de silicio. También suelen ser usados compuestos orgánicos para dar un recubrimiento a las fibras de carbono permitiendo una mejor unión con la matriz.

Hemath, Babuvishwanath, Purohit, Sahu & Rana (2017), menciona que las fibras de azúcar de caña se cortaron en una longitud de 7 cm a 11 cm. Antes de cualquier producción de compuestos, las fibras naturales experimentaron tratamiento químico. En primer lugar, las fibras se sumergieron en agua que contenía una solución de NaOH al 3% durante aproximadamente 8 horas. Luego las fibras se secaron en horno a 60 ° C durante 4 horas. Las fibras se dejaron secar a temperatura ambiente durante 24 horas antes de usarlas. Se utilizó un tratamiento químico para mejorar la compatibilidad y la unión entre la fibra y la matriz.

### **1.6.3 MATRICES POLIMÉRICAS**

Para objeto de esta investigación se usa como base fundamental el estudio de las matrices poliméricas y sus diferentes tipificaciones.

Jácome (2015), indica que para la fabricación de un material compuesto se presenta una matriz con un polímero termoestable o termoplástico y un elemento de refuerzo que por lo general suele ser una fibra ya sea con una longitud corta, media o larga. Las fibras más usadas actualmente en el medio industrial son la fibra de carbono y la fibra de vidrio.

Las matrices poliméricas son usadas en muchas aplicaciones por su densidad baja, buenas propiedades a temperatura ambiente, máquinable y bajos precios; pueden ser utilizadas con fibras naturales y sintéticas (Tixe & Vistín, 2015).

#### **1.6.3.1 Tipos de matrices poliméricas**

Se puede representar de tres formas a las matrices poliméricas, estas son:

##### **a) Matrices termoplásticas**

La principal característica de este tipo de matrices es que sus propiedades físicas pueden ser alteradas mediante la presencia de calor o frío, adquiriendo así un estado sólido en presencia de frío y cuando es sometido al calor logra un estado líquido permitiendo tener un ciclo reversible logrando ser uno de los mayores referentes en cuanto se refiere al área de reciclaje.

Ejemplos de matrices termoplásticas son el polietileno, polipropileno, policloruro de vinilo y polietilen-tereftalato; también, se obtienen polímeros termoplásticos de origen natural, como el ácido poliláctico o el polihidroxibutirato, los cuales proporcionan propiedades muy similares al PE, PP y demás polímeros termoplásticos derivados del petróleo (Mazón, 2017).

##### **b) Matrices elastoméricas**

Las matrices elastoméricas se caracterizan por poseer áreas elásticas grandes las cuales pueden alcanzar hasta cinco veces su longitud inicial, con la consecuente de que presentan bajos módulos en su elasticidad, estas matrices tienen menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables (Jácome, 2015).

En ensayos a tracción, la relación entre la longitud final de una probeta y la inicial puede llegar a ser del orden de 300-800 %, sin que se produzca la rotura y sin que aparezca deformaciones permanentes una vez terminado el ensayo (Mazón, 2017).

Uno de los principales referentes en matrices elastoméricas son los cauchos naturales.

### c) **Matrices termoestables**

En los polímeros termoestables se determina una estructura de forma reticular de base covalente, en la cual se puede presentar un entrelazamiento transversal de cadenas mediante una aplicación de calor o por una combinación entre calor y a su vez presión durante el proceso de polimerización.

Se denominan duro plástico, tienden a ser resinas de mucha rigidez; alta estabilidad térmica y sobre todo bajo peso, son los más utilizados en materiales compuestos de prestaciones muy altas (Tixe & Vistín, 2015).

Generalmente se obtienen en forma de dos resinas líquidas, la primera contiene agentes de curado, endurecedores y plastificantes, en cuanto la otra contiene materiales de relleno, reforzantes pudiendo ser orgánicos o inorgánicos (Mazón, 2017).

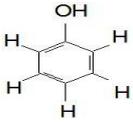
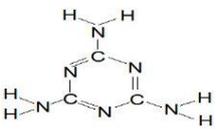
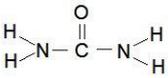
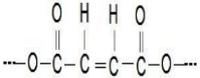
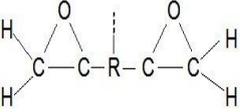
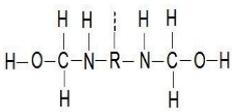
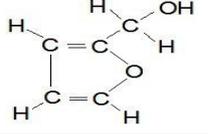
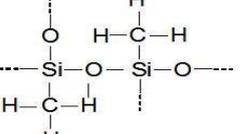
El momento en que son sometidos a calor y frío empieza a producirse las reacciones de enlaces o entrecruzados es por ese motivo por el cual una vez hecha la combinación no pueden recalentarse ni refundirse como los materiales termoplásticos, es por esta razón por la cual en los materiales termoestables no se pueden realizar procesos de reciclaje ni posterior uso.

Los termoplásticos presentan varias propiedades que los caracteriza entre las cuales se tiene:

- Elevada rigidez
- Bajo nivel de peso
- Elevada estabilidad térmica
- Elevada estabilidad dimensional
- Resistencia a la termofluencia y deformación bajo carga.
- Elevado aislamiento térmico y eléctrico

Haciendo referencia a polímeros termoestables la tabla 1.1 muestra su cuál es su estructura, propiedades y aplicación con los datos mostrados a continuación:

**Tabla 1.1** Estructura, propiedades y aplicación de diferentes polímeros termoestables

Polímero	Estructura	Carga rotura (MPa)	Alarg. (%)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (Mg/m <sup>3</sup> )	Aplicaciones
Fenólicos		34-62	0-2	2.80-9	1.27	Adhesivos, revestimientos, laminados.
Aminas	Melamina  Urea 	34-69	0-1	6.90-11	1.50	Adhesivos, almacenamiento de alimentos, moldeados eléctricos.
Poliésteres		41-90	0-3	2.10-4.50	1.28	Moldeados eléctricos, laminados decorativos, matrices para refuerzo con fibra de vidrio.
Epoxis		28-103	0-6	2.80-3.40	1.25	Adhesivos, moldeados eléctricos, matriz para laminados aeronáuticos.
Uretanos		34-68	3-6		1.30	Fibras, revestimientos, espumas, aislantes
Furanos		21-31	0	10.90	1.75	Aglomerantes para moldeado en arena.
Siliconas		21-28	0	8.30	1.55	Adhesivos, juntas y cierres estancos.

Fuente: (Jácome, 2015)

#### 1.6.4 RESINAS EPÓXICAS

Mazón (2017), afirma que son resinas que no producen ni generan ninguna reacción al momento de su endurecimiento, es por esta razón que a este tipo de resinas comúnmente se

las considera como polímeros termofijos, de igual manera presentan una disminuida contracción al curar, buena unión al mezclar con otros materiales, alta resistencia química, constituye un aislante eléctrico y presentan excelentes propiedades mecánicas.

La rama en la cual se encuentran las resinas epóxicas se encuentra conformada de cinco grupos, estos son:

- Éteres glicéricos
- Aminas glicéricos
- Ésteres glicéricos
- Alifáticas lineales
- Ciclo alifáticas

#### 1.6.4.1 Características

Los compuestos epoxi son un grupo de éteres cíclicos u óxidos de alqueno o alquileno, que tienen un átomo de oxígeno unido a dos átomos de carbono adyacentes; estos éteres reaccionan con los grupos amino, oxhidrilo y carboxilo, endurecedores, así como también con los ácidos inorgánicos, para dar compuestos relativamente estables (Jácome, 2015).

En la actualidad el campo industrial ha ido creciendo a gran escala y rapidez, de la mano con la tecnología que ha ido permitiendo que se generen varios estudios para encontrar nuevos materiales que permitan alcanzar mayores prestaciones que los que se usan comúnmente, es por eso que se ha enfocado en materiales compuestos a bases de resinas, no es posible determinar que maquina actualmente no cuenta con un elemento que presente resina epóxica como parte de su composición.

Un endurecedor o agente de curado es un producto que cuando se añade a una dicha sustancia macromolecular determinada en cantidades superiores a las catalíticas, reacciona con ésta y la convierte en un polímero irreversible que constara de una serie de características perfectamente definidas, de las que anteriormente carecía (Jácome, 2015).

Existen otros parámetros que presentan las resinas epoxi, además del peso molecular, estos son:

- **Equivalente epoxi.** - se enfoca a la resina, en peso, que contiene cada gramo de epoxi.

- **Índice de hidroxilo.** - hace su referencia a la cantidad de resina, en peso, que contiene cada gramo de hidroxilo.
- **Contenido de cloro reactivo.** – hace referencia al contenido de cloro presente en forma de cloruro hidrolizable, como resultante de las tazas clorhídricas que se presentan en el transcurso de la síntesis.
- **Color de la resina.** - hace referencia a la resultante de los grupos fenólicos libres que forman quinonas de colores producto de la oxidación a la cual es sometido.
- **Punto de fusión.** - hace referencia que al ser una mezcla no se exhibe en un intervalo muy ceñido, acogiéndose a la temperatura a la cual la resina le otorga un grado de fluidez arbitrario.
- **Viscosidad y contenido en volátiles.**

#### 1.6.4.2 Propiedades de las resinas

Se presenta la tabla 1.2 que hace referencia a las propiedades que presentan varios tipos de resinas entre las cuales se observa la resina epoxi.

**Tabla 1.2** Propiedades físicas de diferentes resinas.

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado UP	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Vinilester	Resina Pliimida
Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.30	1.17-1.25	1.27-1.42
Alargamiento a la rotura (%)	<3	6-8	<3	3.5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temp. ambiente hasta 180	Temp. ambiente hasta 170	150-190	Temp. ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas	Muy buenas				Depende del fabricante
Calor de la reacción	Reacción exotérmica dependiendo de la geometría				
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1.80 y 2.40	1-3	0.50-1.50	0.10-1	0.50-0.70
Contracción Posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna
Tiempo de almacenamiento	Temp. ambiente 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp. ambiente 6 meses	Temp. ambiente 6 meses	Temp. ambiente 6 meses

Fuente: (Mazón, 2017)

### 1.6.4.3 Clases de resinas epoxi

Pachacama (2015), señala que las clases de resinas del tipo epoxi se clasifican en:

**a) Resinas epoxi a base de bisfenol A.**

Este tipo de resinas son una de las más usadas debido a su versatilidad y bajo costo, procede de la reacción entre la epiclorhidrina y bisfenol A. Pueden presentarse de forma líquida, semisólidas y completamente sólidas, esto dependiendo de su peso molecular.

**b) Resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac.**

La variante del bisfenol A al F permite obtener en la resina un mejor entrecruzamiento y comportamiento mecánico, especialmente cuando se usa aminas aromáticos o anhídridos para su curado.

**c) Resinas epoxi bromadas.**

Son resinas que llevan en su compuesto bases de epiclorhidrina y tetrabromobisfenol A, estas moléculas adicionales de bromo, brinda las resinas la característica de autoextinción.

**d) Resinas epoxi flexibles.**

Están integradas de cadenas largas lineales reemplazando los bisfenoles por poliglicoles poco ramificados, usualmente son utilizadas como flexibilizantes reactivos en otras resinas, permitiendo lograr una alta resistencia al impacto.

### 1.6.4.4 Aplicaciones de resinas epóxicas

Teniendo en el mercado actual un alto número de resinas epoxi y endurecedores hacen que su aplicación se pueda prolongar en varias áreas industriales para la fabricación de varios productos.

Entre las actividades que predominan el mercado referente a resina epoxi se tiene: uso en recubrimiento de pinturas usadas para el campo automotriz, recubrimiento de cableado, revestimiento superficial de tambores.

Por su resistencia dieléctrica, baja contracción durante el curado, la capacidad de mantener sus propiedades bajo distintas condiciones ambientales tales como sitios mojados o que impliquen alta humedad son usadas en la industria eléctrica y electrónica en aplicaciones

como aislantes de alto voltaje, conmutadores y encapsulados de transistores (Imbaquingo, 2018).

### **1.6.5 REFUERZO CON FIBRAS**

En relación con los materiales compuestos que usan fibras como refuerzo presentan varias propiedades que son mejores a las que presentan las matrices por sí solas e incluso pueden llegar a mejorar las propiedades de materiales que se usan clásicamente como el metal y los plásticos. Las características que pueden llegar a presentar estos materiales son mejoras en su resistencia a comparación de su peso, alta resistencia a la fatiga y una buena rigidez.

Los compuestos reforzados con fibras típicamente manifiestan anisotropía. Esto es, algunas propiedades varían dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron determinadas (Imbaquingo, 2018).

Las fibras continuas en forma de hojas o láminas se utilizan para, hacer del material compuesto un material anisotrópico en una dirección en particular que se conoce está a lo largo del eje o plano principal de carga. De esta manera, se crea la posibilidad de orientar las fibras en la dirección en que se aplicará la mayor carga, lo cual incrementa la eficiencia del refuerzo (Mazón, 2017).

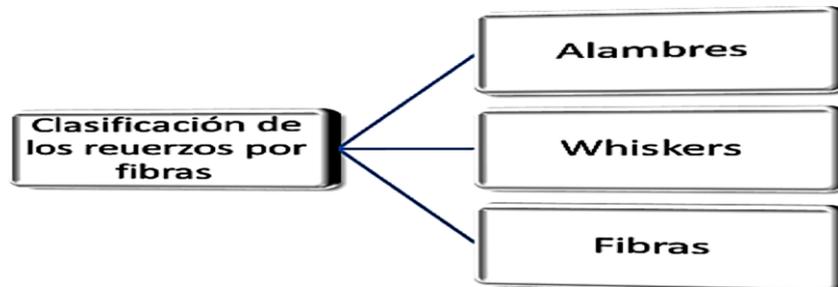
#### **1.6.5.1 Fibras**

Las fibras naturales, son estructuras filamentosas de origen vegetal, animal y mineral que, por sus características físicas y químicas, tienen aplicaciones muy diversas, su aprovechamiento se ha evidenciado desde épocas tan antiguas como la humanidad misma, tenido así que las plantas productoras de fibras revisten gran importancia, después de las plantas alimenticias, por la influencia social y económica que representan para el ser humano. Muchas de estas plantas han sido usadas por el hombre para la fabricación de tejidos e hilos. Las fibras se han obtenido a partir de raíces, tallos, hojas, frutos y semillas (Tamayo, 2012).

El uso de fibras permite obtener varios beneficios debido a la gran abundancia que se presenta en un sin número de fibras, de igual manera permite contribuir al cuidado medio ambiental, así como lograr grandes prestaciones en sus propiedades y características

logrando ser un punto clave para la innovación de las grandes industrias quienes ya están haciendo estudios para mejorar los elementos que ellas producen mediante la variación de elementos base.

En la clasificación de las fibras podemos representar 3 grupos:

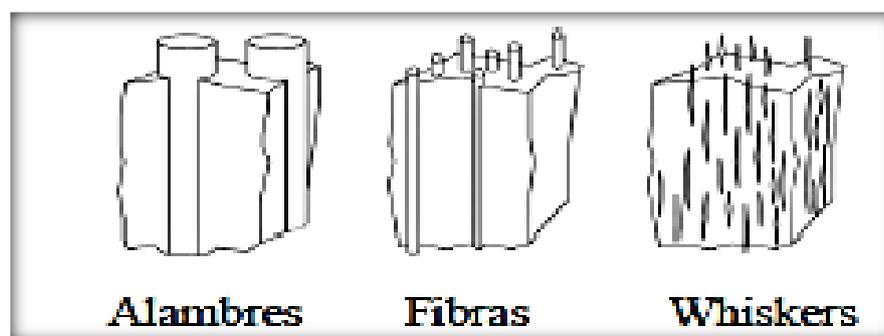


**Figura 1.6** Clasificación de los refuerzos por fibras  
(Tixe & Vistín, 2015)

En la figura 1.6 se representa la clasificación que tienen los refuerzos de fibra de acuerdo a su estructura.

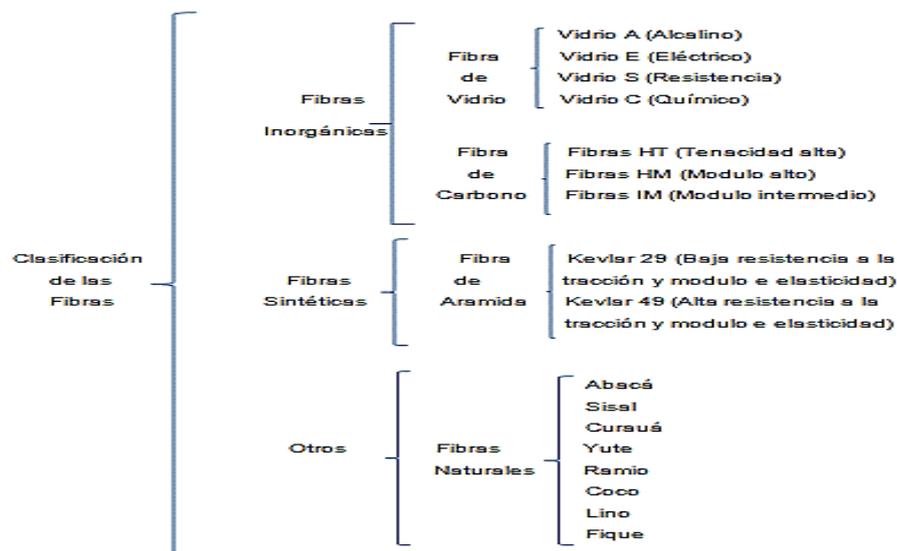
Los whiskers son monocristales muy delgados que poseen una relación longitud/diámetro muy grande. Debido a su pequeño tamaño poseen un alto grado de perfección cristalina y son virtualmente libres de defectos, lo cual explica sus resistencias excepcionalmente altas, pero son extremadamente costosos (Jácome, 2015).

Las fibras se presentan como policristalinos o amorfos los cuales presentan su estructura con diámetros diminutos y con fracciones largas de longitud, usualmente se los encuentra en polímeros y cerámicos.



**Figura 1.7** Refuerzos de alambres, fibras y whiskers  
(Jácome, 2015)

En la figura 1.7 se presenta físicamente los tipos de refuerzos de fibra entre los cuales se tiene los alambres, fibras naturales y whiskers.



**Figura 1.8** Clasificación de las fibras  
(Tixe & Vistín, 2015)

La figura 1.8 indica la clasificación de las fibras dependiendo de su origen. Los refuerzos de alambres tienen diámetros relativamente grandes. Típicamente estos tipos de materiales incluyen al acero, molibdeno y tungsteno. Estos son utilizados especialmente como refuerzos radiales en llantas de automóviles (Jácome, 2015).

### 1.6.5.2 Propiedades mecánicas de fibras naturales

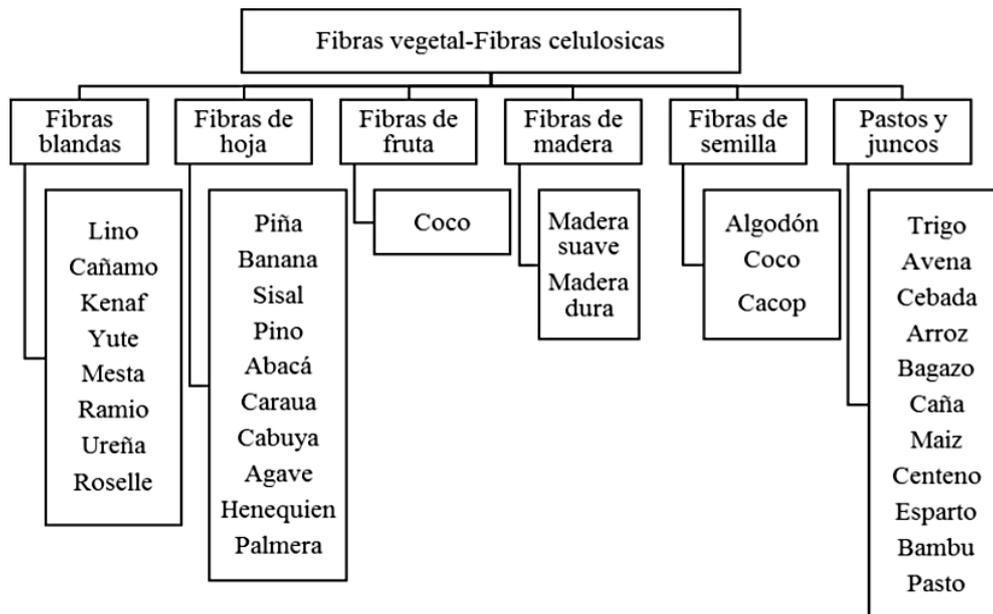
En la tabla 1.3 se observa la representación de algunas fibras naturales y sintéticas.

**Tabla 1.3** Características mecánicas de diferentes fibras naturales y sintéticas

Fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Gpa)	Elongación a la fractura (%)	Absorción de humedad (%)
Cabuya	1,30	305,15	7,50	4,96	---
Yute	1,30	393 – 773	26,50	1,50 – 1,80	12
Coco	1,20	1,75 – 220	4 – 6	15 – 30	10
Abacá	1,30	400 – 1289	45	2,70	8 – 10
Sisal	1,50	511 – 635	9,4 – 22	2 – 2,50	---
Algodón	1,50	939 – 773	27,60	7 – 8	8 – 25
Ramio	1,50	400 – 938	61,40 – 128	3,60 – 3,80	12 – 17
Lino	1,50	345 – 1035	27,60	2,70 – 3,20	7
Cáñamo	1,40	690	35	1,60	8
Vidrio – S	2,50	2000 – 3500	70	2,50	---
Vidrio – E	2,50	4570	86	2,80	---
Aramida	1,40	3000 – 3150	63 – 67	3,30 – 3,70	---
Carbono	1,40	4000	230 – 240	1,40 – 1,80	---

Fuente: (Tamayo, 2012)

Las fibras vegetales más usadas como refuerzo son la que se presentan en la figura 1.9



**Figura 1.9** Fibras vegetales  
(Pacha, 2017)

### 1.6.5.3 Fibra de cabuya

Esta clase de fibra es obtenida de la hoja de la cabuya la cual pertenece a la familia Furcraea Andina, en la cual su medio de producción se da de manera silvestre llegando incluso a ser cultivada en la zona de los andes en sus valles y laderas.



**Figura 1.10** Planta de cabuya  
(Pachacama, 2015)

La figura 1.10 ilustra a una planta de cabuya en su estado natural.

La cabuya es ampliamente distribuida en la sierra del Ecuador, esta se cultiva en los valles y en las estribaciones de la cordillera para la obtención de su fibra. Se trata de una planta arrosutada que alcanza hasta 1,5 metros de altura en su parte vegetativa y si se incluye la estructura reproductora, puede alcanzar hasta los 15 metros (Pachacama, 2015).

#### a) Característica taxonomía de la cabuya

Es genero furcraea son plantas suculentas que son utilizado para la extracción de fibra de sus hojas ya que estas hojas son carnosas y largadas con espinas puntiagudas alrededor de la hoja y termina también en punto de espinas, la especie de furcraea andina o llamada también cabuya según su categoría de taxonomía las mismas que se presentan en la tabla 1.4 (Villagaray, 2018).

**Tabla 1.4** Taxonomía de cabuya

<b>División</b>	Embriofitas sifonógamas
<b>Sub- división</b>	Angiospermas
<b>Clase</b>	Monocotiledóneas
<b>Orden</b>	Lili floras
<b>Familia</b>	Amarilidáceas
<b>Sub- familia</b>	Agavoideas
<b>Genero</b>	Furcraea
<b>Especie</b>	Furcraea andina

Fuente: (Villagaray, 2018)

#### b) Características de la fibra de cabuya

Pacha (2017), argumenta que la fibra de cabuya pertenece al grupo de fibras duras debido a que las hojas constituyen de fibras elementales o fibrillas unido por una goma o cemento vegetal que proporciona rigidez y aspereza, los ejes fibrosos dan resistencia y rigidez a las hojas y son un pilar de sustentación para los vasos conductores de sabia, por están funciones mecánicas cumplidas son llamadas fibras estructurales.

Según Villagaray (2018), las fibras se pueden distinguir en tres clases o variedades de fibra de cabuya citadas a continuación:

- **Fibra mecánica:** se encuentra en la parte periferia de las hojas donde están esparcidas todo el parénquima foliar.

- **Fibras sueltas:** Se encuentra en la parte central de la cabuya y las fibras son muy largas y de una buena resistencia
- **Fibra del xilema:** Se encuentra en las paredes de las células ya que son fibras finas por lo tanto se determina por un factor de calidad del suelo, clima, humedad y región y los procesos de mecánicos sometidos como va determinar cómo longitud, color, resistencia.



**Figura 1.11** Fibra de cabuya

La figura 1.11 representa como está dispuesta la fibra de cabuya, la misma que se puede encontrar a la venta en algunos de los mercados locales del Ecuador.

### c) Fibra de cabuya y su estructura química

En la tabla 1.5 se presentan los componentes químicos con los cuales está conformada la fibra de cabuya.

**Tabla 1.5** Composición química de la fibra de cabuya

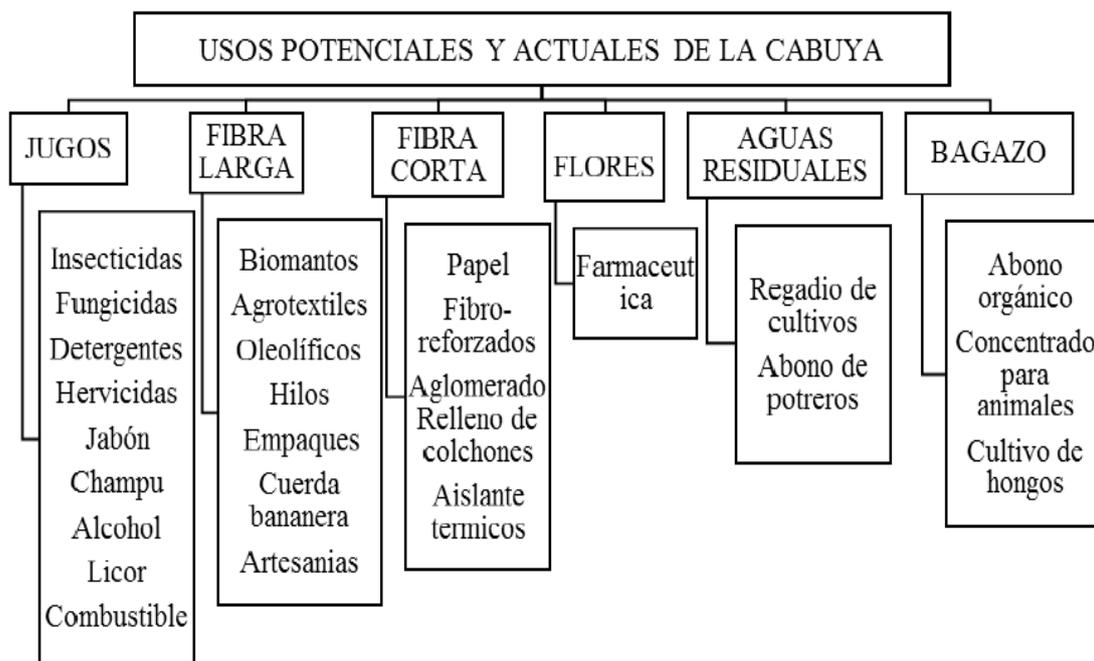
COMPONENTE	PORCENTAJE
Humedad, ceras y grasas	1,90
Cenizas	0,70
Pentosanos	10,50
Celulosa	73,80
Lignina	11,30
Otros	1,80
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>

**Fuente:** (Pacha, 2017)

#### d) Usos y aplicaciones de la cabuya

Según Caballero & Domínguez (2018), existen múltiples usos que se le atribuyen a la cabuya y su fibra entre las cuales se encuentra:

- La fibra, al ser biodegradable, se usa además como biomanto o manto natural para proteger sembrados y como agrotextil para reducir los daños por erosión en carreteras, vías, oleoductos y gasoductos
- Esta planta es de múltiples usos: de su fibra se hacen hilos, de sus hojas papel, de sus espinas agujas, y sus hojas jabonosas sirven como detergente. Además, el zumo fermentado da una agradable bebida, es por ello que los cronistas decían que esta maravillosa planta regalaba, aguja, hilo, vestido, cuerdas, miel, vino, vinagre.
- Ropa - trajes, vestidos, faldas, camisetas, etc.
- Artículos decorativos hogareños y comerciales - manteles, paños de cocina, ropa de cama, cubiertas de papel pintado / de pared, cortinas, etc.
- Productos industriales - equipaje, lienzos, etc.
- Se combina con algodón



**Figura 1.12** Uso de la cabuya  
(Pacha, 2017)

La figura 1.12 muestra los usos comunes que se le atribuyen a la planta de cabuya.

#### 1.6.5.4 Caña de azúcar

Chevez (2017), menciona que la caña de azúcar, caña dulce (*Saccharum Officinarum*) o cañamiel (del latín medieval *canna mellis* o *cannamella*) fue conducida desde sus lugares de origen en Asia por los árabes, y especialmente en la India, a distintas partes de África y Europa. Su aprovechamiento como materia prima para la producción de energía, el azúcar, se ha realizado de manera ininterrumpida y cubriendo grandes espacios a lo largo y ancho del Nuevo Continente. De igual modo, el posterior desarrollo que la agroindustria del dulce llegó a alcanzar en varios de los países del área del Caribe la convirtió en un sector determinante de sus economías nacionales, mientras que en otros desempeñó una función complementaria de suma importancia entre los países Brasil, Colombia, Perú o México.



**Figura 1.13** Plantación de caña de azúcar

En la figura 1.13 se representa una plantación de caña de azúcar la misma que fue obtenida en el sector de Salinas en la provincia de Imbabura.

La caña de azúcar está constituida por jugo y fibra, la fibra es la parte insoluble en el agua y está constituido conformado por celulosa la cual, a su vez, está constituida por azúcares sencillos como glucosa (dextrosa).

El tallo esta hecho de nudos y entrenudos con una hoja y una yema axilar dispuestas alternativamente a cada lado del nudo, en la cima del tallo se encuentra el meristemo apical que se divide activamente para desarrollar los tejidos del tallo y de las hojas considerables, estos nudos son normalmente espaciados, en intervalos de 15 a 25 cm, siendo más espaciados en la parte superior del tallo o vástago, donde se produce la elongación y, más próximos entre sí, en la base de la planta (Chevez, 2017).



**Figura 1.14** Planta caña de azúcar

La figura 1.14 ilustra una planta de caña de azúcar en la cual se puede identificar las diferentes secciones denominadas nudos y entre nudos.

#### **a) Fibra de caña de azúcar y su estructura**

En la caña, el agua representa entre 73% y 76%, los sólidos totales solubles (brix, % caña) varían entre 10% y 16%, y la fibra (% de caña) oscila entre 11% y 16%; entre los azúcares más sencillos se encuentran la glucosa y la fructosa (azúcares reductores), que existen en el jugo de cañas maduras en una concentración entre 1% y 5%; la calidad del azúcar crudo y de otros productos como el color y el grano de la panela dependen, en parte de la proporción de estos azúcares reductores, los cuales cuando aumentan por causa del deterioro o falta de

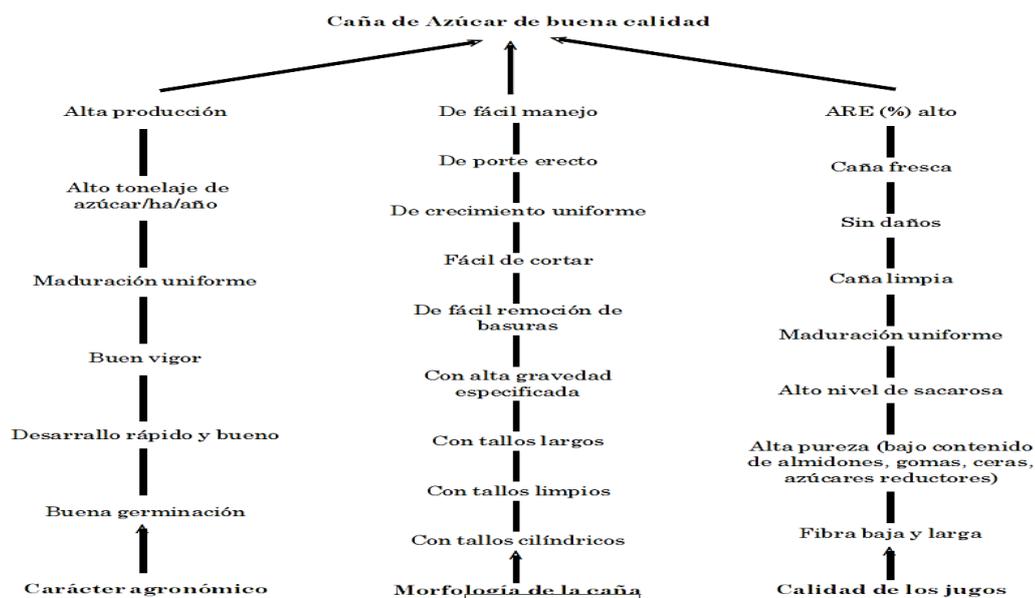
maduración de la planta, pueden producir incrementos en el color y el grano defectuoso en la panela (Larrahondo, 1995, pág. 339).



**Figura 1.15** Fibra de caña de azúcar

La figura 1.15 muestra como son las fibras de caña de azúcar luego de su extracción manual retirando todo el bagazo de la fibra y luego proceder a su secado.

Según diario el telégrafo (2016), en el año 2012, según datos del Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos, las plantaciones de caña en el país produjeron 7,3 millones de toneladas métricas. Esta planta es el cultivo permanente que predomina en el Ecuador, por sobre el banano y la palma africana. Entre las provincias en las que se produce una mayor cantidad de caña de azúcar están Guayas, Cañar, Imbabura y Loja.



**Figura 1.16** Características de la calidad de la caña de azúcar  
(Larrahondo, 1995)

En la figura 1.16 presenta las características que hacen que una caña sea considerada de buena calidad.

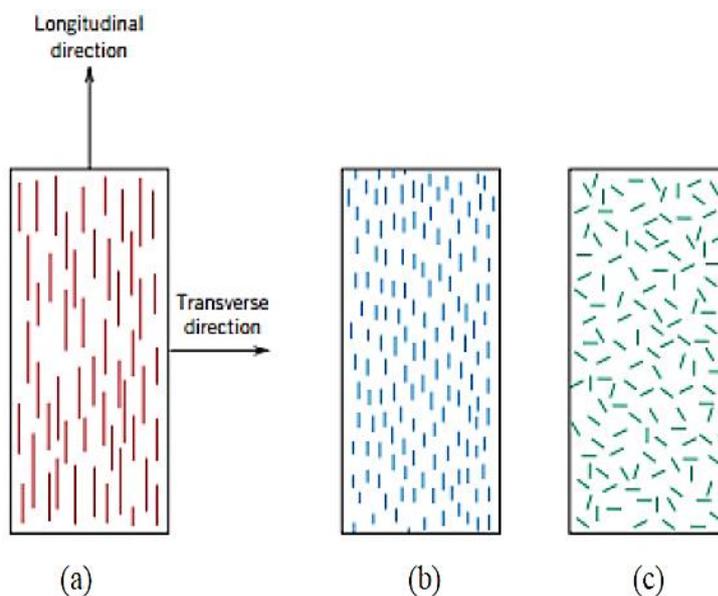
### b) Cantidad y orientación de la fibra de refuerzo

Dependiendo la cantidad de refuerzo que se aplique al material compuesto va a variar sus propiedades físicas e internas ya que son las fibras quienes son las encargadas de soportar las cargas a las cuales va a estar sometido todo el material.

La fracción máxima de volumen de la fibra es alrededor del 80%, y si excede esta cantidad el material de la matriz no rodea en su totalidad a la fibra (Tixe & Vistín, 2015).

La orientación permite lograr mejoras mecánicas en los materiales conjuntamente con la distribución y la cantidad de fibra que se va a aplicar a la matriz.

Con respecto a la alineación de la fibra, básicamente existen dos posibilidades: alineación en la dirección paralela al eje longitudinal de las fibras -fibras continuas y discontinuas- y alineación totalmente al azar (Mazón, 2017).



**Figura 1.17** Orientación de la fibra (a)continua y alineada, (b)discontinua y alineada y (c) discontinua al azar (Mazón, 2017)

La orientación de la fibra o del material de refuerzo es muy importante para las propiedades finales del material compuesto; cuando se utiliza una fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán básicamente del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra como se muestra en la figura 1.17 (Jácome, 2015).

## **1.7 ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTOS.**

La determinación de las propiedades mecánicas en la caracterización de materiales compuestos está basada en la realización de un número determinado de probetas las cuales deben ser sometidas a ensayos destructivos y así poder observar el comportamiento que presentan en cada una de las pruebas.

Por lo general cuando se realizan materiales compuestos el resultado esperado de los ensayos destructivos es que las propiedades mecánicas que presente el material sean similares o mejores que la de los materiales tradicionales encontrados en el mercado, ya sea en su peso, resistencia a la tracción y compresión, elasticidad y plasticidad, ductilidad, fragilidad, entre otros.

### **1.7.1 ENSAYO DE TRACCIÓN**

El ensayo de tracción de un material radica en someter a una placa denominada probeta, la cual debe estar dispuesta con medidas normalizadas, a un estiramiento o fuerza uniaxial sobre su eje principal incrementado gradualmente la fuerza hasta el punto de llegar a la fractura de la probeta, todo esto con el objetivo de determinar la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material.

La norma usada para el ensayo de tracción en materiales compuestos reforzados con fibras es la norma ASTM D 3039 la cual es realizada por la maquina universal de ensayos.

Las probetas a ensayar deben presentar dimensiones específicas indicadas en la norma mencionada anteriormente, además, dichas probetas requieren mostrar superficies libres de defectos visibles, fisuras o imperfecciones (Mazón, 2017).

El elemento que nos permite realizar el análisis es denominado máquina de ensayos universal, la cual ayuda a conocer la resistencia que presentan las probetas del material compuesto y se muestra en la figura 1.18 con todas las partes que la conforman.



**Figura 1.18** Máquina de ensayos universal  
(Toapanta, 2018)

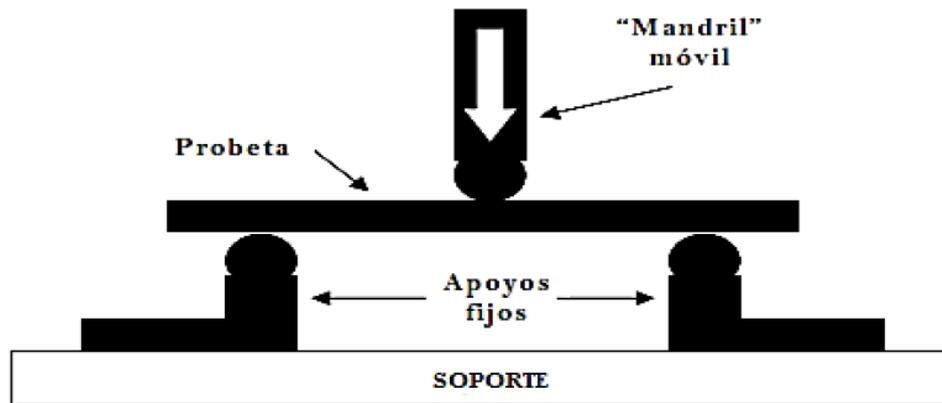
### 1.7.2 ENSAYO DE FLEXIÓN

El ensayo de flexión del material debe ser realizado por la norma ASTM D 7264/ D 7264M-07 con lo cual se puede determinar la rigidez a la flexión, el módulo de la 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 (Toapanta, 2018).

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 (Toapanta, 2018).

Las propiedades a flexión se pueden ver afectadas por la superficie de la probeta, pues ningún laminado es perfectamente simétrico, estas pequeñas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso por la mínima asimetría presente en el laminado (Mazón, 2017).



**Figura 1.19** Esquema del ensayo a flexión a tres puntos.  
(Toapanta, 2018)

En la figura 1.19 se muestra como es la colocación de la probeta sobre la máquina de ensayos y se identifica donde se debe aplicar la fuerza en la prueba de flexión del material compuesto.

### 1.7.3 ENSAYO DE IMPACTO

El ensayo de impacto debe ser realizado bajo la normativa ASTM D5628, en esta prueba se procede a dejar caer un dardo con una masa constante y al cual se le va variando la altura.

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 (Toapanta, 2018).

Con esta prueba lo que se busca es conocer que cantidad de energía producida por el impacto puede absorber el material compuesto, se debe tener en cuenta que el material debe ser cuadrado y no debe de presentar imperfecciones y totalmente libre de fallas en la zona de impacto para no alterar los resultados.

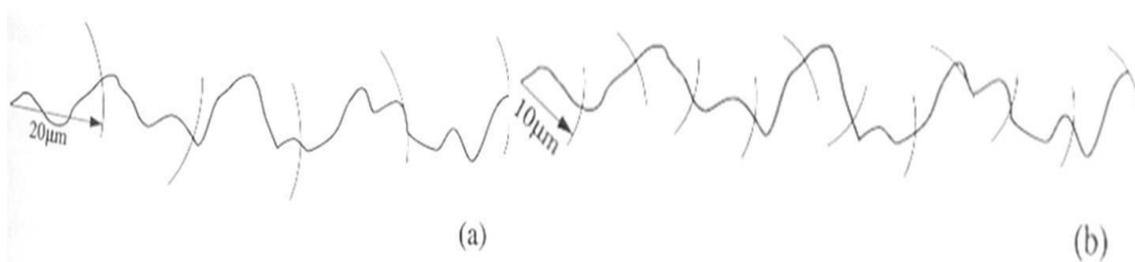
La figura 1.20 se representa la máquina de caída de dardo con la cual se realizan los ensayos de impacto en la que se deja caer la masa directamente sobre la probeta modificando la altura hasta lograr que el material falle, los datos obtenidos se presentan en unidad de Joules (J).



**Figura 1.20** Máquina de ensayos de impacto por caída de dardo  
(Pacha, 2017)

#### 1.7.4 FRACTOGRAFÍA

Rodríguez (2013), afirma que fractografía es el término dado por Carl A. Zapffe en 1944 a su descubrimiento de un medio para superar la dificultad de llevar la lente de un microscopio suficientemente cerca de la superficie irregular de una fractura para revelar sus detalles dentro de los granos individuales. El propósito de la fractografía es analizar las características de fractura para intentar relacionar la topografía de la superficie de fractura con las causas y / o los mecanismos básicos de la fractura. Etimológicamente, la palabra fractografía es similar en su origen a la palabra metalográfico; fracto deriva del latín fractus, que significa fractura y grafía deriva del término griego grafo, es decir, tratamiento descriptivo.



**Figura 1.21** Determinación de la longitud de una línea irregular (perfil de fractura) usando divisores  
(Rodríguez, 2013)

En la figura 1.21 se ilustra la dirección de una fractura y la forma irregular que presenta.

Hull (1999), menciona que el estudio de la topografía de la superficie de fractura y su relación con la propagación de la grieta, o, en otras palabras, la Fractografía se refiere a

desentrañar o decodificar esta información. Este tipo de análisis proporciona una herramienta científica de gran alcance en muchas áreas, tales como el análisis microestructural, desarrollo de materiales, análisis de fallos de diagnóstico y procesos de control. Existen tres pasos básicos para el análisis de superficies de fractura que están en todos los estudios científicos basados en experimentos: 1) observar, 2) describir y medir, 3) interpretar. Estos pasos no son independientes y no pueden ser tratados como procesos separados en una investigación, porque lo que uno ve y observa depende de lo que uno sabe y entiende. Los procesos de observación, descripción e interpretación pueden ser una red compleja. Esto es particularmente cierto para el trabajo experimental en todas las formas de la microscopía.

#### **1.7.4.1 Microscopía electrónica**

Según Jacome (2015), los microscopios electrónicos son instrumentos científicos que, en lugar de usar luz visible, usan un haz de electrones de alta energía para examinar y caracterizar objetos en escala nanométrica. El haz de electrones tiene una longitud de onda de alrededor de  $0,5\text{\AA}$  que permite observar objetos en el orden nanométrico.

Dentro de la microscopía electrónica se requiere que los electrones sean acelerados mediante altos voltajes y que el sistema trabaje bajo presiones muy bajas, en el alto vacío, con la finalidad de evitar que los electrones que viajan con una trayectoria prefijada, desde la fuente hasta la muestra, se desvíen por la existencia de átomos o moléculas extrañas que no son parte de la muestra a analizar.

Básicamente existen dos tipos de microscopios, el microscopio electrónico de barrido y el microscopio electrónico de transmisión, los dos utilizan a los electrones como una fuente de iluminación, lentes electromagnéticas para que converja el haz de electrones sobre la muestra analizada, lentes objetivos para que se pueda magnificar la imagen y lentes protectores que permiten observar la forma, la estructura interna y el ordenamiento atómico de la muestra analizada.

## **CAPÍTULO II**

### **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **2.1 ENFOQUE INVESTIGATIVO**

La metodología usada para esta investigación fue de orden cuantitativo ya que se obtuvieron como resultados datos numéricos en cada ensayo destructivo realizado a las probetas del material compuesto los mismos que posteriormente fueron verificados y tabulados.

De igual manera corresponde un enfoque transversal ya que los resultados fueron obtenidos en un determinado tiempo y con resultados inmediatos que permitieron conocer el material compuesto que presenta las mejores propiedades referente al otro.

##### **2.1.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

###### **2.1.1.1 Exploratoria**

La investigación es de tipo exploratoria ya que se realizó una indagación para la recolección de información acerca de la fabricación de material compuesto por resina epóxica- fibra de cabuya y resina epóxica- fibra de caña de azúcar y de sus propiedades físico químicas, esto permitió determinar las fracciones volumétricas con las cuales se dispuso el material, así como también la respectiva disposición y longitud de las fibras ya sean de cabuya o de caña de azúcar sobre la matriz de epóxica permitiendo de esta manera saber qué cantidad de matriz será necesaria para fabricar las probetas.

###### **2.1.1.2 Descriptiva**

La investigación guarda un tipo descriptivo ya que se enfocó en determinar y describir las diferentes mezclas y configuración a utilizar tanto para la fibra de cabuya, así como la fibra de caña de azúcar en realización de las distintas probetas determinando las mejores características mecánicas y así encontrar el material que presente mejor resistencia.

### **2.1.1.3 Bibliográfica**

Para el desarrollo del presente trabajo fue importante realizar una indagación en las diferentes fuentes de investigación tales como artículos científicos, revistas, libros, tesis, entre otros, de manera que la información sea confiable y contribuya al desarrollo del tema de manera más eficaz buscando información acorde al tema de investigación establecido.

### **2.1.1.4 Experimental**

De tipo experimental en la realización de los ensayos destructivos que caracterizaron al material siendo estos a tracción, flexión, impacto y fractografía pudiendo determinar la mejor combinación matriz-refuerzo y su configuración con el fin de poder llevar a la industria futura el mejor material compuesto.

## **2.1.2 POBLACIÓN Y MUESTRA**

Se usaron fibras de cabuya y caña de azúcar más una resina epoxi, respectivamente para cada una de las fibras, para la obtención del material compuesto y compararlos entre sí, las fibras se colocaron de manera continua para los dos casos con longitud de 20 cm, el proceso de estratificación se lo realizó de manera manual y a compresión logrando la obtención de las probetas y realizando los respectivos ensayos.

- 60% de matriz –40% de refuerzo (cabuya) (fibra continua, dirección 90°-0°-90°)
- 75% de matriz –25% de refuerzo (cabuya) (fibra continua, dirección 90°-0°-90°)
- 60% de matriz –40% de refuerzo (caña de azúcar) (fibra continua, dirección 90°-0°-90°)
- 75% de matriz –25% de refuerzo (caña de azúcar) (fibra continua, dirección 90°-0°-90°)

Para este estudio la muestra se representó por las probetas realizadas tanto para la resina epóxica con refuerzo de fibra de cabuya, así como para la misma resina con refuerzo de fibra de caña de azúcar, las cuales fueron dispuestas con un número de seis probetas por cada ensayo de acuerdo con la configuración y fracción volumétrica elegida, así como las especificaciones establecidas por la normativa y representadas en la medida de los moldes y

probetas ( Tracción ASTM D3039-00, Flexión ASTM D7264-07 e Impacto ASMT D5628-10), esto permitió determinar la mejor combinación de matriz y refuerzo.

- Pruebas de tracción uso de 24 probetas (matriz- refuerzo cabuya y matriz- refuerzo caña de azúcar)
- Pruebas de flexión uso de 24 probetas (matriz- refuerzo cabuya y matriz- refuerzo caña de azúcar)
- Pruebas de impacto uso de 24 probetas (matriz- refuerzo cabuya y matriz- refuerzo caña de azúcar)

## 2.1.3 OPERACIÓN DE VARIABLES

### 2.1.3.1 Variable Independiente

Material compuesto por matriz de resina epóxica - fibra de cabuya y resina epóxica- fibra de caña de azúcar.

**Tabla 2.1** Variable Independiente

Variable	Contextualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentos
Material compuesto de matriz epóxica reforzada con fibra de cabuya y material compuesto de misma matriz con refuerzo de fibra de caña de azúcar.	Un material compuesto está formado de dos o más materiales o elementos que al ser unidos permiten obtener un nuevo material con características únicas y una mejora en las propiedades de los elementos base mismas que pueden verse reflejadas en la rigidez, peso, resistencia a la temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad. Está formado por una matriz y un elemento de refuerzo.	Material compuesto con matriz termoestable y con refuerzo de fibra	Dirección y configuración de la fibra  Fracción volumétrica  Estratificación	90°-0°-90°  M-R 60-40% 75-25%  Manual	-Investigación bibliográfica -Registro de datos -Observación -Medición  -Normas ASTM Tracción ASTM D3039 Flexión ASTM D7264 Impacto ASTM D5628 Fractografía

### 2.1.3.2 Variable Dependiente

Valores de las propiedades mecánicas del material compuesto.

**Tabla 2.2** Variable Dependiente

Variable	Contextualización	Categorías	Indicadores	Índice	Técnicas e instrumentos
Valores de las propiedades mecánicas del material compuesto sometido a diferentes ensayos destructivos	La conducta o características mecánicas de un material indican la relación entre la fuerza aplicada y la reacción del material debido a que cuando el material se encuentra en condiciones de trabajo este es sometido a fuerzas o cargas que intervienen en la deformación del material	Propiedades Mecánicas  Análisis Fractográfico o Micro estructural	Tracción  Flexión  Impacto  Microscopia Electrónica	Resistencia a la tracción ()  Módulo de elasticidad en tracción ()  Resistencia a la flexión ()  Módulo de flexión ()  Resistencia al impacto  ¿Existirá adherencia entre la matriz y el material de refuerzo?	-Investigación bibliográfica  -Investigación de campo  -Fichas y datos de los ensayos

### 2.1.4 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La información recolectada para el desarrollo de la presente investigación tuvo como base el estudio bibliográfico el cual se realizó en las diferentes fuentes de investigación como libros, tesis, artículos científicos, revistas, entre otros, los cuales permitieron tener datos de estudios ya realizados y que sirvieron de guía y sustentación del trabajo; de igual forma se recolectaron datos provenientes de los diferentes ensayos realizados (tracción, flexión e impacto) tomando notas de los parámetros que fueron de mayor relevancia para el estudio. Por otro lado, también se obtuvieron datos del análisis fractográfico realizado a las probetas que permitieron determinar la adherencia entre la matriz y el refuerzo.

## **2.1.5 PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

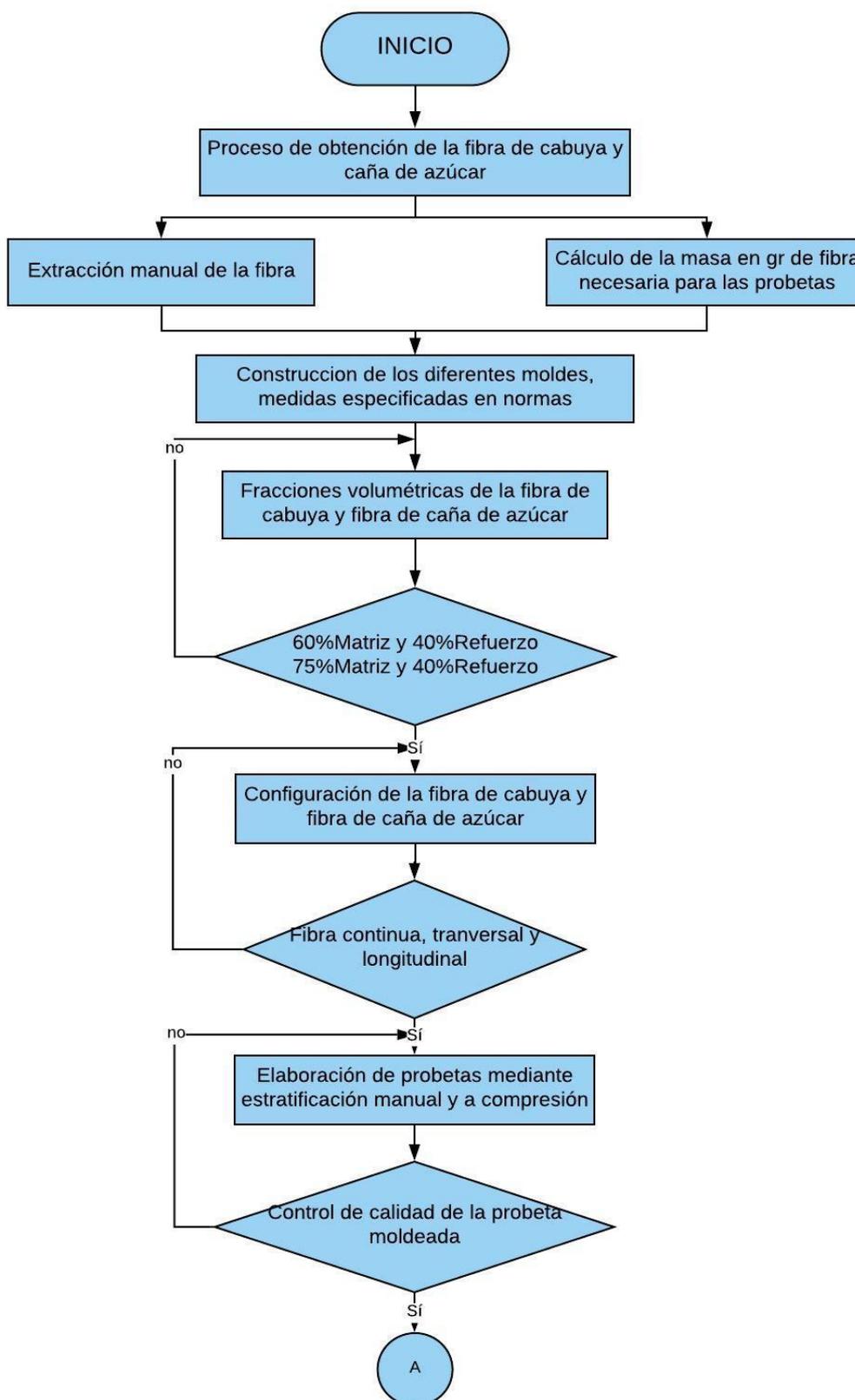
### **2.1.5.1 Procesamiento y análisis de información**

Se procedió a tomar los datos que arrojaron los ensayos de tracción, flexión e impacto, así como también del análisis fractográfico realizados al material compuesto los cuales fueron procesados de la siguiente forma:

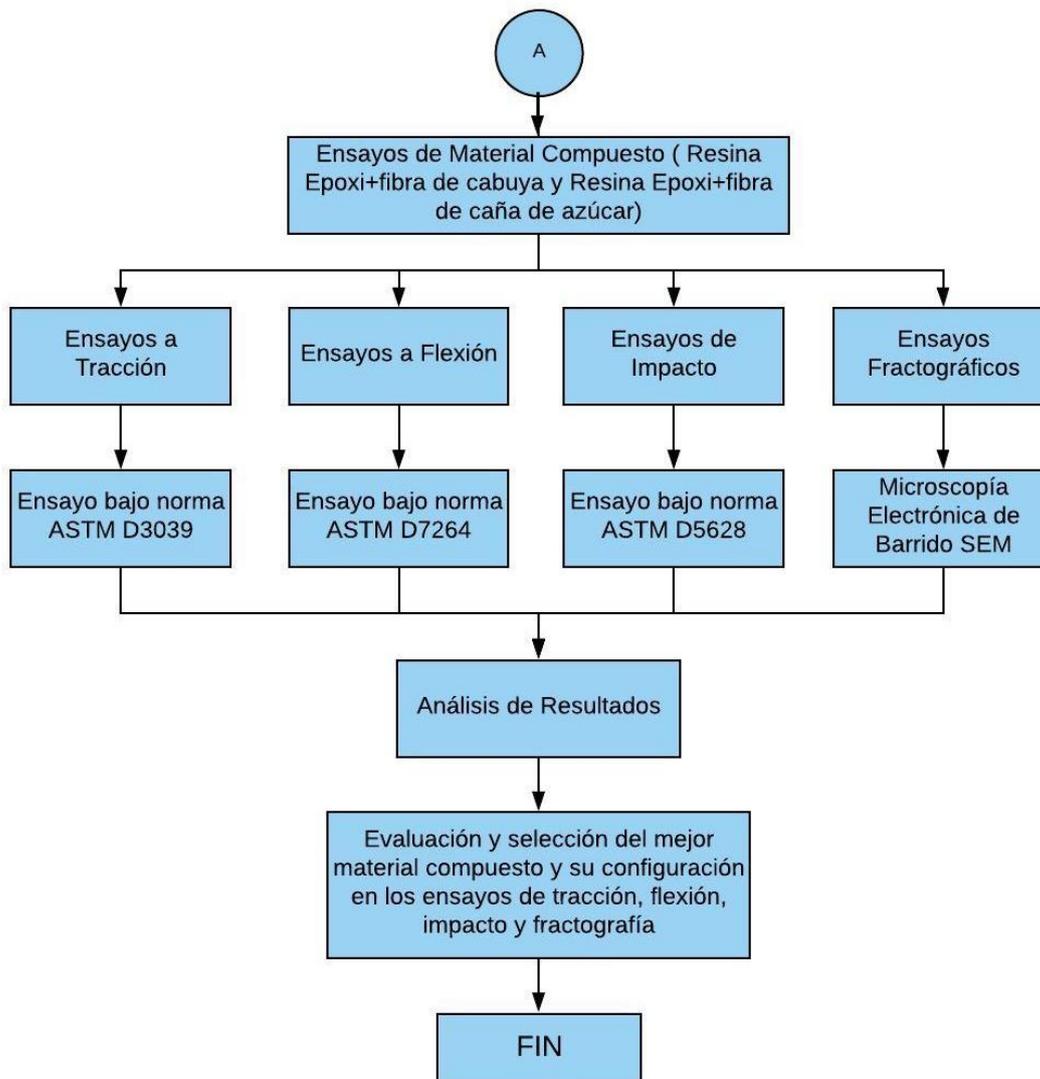
- Se examinó de manera minuciosa los datos obtenidos realizando una recolección de la información más relevante de manera clara y organizada
- Realización de fichas técnicas con el procesamiento de los datos obtenidos de los ensayos realizados
- Se analizaron e interpretaron los resultados obtenidos
- Se realizó cuadros comparativos que permitieron identificar el material que presenta las mejores propiedades.

### **2.1.5.2 Análisis e interpretación de resultados**

Una vez hecho los ensayos de laboratorio como son los de tracción, flexión e impacto se procedió a la realización del análisis e interpretación de los resultados, los datos provinieron de 6 probetas por cada ensayo tanto para la fibra de cabuya como la de caña de azúcar, la cantidad de probetas fueron establecidas por la normativa ASTM propia para cada ensayo, esto con la finalidad de tener una mayor precisión en los datos (Mazón, 2017). En este punto se logró apreciar la factibilidad de la configuración y la fracción volumétrica que se ha usado en las probetas así como las propiedades mecánicas que presenta el nuevo material al ser sometidos a estos esfuerzos, consecutivamente se procedió a la realización del ensayo fractográfico que nos permitieron analizar cuál es la adherencia que presentan los distintos componentes (matriz epóxica + fibra de cabuya y matriz epóxica + fibra de caña de azúcar) usados en el material compuesto, de igual forma se realizó una tabulación de resultados obtenidos en de los ensayos del nuevo material para así poder realizar un análisis que permita una acertada comparación entre los dos materiales para así poder determinar que fibra de refuerzo presentó la mejor combinación con la matriz epóxica.



**Figura 2.1** Diagrama de flujo del proceso de fabricación y ensayos destructivos de probetas



**Figura 2.1** Diagrama de flujo del proceso de fabricación y ensayos destructivos de probetas

## 2.2 PROCEDIMIENTO

### 2.2.1 PRODUCCIÓN DE LA FIBRA DE REFUERZO

#### 2.2.1.1 Fibra de Cabuya

La extracción de la fibra de cabuya comienza con la realización de un atado de entre 5 a 10 hojas del penco (agave) las cuales son colocadas en agua durante 8 a 10 días con el fin de que la goma y la pulpa se descompongan, luego se procede a aplastar y raspar la hoja permitiendo la obtención de la fibra a la cual se dispone a secar a temperatura ambiente.

### 2.2.1.2 Fibra de Caña de Azúcar

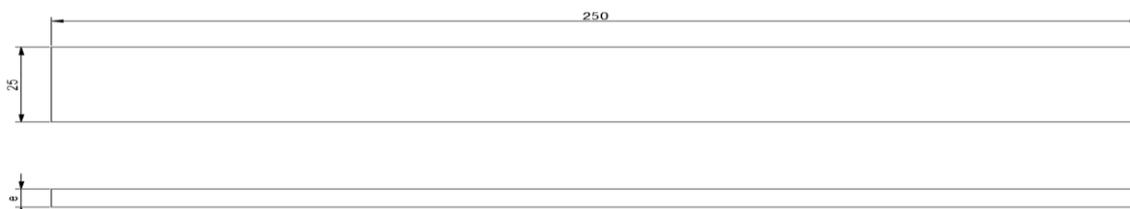
La extracción de la fibra de caña de azúcar comenzó con el corte de la caña a la a lo largo de todos sus nudos permitiendo dejar libres a los entrenudos, luego se realizaron dos cortes verticales en forma de cruz de nudo a nudo permitiendo obtener 4 secciones de entre nudo, consecuentemente se procedió a la división de la sección del entre nudo desprendiendo las partes que contienen la pulpa y la fibra para luego separarlas dejando secar a temperatura ambiente obteniendo las hebras de la fibra.

### 2.2.2 CÁLCULO DE LA MASA EN (g) DE LA FIBRA

Para poder determinar la masa (g) y establecer los cálculos tanto para la fibra de cabuya como para la fibra de caña de azúcar fue necesario determinar las dimensiones de las probetas, así como también tener establecidas las fracciones volumétricas a usar en los grupos de las probetas para cada uno de los ensayos.

#### 2.2.2.1 Volumen de las probetas a tracción

Las probetas en los ensayos a tracción están dispuestas bajo la normativa ASTM D3039



**Figura 2.2** Dimensión de las probetas a Tracción de acuerdo con la norma ASTM 3039

Con las medidas de la figura 2.2 procedemos a sacar el volumen general de las probetas a tracción.

Cálculo del área:

$$A=l*a$$

Dónde:

l= largo de la probeta (mm)

a= Ancho de la probeta (mm)

$$A=250mm*25mm$$

$$A=6250 \text{ mm}^2$$

$$A=62,50 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen

$$V=A*e$$

Dónde:

$A$  = Área de la probeta (mm)

$e$  = Espesor de la probeta (mm)

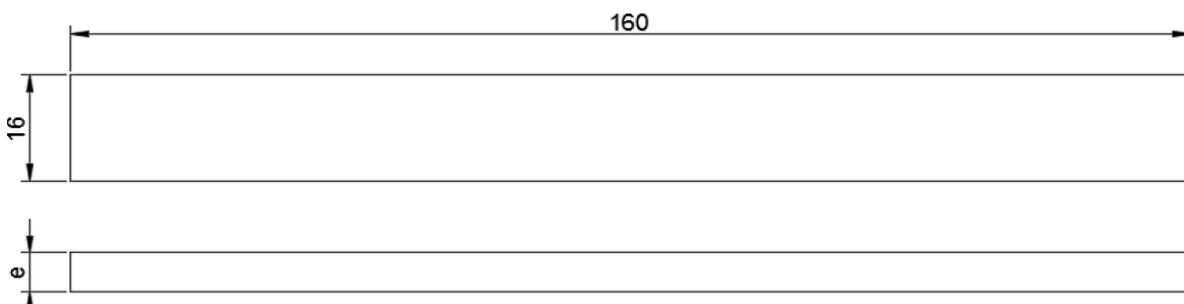
$$V=6250mm^2*3mm$$

$$V=18750mm^3$$

$$V=18,75cm^3$$

### 2.2.2.2 Volumen de las probetas a flexión

Las probetas en los ensayos a flexión están dispuestas bajo la normativa ASTM D7264



**Figura 2.3** Dimensión de las probetas a Flexión de acuerdo con la norma ASTM 7264

Con las medidas de la figura 2.3 procedemos a sacar el volumen general de las probetas a flexión.

Cálculo del área

$$A=l*a$$

Dónde:

$l$  = largo de la probeta (mm)

$a$  = Ancho de la probeta (mm)

$$A=160mm*16mm$$

$$A=2560 mm^2$$

$$A=25,60 cm^2$$

Cálculo del volumen:

$$V=A*e$$

Dónde:

A = Área de la probeta (mm)

e = Espesor de la probeta (mm)

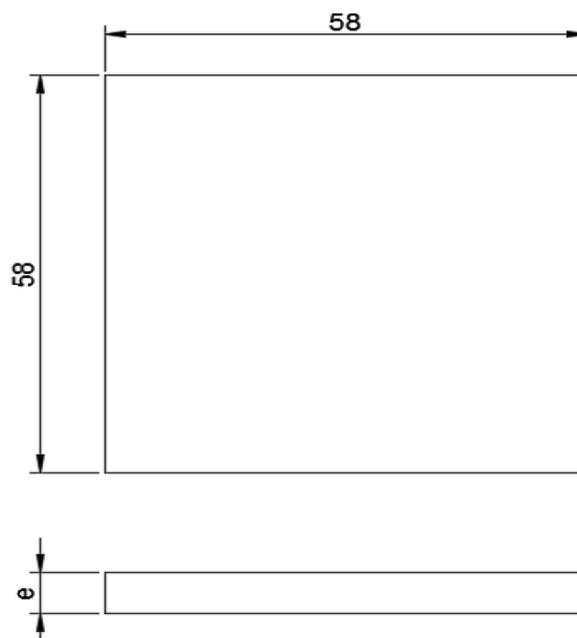
$$V=2560mm^2*3mm$$

$$V=7680 mm^3$$

$$V=7,68 cm^3$$

### 2.2.2.3 Volumen de las probetas de impacto

Las probetas en los ensayos a tracción están dispuestas bajo la normativa ASTM D5628



**Figura 2.4** Dimensión de las probetas a Impacto de acuerdo con la norma ASTM 5628

Con las medidas de la figura 2.3 procedemos a sacar el volumen general de las probetas a impacto.

Cálculo del área

$$A=l*a$$

Dónde:

$l$ = largo de la probeta (mm)

$a$ = Ancho de la probeta (mm)

$$A=58mm*58mm$$

$$A=3364 \text{ mm}^2$$

$$A=33,64 \text{ cm}^2$$

Cálculo del volumen:

$$V=A*e$$

Dónde:

$A$  = Área de la probeta (mm)

$e$  = Espesor de la probeta (mm)

$$V=3364mm^2*3mm$$

$$V=10092 \text{ mm}^3$$

$$V=10,09 \text{ cm}^3$$

#### 2.2.2.4 Condiciones de las probetas

Las fracciones volumétricas a usarse son las determinadas con anterioridad en el perfil de la tesis.

Las fracciones volumétricas a utilizar son:

- Matriz 60% / Refuerzo 40%
- Matriz 75% / Refuerzo 25%

Uno de los factores importantes a considerar es la condición de la fibra para lo cual como ya se ha establecido la fibra estará dispuesta de manera continua es decir se usarán fibras largas en todas las probetas tanto para la cabuya como para la caña de azúcar.

- Fibra larga

Se tomo dos tipos de estratificación para la realización de las probetas

- Estratificación Manual
- Estratificación por Compresión

Probetas de Resina epóxica con fibra de “cabuya”.

**Tabla 2.3** Estructura de grupos de probetas de cabuya

<b>TRACCIÓN</b>				
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° Probetas Total
1	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
2	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
<b>FLEXIÓN</b>				
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° Probetas Total
3	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
4	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
<b>IMPACTO</b>				
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° Probetas Total
5	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
6	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
<b>PROBETAS TOTAL</b>				<b>36</b>

Probetas de Resina epóxica con fibra de “caña de azúcar”.

**Tabla 2.4** Estructura de grupos de probetas de caña de azúcar

<b>TRACCIÓN</b>				
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° Probetas Total
7	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
8	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
<b>FLEXIÓN</b>				
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° Probetas Total
9	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
10	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
<b>IMPACTO</b>				
Grupo	Fracción volumétrica (%)	Tipo	Orientación	N° Probetas Total
11	60 matriz / 40 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
12	75 matriz / 25 refuerzo	Continua	90 – 0 - 90	<b>6</b>
<b>PROBETAS TOTAL</b>				<b>36</b>

## Cálculos

Las probetas se realizaron de matriz epóxica con un refuerzo de fibra de cabuya y de la misma matriz reforzado con fibra de caña de azúcar para los diferentes ensayos como se presenta a continuación

Datos conocidos:

Densidades

- $\rho$  cabuya = 1,30 g/cm<sup>3</sup> (Pachacama, 2015)
- $\rho$  caña de azúcar = 0,83 g/cm<sup>3</sup> (Hemath Kumar, Babuvishwanath, Rajesh Purohit, Pramod Sahu, & Rana, 2017)
- $\rho$  resina = 1,10 g/cm<sup>3</sup> (Pachacama, 2015)

### a) Probetas a Tracción

Se da paso al cálculo de la masa total de las fibras con los datos ya obtenidos para las probetas a tracción.

El volumen total de cada probeta 18,75 cm<sup>3</sup>

El número de probetas por cada fracción volumétrica y tipo de fibra son:

- 12 probetas con fracción volumétrica al 40% refuerzo que corresponde a 7,50cm<sup>3</sup>
- 12 probetas con fracción volumétrica al 25% refuerzo que corresponde a 4,68cm<sup>3</sup>

- **Fibra de cabuya**

-La masa de la fibra de cabuya al 40% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,30 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 7,50 cm^3$$

$$m = 9,75 g$$

$$m (1) = 9,75 * 6$$

$$m (1) = 58,50 g$$

Donde:

$m(1)$  = masa total de todas las probetas a tracción del grupo 1

-La masa de la fibra de cabuya al 25% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,30 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 4,68 cm^3$$

$$m = 6,08 g$$

$$m(2) = 6,08 * 6$$

$$m(2) = 36,50 g$$

Donde:

$m(2)$  = masa total de todas las probetas a tracción del grupo 2

-La masa total de las 12 probetas de fibra de cabuya es:

$$m(T) = m(1) + m(2)$$

$$m(T) = 58,50g + 36,50g$$

$$m(T) = 95g$$

Para el ensayo de tracción se utilizó un total de 95g de fibra de cabuya combinada con la resina epóxica para la formación del material compuesto.

- **Fibra de caña de azúcar**

-La masa de la fibra de “caña de azúcar” al 40% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,83 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 7,50 cm^3$$

$$m = 6,22 g$$

$$m(7) = 6,22 * 6$$

$$m(7) = 37,35 g$$

Donde:

$m(7)$  = masa total de todas las probetas a tracción del grupo 7

- La masa de la fibra de “caña de azúcar” al 25% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,83 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 4,68 cm^3$$

$$m = 3,88 g$$

$$m(8) = 3,88 * 6$$

$$m(8) = 23,31 g$$

Donde:

$m(8)$  = masa total de todas las probetas a tracción del grupo 8

-La masa total de las 12 probetas de fibra de caña de azúcar es:

$$m(T) = m(7) + m(8)$$

$$m(T) = 37,35g + 23,31g$$

$$m(T) = 60,66g$$

Para el ensayo de tracción se utilizó un total de 60,66g de fibra de caña de azúcar combinada con la resina epóxica para la formación del material compuesto.

### **b) Probetas a Flexión**

Se da paso al cálculo de la masa total de las fibras con los datos ya obtenidos para las probetas a flexión.

El volumen total de cada probeta  $7,68 cm^3$

El número de probetas por cada fracción volumétrica y tipo de fibra son:

- 12 probetas con fracción volumétrica al 40% refuerzo que corresponde a  $3,07 cm^3$
- 12 probetas con fracción volumétrica al 25% refuerzo que corresponde a  $1,92 cm^3$

- **Fibra de cabuya**

-La masa de la fibra de cabuya al 40% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,30 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 3,07 cm^3$$

$$m = 3,99 g$$

$$m(3) = 3,99 * 6$$

$$m(3) = 23,95 g$$

Donde:

$m(3)$  = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 3

-La masa de la fibra de cabuya al 25% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,30 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 1,92 cm^3$$

$$m = 2,49 g$$

$$m(4) = 2,49 * 6$$

$$m(4) = 14,94 g$$

Donde:

$m(4)$  = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 4

-La masa total de las 12 probetas con fibra de cabuya es:

$$m(T) = m(3) + m(4)$$

$$m(T) = 23,95 g + 14,94 g$$

$$m(T) = 38,89 g$$

Para el ensayo de flexión se utilizó un total de 38,89 g de fibra de cabuya combinada con la resina epóxica para la formación del material compuesto.

- **Fibra de caña de azúcar**

-La masa de la fibra de “caña de azúcar” al 40% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,83 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 3,07 cm^3$$

$$m = 2,54 g$$

$$m(9) = 2,54 * 6$$

$$m(9) = 15,29 g$$

Donde:

$m(9)$  = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 9

-La masa de la fibra de “caña de azúcar” al 25% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,83 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 1,92 cm^3$$

$$m = 1,59 g$$

$$m(10) = 1,59 * 6$$

$$m(10) = 9,56 g$$

Donde:

$m(10)$  = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 10

-La masa total de las 12 probetas con fibra de caña de azúcar es:

$$m(T) = m(9) + m(10)$$

$$m(T) = 15,29g + 9,56g$$

$$m(T) = 24,85g$$

Para el ensayo de flexión se utilizó un total de 24,85 g de fibra de caña de azúcar combinada con la resina epóxica para la formación del material compuesto.

### c) Probetas a impacto

Se realiza el cálculo de la masa total de las fibras con los datos ya obtenidos para las probetas a impacto.

El volumen total de cada probeta 10,09 cm<sup>3</sup>

El número de probetas por cada fracción volumétrica y tipo de fibra son:

- 10 probetas con fracción volumétrica al 40% refuerzo que corresponde a 4,03cm<sup>3</sup>
- 10 probetas con fracción volumétrica al 25% refuerzo que corresponde a 2,52cm<sup>3</sup>

#### • Fibra de cabuya

-La masa de la fibra de cabuya al 40% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,30 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 4,03cm^3$$

$$m = 5,24 g$$

$$m (5) = 5,24 * 6$$

$$m (5) = 31,44 g$$

Donde:

m (5) = masa total de todas las probetas a impacto del grupo 5

-La masa de la fibra de cabuya al 25% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 1,30 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 2,52cm^3$$

$$m = 3,28 g$$

$$m (6) = 3,28 * 6$$

$$m (6) = 19,68 g$$

Donde:

$m(6)$  = masa total de todas las probetas a impacto del grupo 6

-La masa total de las 12 probetas con fibra de cabuya es:

$$m(T) = m(5) + m(6)$$

$$m(T) = 31,44g + 19,68g$$

$$m(T) = 51,12g$$

Para el ensayo de impacto se utilizó un total de 51,12 g de fibra de cabuya combinada con la resina epóxica para la formación del material compuesto.

- **Fibra de caña de azúcar**

-La masa de la fibra de “caña de azúcar” al 40% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,83 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 4,03cm^3$$

$$m = 3,34 g$$

$$m(11) = 3,34 * 6$$

$$m(11) = 20,07 g$$

Donde:

$m(11)$  = masa total de todas las probetas a impacto del grupo 11

-La masa de la fibra de “caña de azúcar” al 25% para las 6 probetas es:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho * V$$

$$m = 0,83 \left( \frac{g}{cm^3} \right) * 2,52cm^3$$

$$m = 2,09 g$$

$$m(12) = 2,09 * 6$$

$$m(12) = 12,55 g$$

Donde:

$m(12)$  = masa total de todas las probetas a impacto del grupo 12

La masa total de las 12 probetas con fibra de caña de azúcar es:

$$m(T) = m(11) + m(12)$$

$$m(T) = 20,07g + 12,55g$$

$$m(T) = 32,62g$$

Para el ensayo de impacto se utilizó un total de 32,62 g de fibra de caña de azúcar combinada con la resina epóxica para la formación del material compuesto.

Cuadro general del uso en gr de fibra de cabuya y fibra de caña de azúcar para las probetas usadas en los ensayos de tracción, flexión e impacto.

**Tabla 2.5** Cuadro resumen de los totales en gramos de masa por tipo de refuerzo

<b>ENSAYO DE TRACCIÓN</b>				
N° probetas	Fibra	Configuración	Valor por config. (g)	Total (g)
6	Cabuya	60% matriz-40% refuerzo	58,50	95
6		75% matriz-25% refuerzo	36,50	
6	Caña de Azúcar	60% matriz-40% refuerzo	37,35	60,66
6		75% matriz-25% refuerzo	23,31	
<b>ENSAYO DE FLEXIÓN</b>				
6	Cabuya	60% matriz-40% refuerzo	23,95	38,89
6		75% matriz-25% refuerzo	14,94	
6	Caña de Azúcar	60% matriz-40% refuerzo	15,29	24,85
6		75% matriz-25% refuerzo	9,56	
<b>ENSAYO DE IMPACTO</b>				
6	Cabuya	60% matriz-40% refuerzo	31,44	51,12
6		75% matriz-25% refuerzo	19,68	
6	Caña de	60% matriz-40% refuerzo	20,07	32,62
6		75% matriz-25% refuerzo	12,62	

**Tabla 2.6** Medida total de la fibra en gramos para la fabricación de probetas

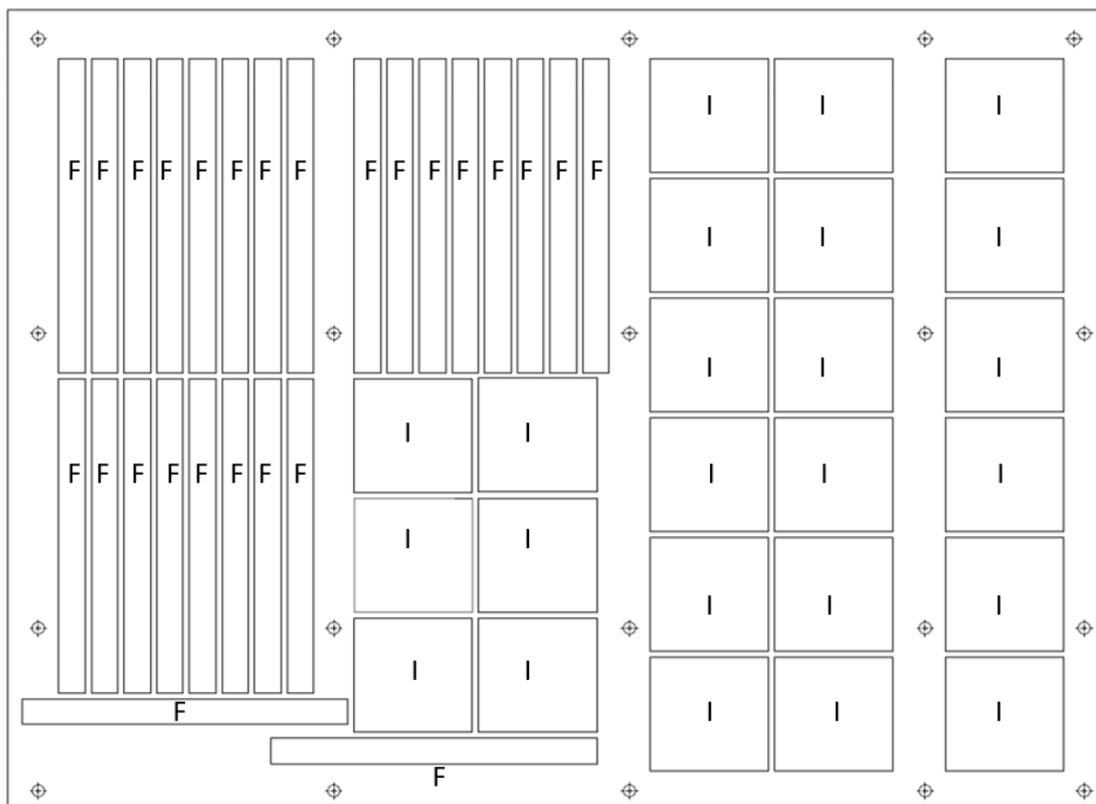
FIBRA	TOTAL (g)
Cabuya	185,01
Caña de Azúcar	118,13

## 2.2.3 FABRICACION DE LAS PROBETAS

### 2.2.3.1 Fabricación del molde

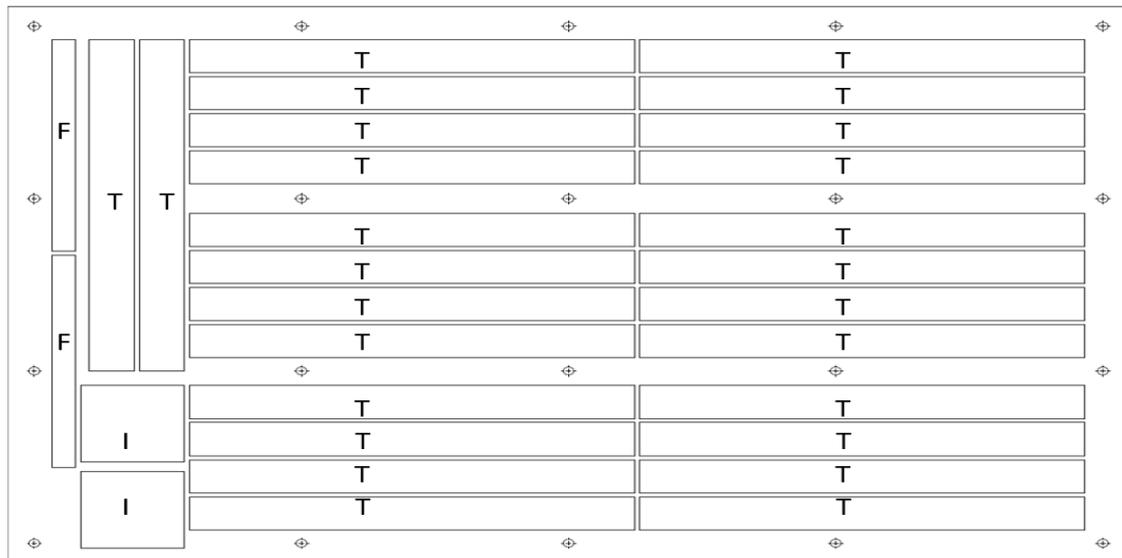
Los moldes se realizaron bajo la normativa ASTM D3039 para los ensayos a tracción, ASTM D7264 para los ensayos a flexión y ASTM D5628 para los ensayos de impacto, fueron fabricados con 4 planchas de madera con un espesor de 12mm y con perforaciones de pernos que permiten realizar la compresión del material compuesto, con un diámetro de perforación de 6mm.

En la figura 2.5 se muestra la distribución del primer molde con una medida de 538mm x 408mm y en el cual se obtiene 26 probetas de flexión (F) y 24 probetas a impacto (I).



**Figura 2.5** Molde 1 para obtención de probetas

En la figura 2.6 se muestra la distribución del segundo molde con una medida de 630mm x 420mm y en el cual se obtiene 26 probetas a tracción (T), 2 probetas a impacto (I) y 2 probetas a flexión (F).



**Figura 2.6** Molde 2 para obtención de probetas

### 2.2.3.2 Configuración de las fibras

Para este estudio se utilizó dos orientaciones para la colocación de las fibras de cabuya y caña de azúcar en los moldes como se observa a continuación en la tabla 2.7:

**Tabla 2.7** Orientación de la fibra de cabuya y caña de azúcar

<b>FIBRA CONTINUA</b>	<b>LONGITUDINAL</b>	<b>TRANSVERSAL</b>
Cabuya		
Caña de azúcar		

### 2.2.3.3 Proceso de obtención de probetas a tracción, flexión e impacto.

- a) Colocar cera desmoldante en cada uno de los diferentes moldes como se observa en la figura 2.7, esparcir completamente y esperar que se seque, el tiempo que tarde en secarse dependerá de la cantidad y tipo de cera que se aplicó.



**Figura 2.7** Enserado de los moldes

- b) Colocar la fibra en el molde y mezclarla con la resina completamente, se debe asegurar que cada filamento de la fibra este cubierto de resina para evitar que existan burbujas de aire en el material compuesto.



**Figura 2.8** Colocación de la fibra en los moldes para mezclar con resina

- c) Colocar la mezcla de resina y fibra completamente en los moldes tomando en cuenta la orientación de las fibras.



**Figura 2.9** Molde completo con fibra y resina

- d) Poner la tapa encima de los moldes para sellarlos mediante los pernos que permiten dar la presión adecuada al molde para una mejor adherencia entre matriz y refuerzo permitiendo eliminar las burbujas de aire del material compuesto. En este estado se deja reposar por 3 días para que se solidifique el material compuesto.



**Figura 2.10** Colocación de la tapa del molde

- e) Desmontar cuidadosamente la probeta del molde.



**Figura 2.11** Desmontaje de la probeta del molde

- f) Ubicar las probetas en un lugar con una temperatura controlada entre 20-40 °C para obtener un mejor curado.



**Figura 2.12** Plancha de probetas del material compuesto

- g) Obtención de las probetas a tracción luego del proceso de control de calidad, se debe colocar lija en los extremos de cada probeta con el fin de que las mordazas de la máquina de ensayos tengan mayor fijeza y evitar deslizamientos durante el ensayo de la probeta evitando datos erróneos.



**Figura 2.13** Probetas a tracción

- h) Obtención de las probetas a flexión luego del proceso de control de calidad.



**Figura 2.14** Probetas a flexión

i) Obtención de las probetas a impacto luego del proceso de control de calidad.



**Figura 2.15** Probetas a impacto

## CAPITULO III

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

El material compuesto es sometido a ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto con el fin de poder determinar las propiedades que presenta gracias a la combinación de sus elementos internos como son la matriz y el refuerzo.

Existen varias normas que son usadas para la realización de ensayos destructivos de materiales, en el caso de este trabajo se usó la normativa ASTM para materiales compuestos en la que se establecen varios estándares de diseño de las probetas para cada ensayo.

En referencia a los ensayos de tracción y flexión fueron realizados por el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del Gobierno de Tungurahua en el cual se usó la máquina de ensayos universales propia para materiales compuestos, por otro lado, los ensayos de impacto y fractografía se realizaron en la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Los datos obtenidos se clasificaron en tablas dispuestas por el tipo de ensayo realizado a los diferentes materiales con cada una de las configuraciones establecidas.

**Tabla 3.1** Representación de la disposición del material y configuración

<b>DISPOSICIÓN DEL MATERIAL Y CONFIGURACIÓN</b>			
<b>MATERIAL</b>		<b>CONFIGURACIÓN</b>	
1er	Resina epoxi con fibra de cabuya	1er	Matriz 75% - Refuerzo 25%
2do	Resina epoxi con fibra de caña de azúcar	2do	Matriz 60% - Refuerzo 40%

### 3.1.1 FICHAS DE REPORTE DE ENSAYOS DE TRACCIÓN

**Tabla 3.2** Resultado ensayo a tracción primer material con primera configuración

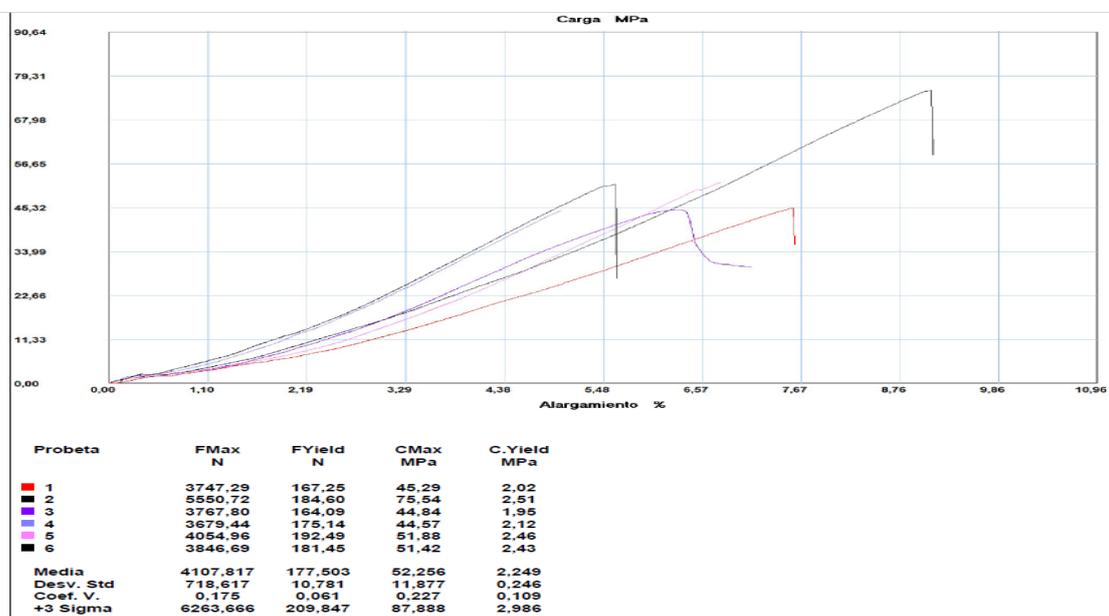
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Orientación:	90° - 0° - 90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	3.08 mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	23° C	Humedad:	49,30 %		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	3747,29	45,29	597,74	7,58	LGB
2	5550,72	75,54	828,88	9,11	LGB
3	3767,80	44,84	710,45	6,31	LGB
4	3679,44	44,57	889,43	5,01	LGT
5	4054,96	51,88	764,87	6,78	LGB
6	3846,69	51,42	916,49	5,61	LGB
Promedio	4107,81	52,25	784,64	6,73	-
Desv Est	718,62	11,88	119,29	1,47	-
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			52,25 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			784,64 MPa		
<b>FOTOGRAFIAS DE ENSAYO</b>					
					
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona Calibrada	M	Medio

En la figura 3.1 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a tracción representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al primer material compuesto con la primera configuración.



**Figura 3.1** Esfuerzo máximo probetas a tracción primer material- primera configuración

En la figura 3.2 se observa la curva de carga vs la deformación de las probetas a tracción de manera individual del ensayo realizado al primer material con la primera configuración, en la que se puede determinar la ausencia de la zona plástica antes de la ruptura.

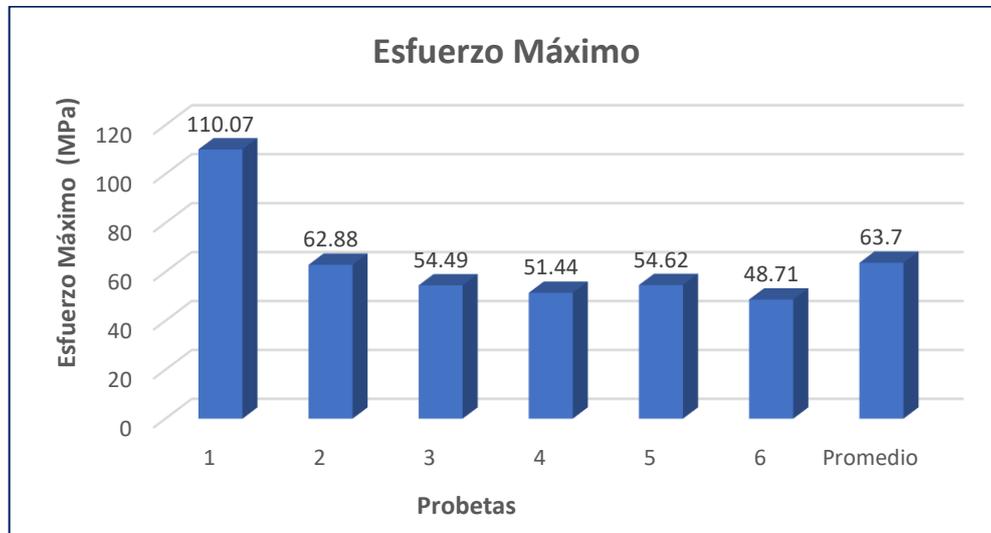


**Figura 3.2** Carga vs deformación ensayo tracción primer material-primera configuración

**Tabla 3.3** Resultado ensayo a tracción primer material con segunda configuración

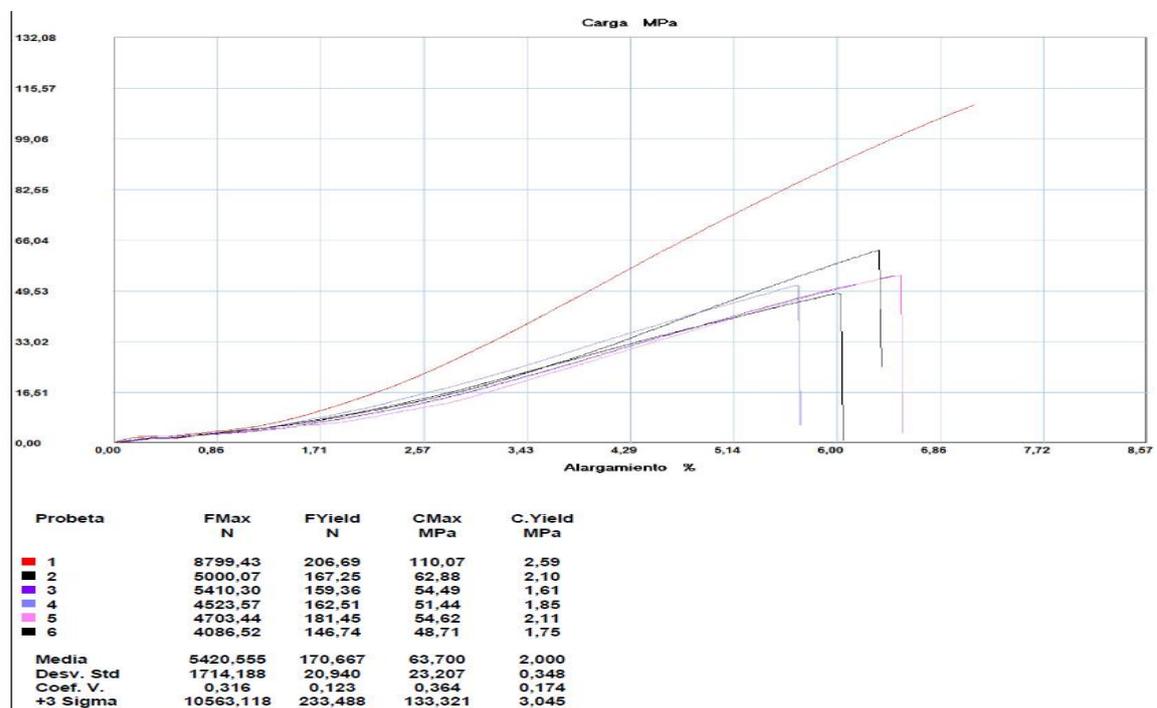
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Orientación:	90° - 0° - 90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	40%		
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,39 mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,70° C	Humedad:	52,70%		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	8799,43	110,07	1540,53	7,14	LGB
2	5000,07	62,88	989,93	6,35	LGT
3	5410,30	54,49	840,51	6,48	LAB
4	4523,57	51,44	905,44	5,68	LAB
5	4703,44	54,62	836,41	6,53	LGM
6	4086,52	48,71	811,55	6,00	LGT
Promedio	5420,55	63,70	987,39	6,36	-
Desv Est	1714,19	23,21	278,56	0,50	-
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			63,70 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			987,39 MPa		
<b>FOTOGRAFIAS DE ENSAYO</b>					
					
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona Calibrada	M	Medio

En la figura 3.3 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a tracción representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al primer material compuesto con la segunda configuración.



**Figura 3.3** Esfuerzo máximo probetas a tracción primer material- segunda configuración

En la figura 3.4 se observa la curva de carga vs la deformación de las probetas a tracción de manera individual del ensayo realizado al primer material con la segunda configuración, en la cual se puede determinar la ausencia de la zona plástica antes de la ruptura.

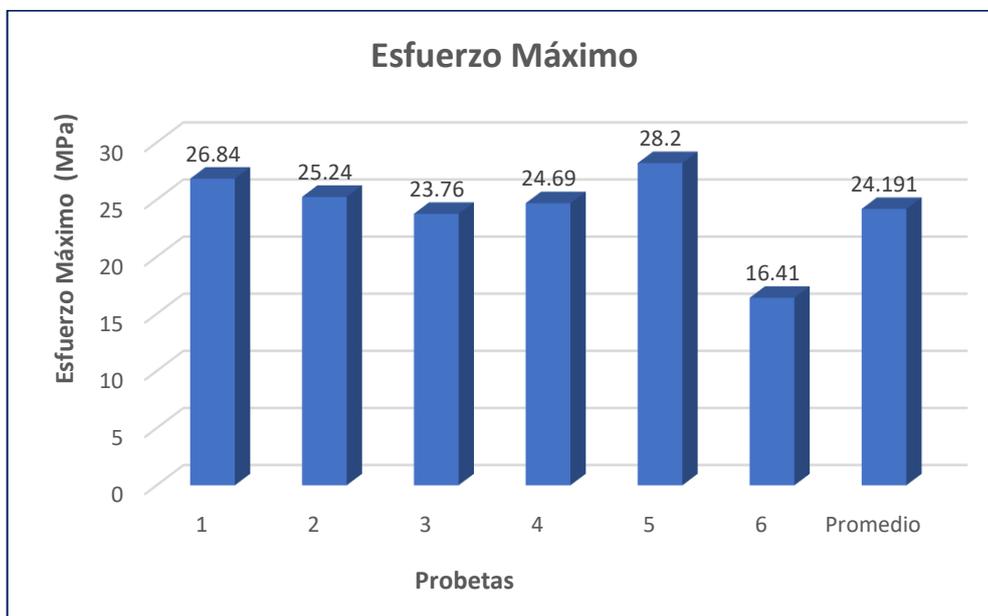


**Figura 3.4** Carga vs deformación ensayo tracción primer material- segunda configuración

**Tabla 3.4** Resultado ensayo a tracción segundo material con primera configuración

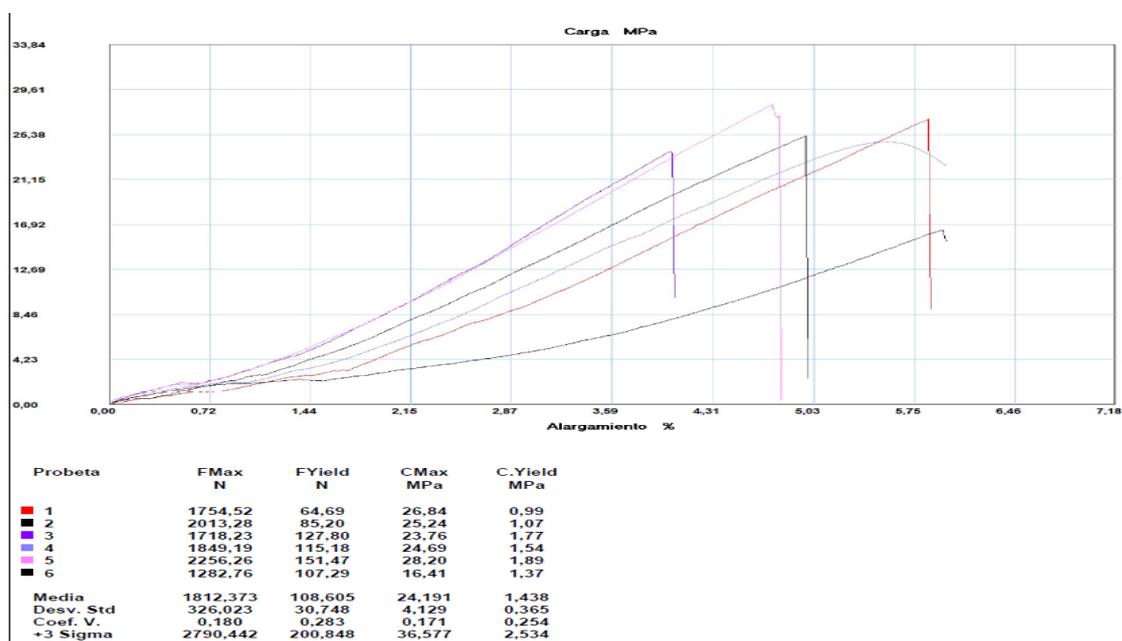
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Orientación:	90°- 0°- 90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,03 mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	21,20° C	Humedad:	50,80 %		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	1754,52	26,84	459,01	5,85	LGB
2	2013,28	25,24	508,07	4,97	LGM
3	1718,23	23,76	592,60	4,01	LAB
4	1849,19	24,69	445,78	5,54	LGM
5	2256,26	28,20	595,92	4,73	LGT
6	1282,76	16,41	275,61	5,95	LAB
Promedio	1812,37	24,19	479,49	5,17	-
Desv Est	326,02	4,13	118,57	0,75	-
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			24,19 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			479,49 MPa		
<b>FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO</b>					
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	B	Fondo
A	Angular	G	Zona Calibrada	M	Medio

En la figura 3.5 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a tracción representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al segundo material compuesto con la primera configuración.



**Figura 3.5** Esfuerzo máximo probetas a tracción segundo material- primera configuración

En la figura 3.6 se observa la curva de carga vs la deformación de las probetas a tracción de manera individual del ensayo realizado al segundo material con la primera configuración, en la cual se puede determinar la ausencia de la zona plástica antes de la ruptura.



**Figura 3.6** Carga vs deformación ensayo tracción segundo material- primera configuración

**Tabla 3.5** Resultado ensayo a tracción segundo material con segunda configuración

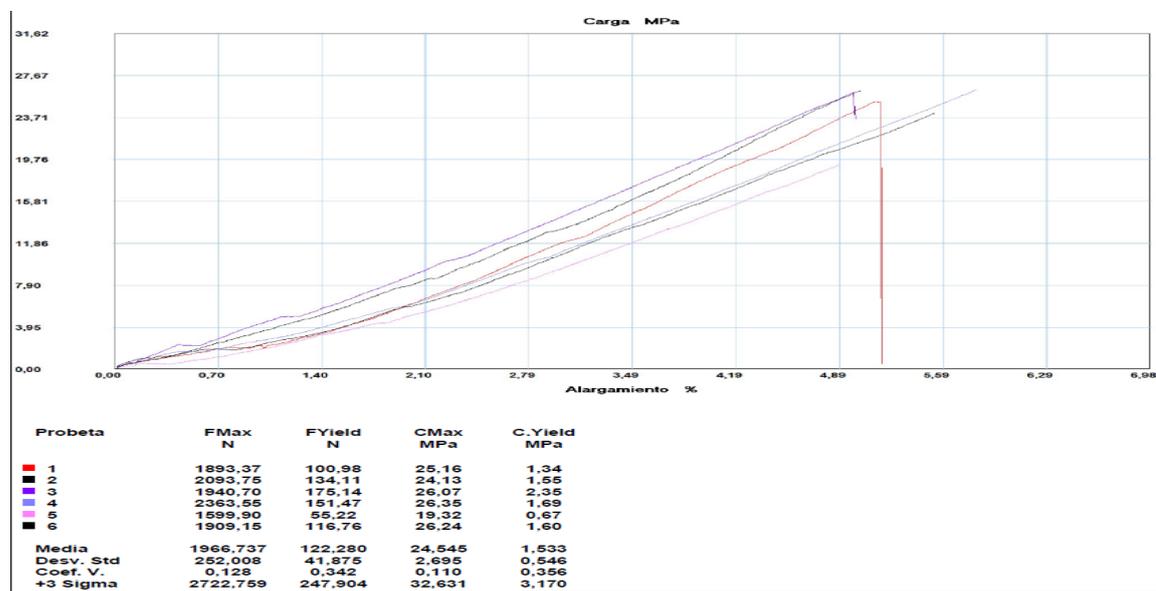
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Orientación:	90°- 0°- 90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	40%		
Dimensiones:	250mm*25mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,18 mm	Velocidad de ensayo	10 mm/min		
Temperatura:	22° C	Humedad:	49,70 %		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	1893,37	25,16	490,30	5,13	LGT
2	2093,75	24,13	436,31	5,53	LAB
3	1940,70	26,07	523,41	4,98	LGB
4	2363,55	26,35	452,71	5,82	LGT
5	1599,90	19,32	394,57	4,90	LAB
6	1909,15	26,24	521,15	5,04	LGM
Promedio	1966,73	24,54	469,74	5,23	-
Desv Est	252,01	2,70	51,00	0,36	-
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			24,54 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			469,74 MPa		
<b>FOTOGRAFIAS DE ENSAYO</b>					
					
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona Calibrada	M	Medio

En la figura 3.7 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a tracción representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al segundo material compuesto con la segunda configuración.



**Figura 3.7** Esfuerzo máximo probetas a tracción segundo material- segunda configuración

En la figura 3.8 se observa la curva de carga vs la deformación de las probetas a tracción de manera individual del ensayo realizado al segundo material con la segunda configuración, en la cual se puede determinar la ausencia de la zona plástica antes de la ruptura.



**Figura 3.8** Carga vs deformación ensayo tracción segundo material-segunda configuración

### 3.1.2 FICHAS DE REPORTE DE ENSAYOS DE FLEXIÓN

**Tabla 3.6** Resultado ensayo a flexión primer material con primera configuración

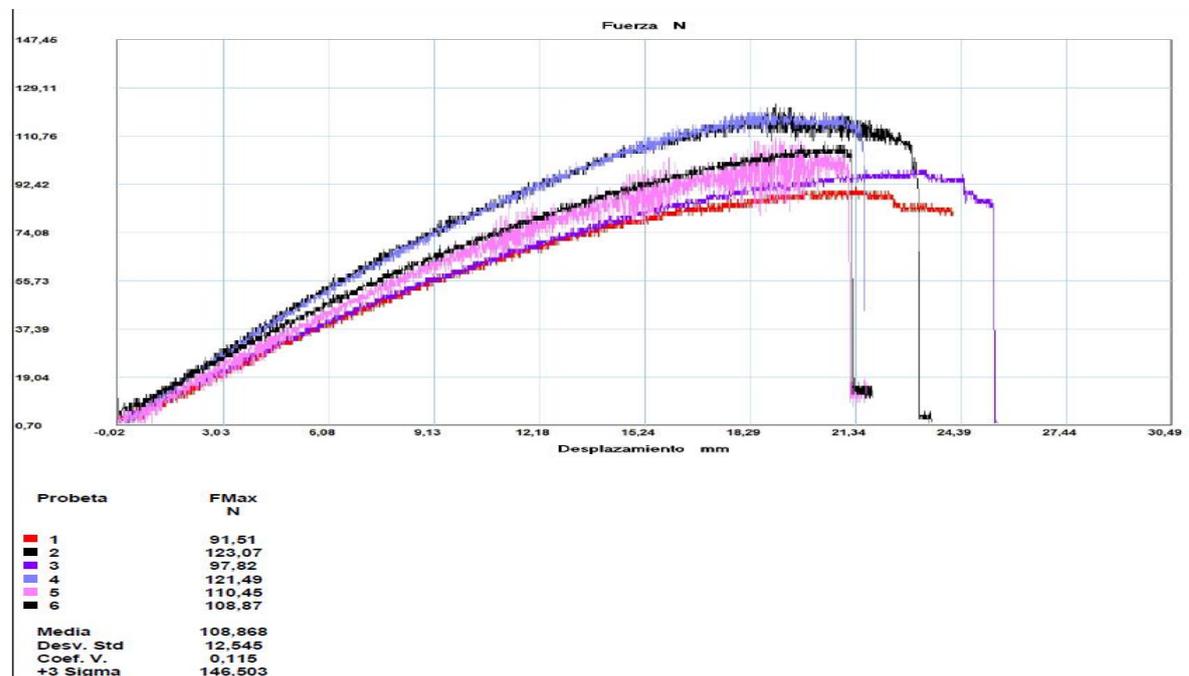
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:					
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Configuración:	90°-0° -90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,65 mm	Velocidad de ensayo	10mm/min		
Temperatura:	19,50° C	Humedad:	53,20 %		
RESULTADOS					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	91,51	107,10	3775,33	21,34	OAT
2	123,07	119,32	4475,17	19,01	OAT
3	97,82	101,27	3483,44	21,63	OAT
4	121,49	137,23	5555,91	18,58	OAT
5	110,45	122,08	4911,94	19,01	OAT
6	108,87	125,87	4719,53	20,4	OAT
Promedio	108,86	118,81	4486,89	20,00	-
Desv Est	12,54	13,00	760,39	1,31	-
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES					
Esfuerzo Máximo Promedio:			118,81 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			4486,89 MPa		
FOTOGRAFIAS DE ENSAYO					
					
DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	R	Derecha
				M	Medio
				U	Desconocido
				L	Izquierda
				T	Parte superior

En la figura 3.9 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a flexión representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al primer material compuesto con la primera configuración.



**Figura 3.9** Esfuerzo máximo probetas a flexión primer material- primera configuración

En la figura 3.10 se observa la curva de fuerza vs desplazamiento de las probetas a flexión, en la cual se determina que no existe un punto de fluencia definido y una ausencia de zona plástica del primer material compuesto con la primera configuración.

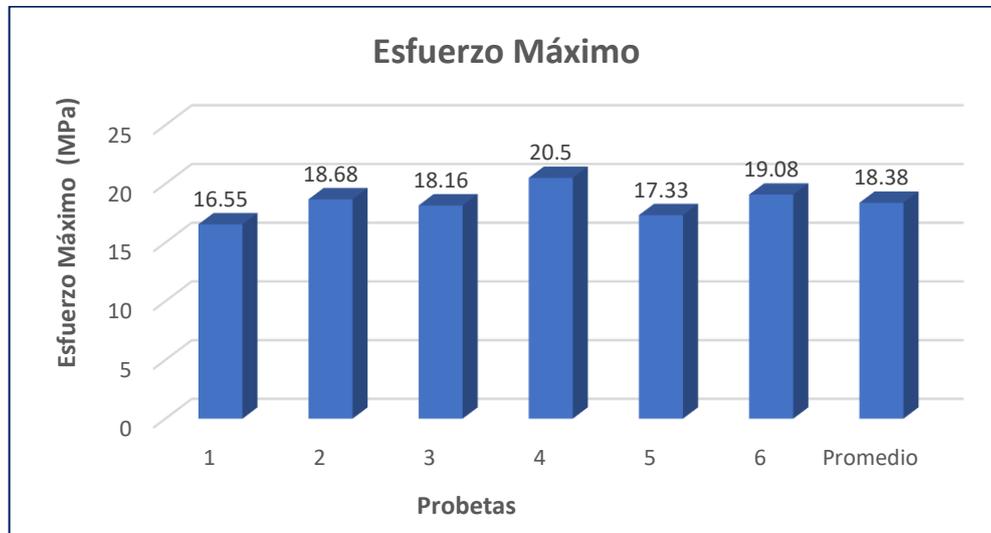


**Figura 3.10** Carga vs deformación ensayo flexión primer material-primera configuración

**Tabla 3.7** Resultado ensayo a flexión primer material con segunda configuración

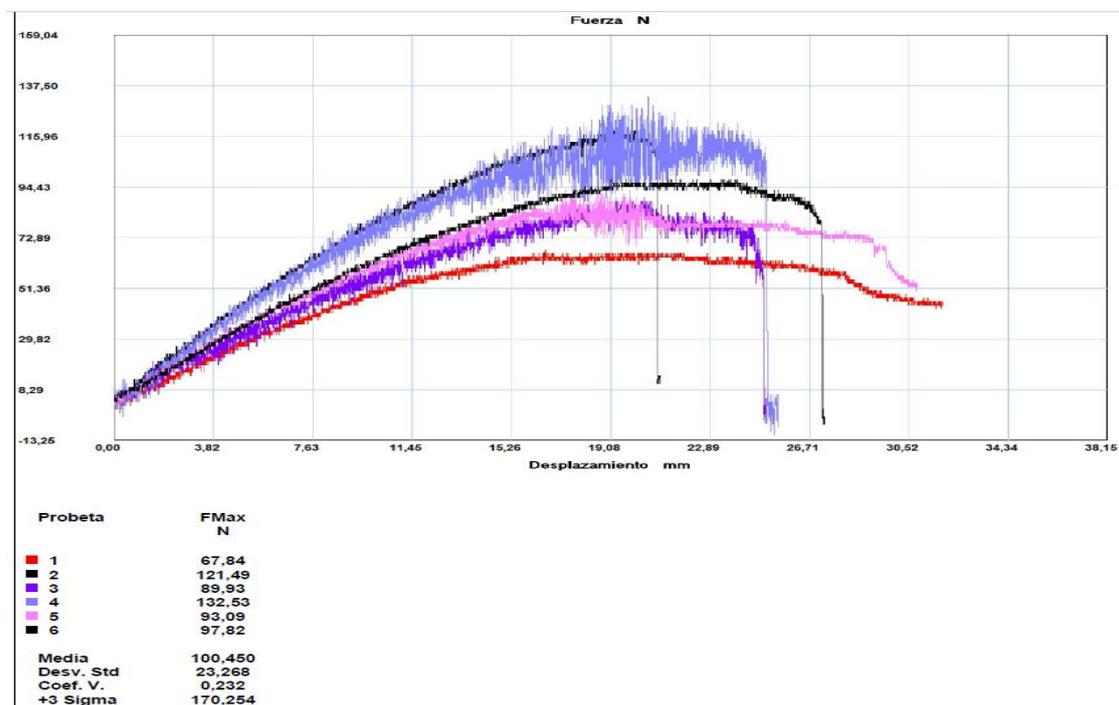
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Configuración:	90°-0° -90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	40%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	5,53 mm	Velocidad de ensayo	10mm/min		
Temperatura:	20,50° C	Humedad:	52,80 %		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	67,84	100,24	5152,61	16,55	OAT
2	121,49	129,88	5145,29	18,68	OAT
3	89,93	111,59	4835,79	18,16	OAT
4	132,53	142,01	5182,38	20,50	OAT
5	93,09	114,65	5088,85	17,33	OAT
6	97,82	113,99	4457,29	19,08	OBT
Promedio	100,45	118,73	4977,03	18,38	-
Desv Est	23,27	14,82	284,22	1,38	-
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			118,73 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			4977,03 MPa		
<b>FOTOGRAFIAS DE ENSAYO</b>					
					
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	R	Derecha
				M	Medio
				U	Desconocido
				L	Izquierda
				T	Parte superior

En la figura 3.11 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a flexión representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al primer material compuesto con la segunda configuración.



**Figura 3.11** Esfuerzo máximo probetas a flexión primer material- segunda configuración

En la figura 3.12 se observa la curva de fuerza vs desplazamiento de las probetas a flexión, en la cual se determina que no existe un punto de fluencia definido y una ausencia de zona plástica del primer material compuesto con la segunda configuración.



**Figura 3.12** Carga vs deformación ensayo flexión primer material-segunda configuración

**Tabla 3.8** Resultado ensayo a flexión segundo material con primera configuración

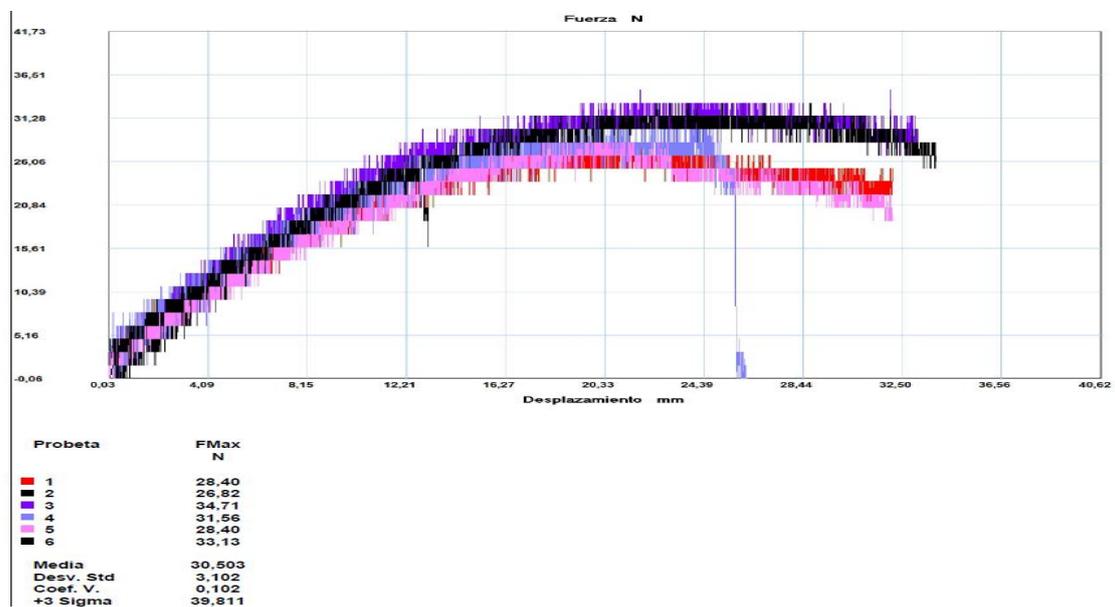
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Configuración:	90°-0° -90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%		
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	25%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	3,13 mm	Velocidad de ensayo	10mm/min		
Temperatura:	21,20° C	Humedad:	53,40 %		
<b>RESULTADOS</b>					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	28,40	48,45	2660,43	17,03	OAT
2	26,82	42,31	3313,28	11,47	OAT
3	34,71	47,11	1811,91	21,78	OAT
4	31,56	46,02	2342,70	17,36	OAT
5	28,40	40,22	2009,78	16,71	OAT
6	33,13	50,53	1911,48	22,42	OAT
Promedio	30,50	45,77	2341,60	17,80	-
Desv Est	3,10	3,86	569,47	3,98	-
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>					
Esfuerzo Máximo Promedio:			45,77 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			2341,60 MPa		
<b>FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO</b>					
					
<b>DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA</b>					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
		U	No conocido	R	Derecha
				M	Medio
				U	Desconocido
				L	Izquierda
				T	Parte superior

En la figura 3.13 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a flexión representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al segundo material compuesto con la primera configuración.



**Figura 3.13** Esfuerzo máximo probetas a flexión segundo material- primera configuración

En la figura 3.14 se observa la curva de fuerza vs desplazamiento de las probetas a flexión, en la cual se determina que no existe un punto de fluencia definido y una ausencia de zona plástica del segundo material compuesto con la primera configuración.



**Figura 3.14** Carga vs deformación ensayo flexión segundo material-primera configuración

**Tabla 3.9** Resultado ensayo a flexión segundo material con segunda configuración

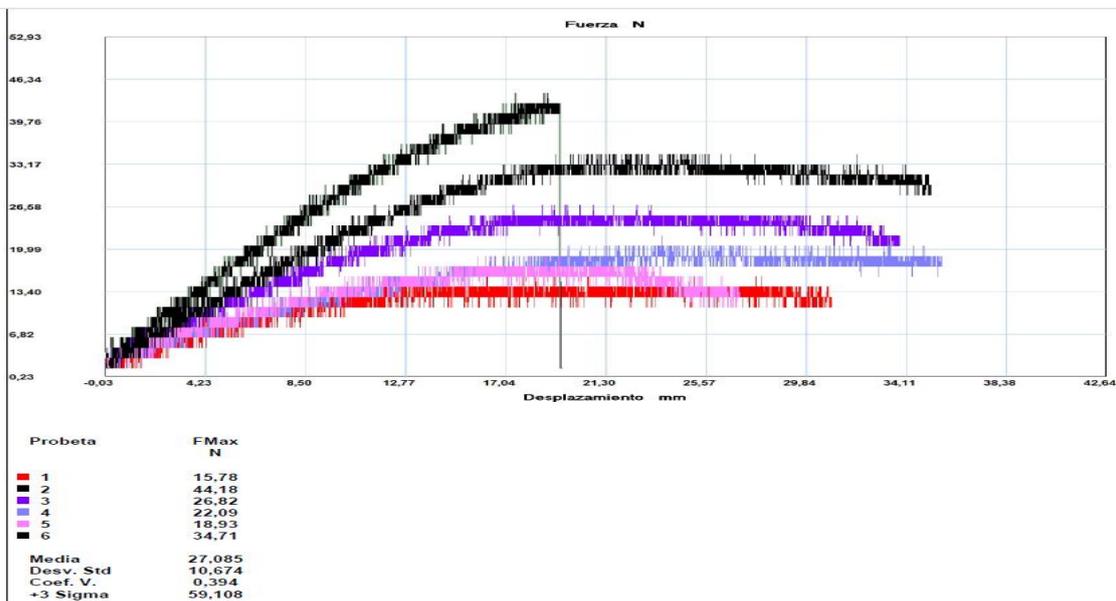
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	06/08/2019				
Ciudad	Ambato				
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
Máquina:	Máquina de ensayos universal MTE-50				
Realizado por:	Stalin Ponce				
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de Ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264		
Configuración:	90°-0° -90°	Estratificación:	Compresión		
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%		
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	40%		
Dimensiones:	160mm*16mm*e	Numero de probetas:	6		
Espesor promedio:	2,99 mm	Velocidad de ensayo	10mm/min		
Temperatura:	° C	Humedad:	%		
RESULTADOS					
Probeta	Fuerza Máxima (N)	Esfuerzo Máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla
1	15,78	32,75	2447,99	12,91	OAT
2	44,18	61,19	2903,21	17,44	OAT
3	26,82	44,46	2293,03	17,36	OAT
4	22,09	61,52	2968,13	23,68	OAT
5	18,93	45,57	3006,08	16,17	OAT
6	34,71	56,66	2627,52	19,18	OAT
Promedio	27,08	50,36	2707,66	17,79	-
Desv Est	10,67	11,39	296,95	3,56	-
EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES					
Esfuerzo Máximo Promedio:			50,36 MPa		
Módulo de Elasticidad Promedio:			2707,66 MPa		
FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO					
					
DESCRIPCIÓN DEL TIPO DE FALLA					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
O	Otro	A	En el punto de carga	B	Fondo
		L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
				R	Derecha
		U	No conocido	M	Medio
				U	Desconocido
				L	Izquierda
				T	Parte superior

En la figura 3.15 se ilustra los datos obtenidos en el ensayo destructivo a flexión representando el esfuerzo máximo de las probetas de manera individual al igual que el esfuerzo promedio del grupo, esto se realizó al segundo material compuesto con la segunda configuración.



**Figura 3.15** Esfuerzo máximo probetas a flexión segundo material- segunda configuración

En la figura 3.16 se observa la curva de fuerza vs desplazamiento de las probetas a flexión, en la cual se determina que no existe un punto de fluencia definido y una ausencia de zona plástica del segundo material compuesto con la segunda configuración.



**Figura 3.16** Carga vs deformación ensayo flexión segundo material- segunda configuración

### 3.1.3 FICHAS DE REPORTE DE ENSAYOS DE IMPACTO

**Tabla 3.10** Resultado ensayo a impacto primer material con primera configuración

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS				
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>				
Fecha:	18/09/2019			
Ciudad	Ambato			
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica - FICM			
Máquina:	Máquina Tipo Caída de Masa de Impacto			
Realizado por:	Stalin Ponce			
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.			
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>				
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM 5628	
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%	
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	25%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e	Numero de probetas:	6	
Espesor promedio:	3,65 mm	Masa del dardo	0,22 kg	
Diámetro del dardo	-	Geometría del dardo:	FE	
<b>RESULTADOS</b>				
Probeta	Altura media de fallo (mm)	Peso del dardo (kg)	Resistencia al impacto (J)	Criterio
1	300	0,22	0,66	No falla
2	400	0,22	0,88	No falla
3	500	0,22	1,09	No falla
4	600	0,22	1,31	No falla
5	700	0,22	1,53	No falla
6	800	0,22	1,75	Falla
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>				
Energía Promedio Absorbida:			1,20 J	
Resistencia Máxima al Impacto:			1,53 J	
<b>FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO</b>				
				

**Tabla 3.11** Resultado ensayo a impacto primer material con segunda configuración

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>				
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>				
Fecha:	18/09/2019			
Ciudad	Ambato			
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM			
Máquina:	Máquina Tipo Caída de Masa de Impacto			
Realizado por:	Stalin Ponce			
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.			
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>				
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM 5628	
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%	
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	40%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e	Numero de probetas:	6	
Espesor promedio:	3,56 mm	Masa del dardo	0,22 kg	
Diámetro del dardo	-	Geometría del dardo:	FE	
<b>RESULTADOS</b>				
Probeta	Altura media de fallo (mm)	Peso del dardo (kg)	Resistencia al impacto (J)	Criterio
1	300	0,22	0,66	No falla
2	400	0,22	0,88	No falla
3	500	0,22	1,09	No falla
4	600	0,22	1,31	No falla
5	700	0,22	1,53	Falla
6	800	0,22	1,75	Falla
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>				
Energía Promedio Absorbida:			1,20 J	
Resistencia Máxima al Impacto:			1,31 J	
<b>FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO</b>				
				

**Tabla 3.12** Resultado ensayo a impacto segundo material con primera configuración

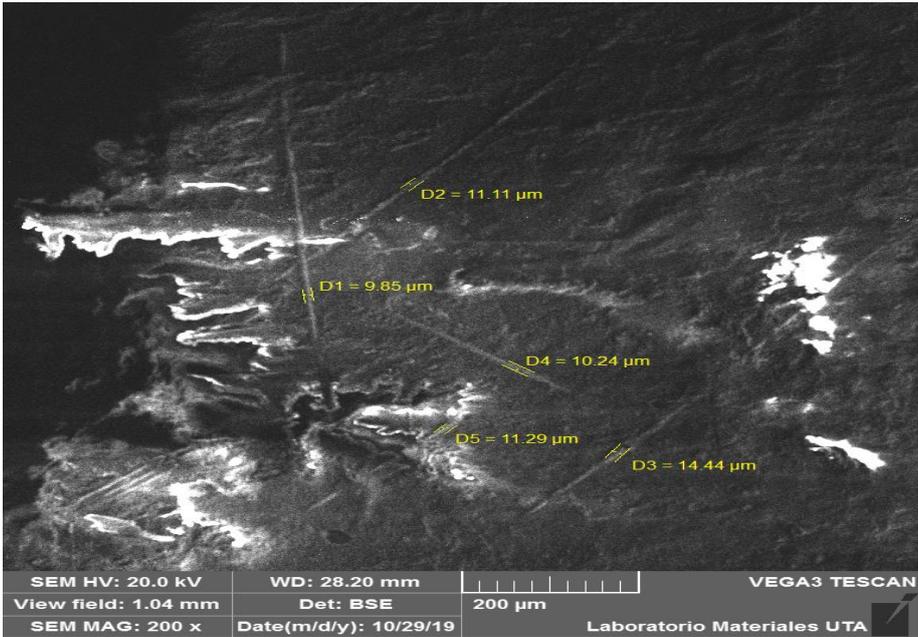
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>				
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>				
Fecha:	18/09/2019			
Ciudad	Ambato			
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM			
Máquina:	Máquina Tipo Caída de Masa de Impacto			
Realizado por:	Stalin Ponce			
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.			
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>				
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM 5628	
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%	
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	25%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e	Numero de probetas:	6	
Espesor promedio:	3,03 mm	Masa del dardo	0,22 kg	
Diámetro del dardo	-	Geometría del dardo:	FE	
<b>RESULTADOS</b>				
Probeta	Altura media de fallo (mm)	Peso del dardo (kg)	Resistencia al impacto (J)	Criterio
1	150	0,22	0,33	No falla
2	200	0,22	0,44	No falla
3	250	0,22	0,55	No falla
4	300	0,22	0,66	No falla
5	350	0,22	0,77	No falla
6	400	0,22	0,88	Falla
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>				
Energía Promedio Absorbida:			0,60 J	
Resistencia Máxima al Impacto:			0,77 J	
<b>FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO</b>				

**Tabla 3.13** Resultado ensayo a impacto segundo material con segunda configuración

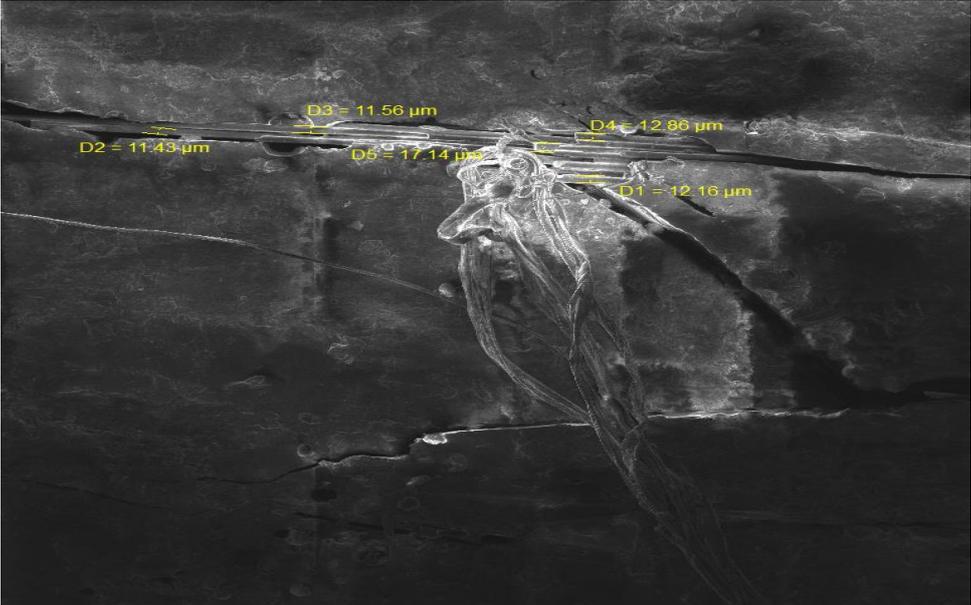
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>				
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>				
Fecha:	18/09/2019			
Ciudad	Ambato			
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM			
Máquina:	Máquina Tipo Caída de Masa de Impacto			
Realizado por:	Stalin Ponce			
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.			
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>				
Tipo de Ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM 5628	
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión	
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%	
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	40%	
Dimensiones:	58mm*58mm*e	Numero de probetas:	6	
Espesor promedio:	3,25 mm	Masa del dardo	0,22 kg	
Diámetro del dardo	-	Geometría del dardo:	FE	
<b>RESULTADOS</b>				
Probeta	Altura media de fallo (mm)	Peso del dardo (kg)	Resistencia al impacto (J)	Criterio
1	300	0,22	0,66	No falla
2	400	0,22	0,88	No falla
3	500	0,22	1,09	No falla
4	600	0,22	1,31	No falla
5	700	0,22	1,53	Falla
6	800	0,22	1,75	Falla
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>				
Energía Promedio Absorbida:			1,20 J	
Resistencia Máxima al Impacto:			1,31 J	
<b>FOTOGRAFÍAS DE ENSAYO</b>				
				

### 3.1.4 FICHAS DE REPORTE DE ENSAYOS FRACTOGRÁFICOS

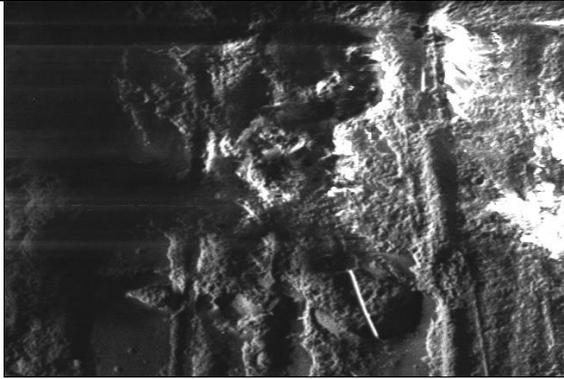
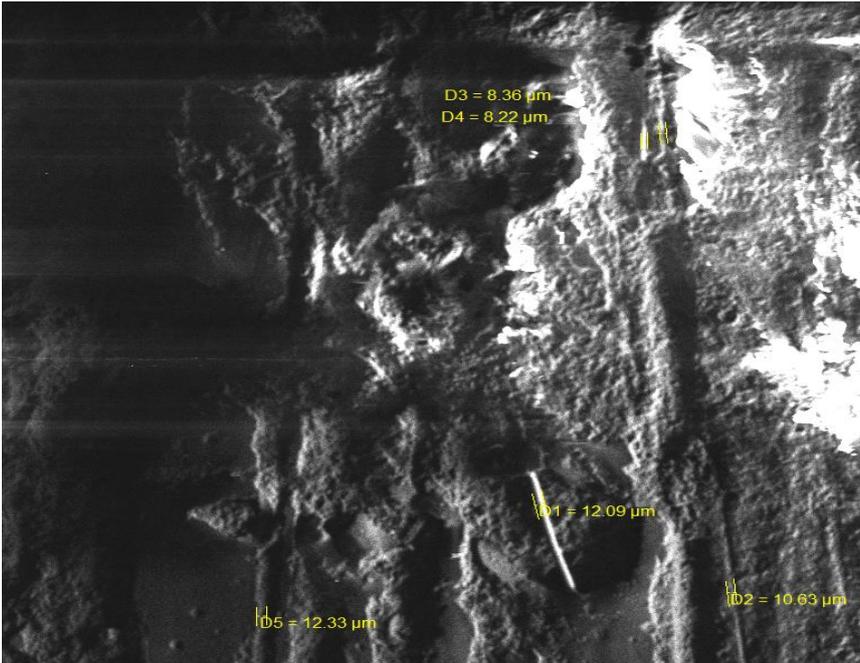
**Tabla 3.14** Análisis fractográfico primer material- primera configuración

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
Fecha:	28/10/2019		
Ciudad	Ambato		
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM		
Máquina:	Microscopio de barrido SEM		
Realizado por:	Stalin Ponce		
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
Tipo de Ensayo:	Fractografía	Norma:	-
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	25%
<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>			
			
			
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>			
Se puede observar en este caso una fractura únicamente en la zona de refuerzo epóxico con una morfología fibrosa, se ha tomado las dimensiones de las fibras de cabuya que varían desde 9,85 um hasta 14,44 um.			

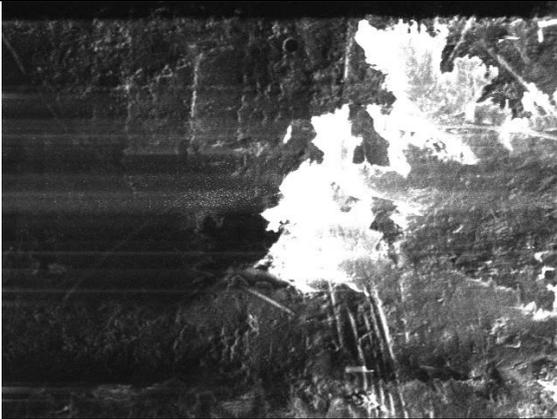
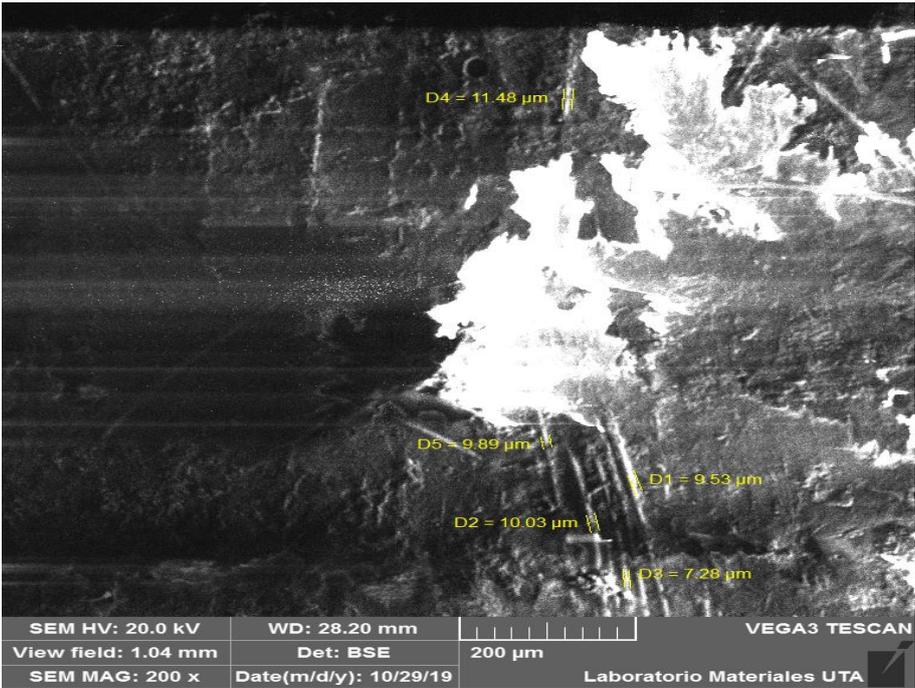
**Tabla 3.15** Análisis fractográfico primer material- segunda configuración

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
Fecha:	28/10/2019		
Ciudad	Ambato		
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM		
Máquina:	Microscopio de barrido SEM		
Realizado por:	Stalin Ponce		
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
Tipo de Ensayo:	Fractografía	Norma:	-
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%
Refuerzo:	Fibra de Cabuya	Fracción Volumétrica:	40%
<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>			
			
			
SEM HV: 5.0 kV	WD: 27.14 mm	VEGA3 TESCAN	
View field: 1.04 mm	Det: SE	200 μm	
SEM MAG: 200 x	Date(m/d/y): 10/28/19	Laboratorio Materiales UTA	
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>			
Se puede evidenciar una falta de adherencia en la fibra de cabuya por lo cual se ve un desprendimiento de la fibra por encima del refuerzo, además se ha tomado las dimensiones de las fibras desde 11,43 um hasta las 17,14 um.			

**Tabla 3.16** Análisis fractográfico segundo material- primera configuración

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
Fecha:	28/10/2019		
Ciudad	Ambato		
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM		
Máquina:	Microscopio de barrido SEM		
Realizado por:	Stalin Ponce		
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
Tipo de Ensayo:	Fractografía	Norma:	-
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	75%
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	25%
<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>			
			
			
SEM HV: 20.0 kV		WD: 28.67 mm	
View field: 1.05 mm		Det: BSE	
SEM MAG: 197 x		Date(m/d/y): 10/29/19	
		200 μm	
		VEGA3 TESCAN	
Laboratorio Materiales UTA			
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>			
<p>La fractura en este caso se presenta consistencia en las fibras, sin embargo, la superficie del refuerzo epóxico presenta desprendimiento debido al impacto dejando a la intemperie la fibra de caña de azúcar. Las dimensiones de las fibras varían de 8,22 um hasta 12,33 um.</p>			

**Tabla 3.17** Análisis fractográfico segundo material- segunda configuración

<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
Fecha:	28/10/2019		
Ciudad	Ambato		
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato Laboratorio de Metalografía Ingeniería Mecánica – FICM		
Máquina:	Microscopio de barrido SEM		
Realizado por:	Stalin Ponce		
Revisado por:	Ing. Rommel Imbaquingo MSc.		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			
Tipo de Ensayo:	Fractografía	Norma:	-
Configuración:	90°-0°-90°	Estratificación:	Compresión
Matriz:	Resina Epoxi	Fracción Volumétrica:	60%
Refuerzo:	Fibra de Caña de A.	Fracción Volumétrica:	40%
<b>ANÁLISIS SUPERFICIAL</b>			
			
			
<b>EVALUACIÓN Y OBSERVACIONES</b>			
<p>Se presenta para este caso una morfología del refuerzo fibroso con desprendimiento, pero con una consistencia en las fibras de caña de azúcar, las zonas marcadas en blanco representan el material desprendido de la probeta, la variación dimensional de las fibras va de 7,28 um hasta 11,48 um.</p>			

## 3.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Luego de la realización de ensayos destructivos se procede a interpretar los resultados de los ensayos a tracción, flexión e impacto lo cual nos permite analizar las propiedades mecánicas que presentaron los diferentes materiales con las distintas configuraciones permitiendo identificar y elegir que material se caracteriza por tener el mejor comportamiento mecánico.

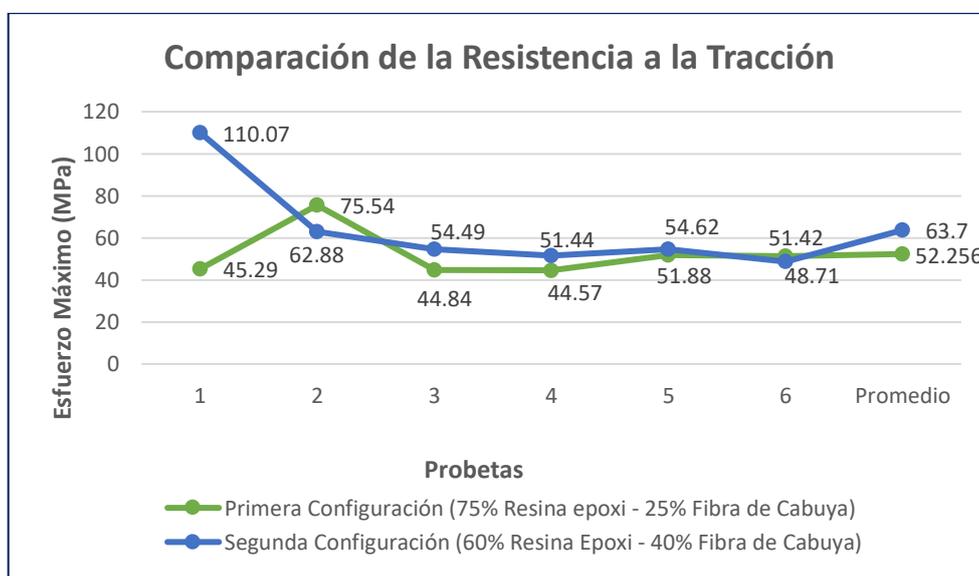
El método estadístico en el cual se interpretó los resultados es el diagrama de caja y bigote el cual nos permite distribuir los datos a manera de cuartiles a lo largo de la recta numérica permitiendo identificar la dispersión y simetría existente en el conjunto de datos, así como también nos ayuda a identificar la mediana que a su vez representa la media aritmética de los resultados obtenidos de los ensayos destructivos lo cual permite realizar una comparación y selección del mejor material compuesto con su respectiva configuración.

La gráfica consta de una caja rectangular en la cual los lados más largos muestran el recorrido intercuartílico y dos brazos que salen de cada extremo de la caja denominado bigotes en los cuales se representan los valores mínimos y máximos del grupo de datos.

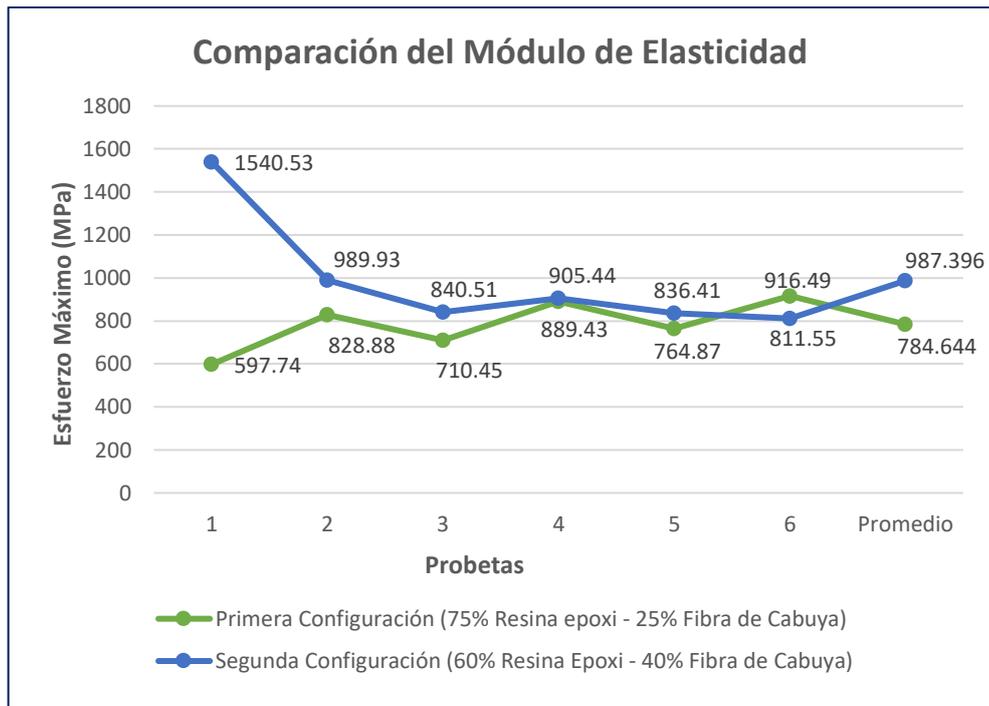
### 3.2.1 ENSAYO A TRACCIÓN

#### 3.2.1.1 Material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya

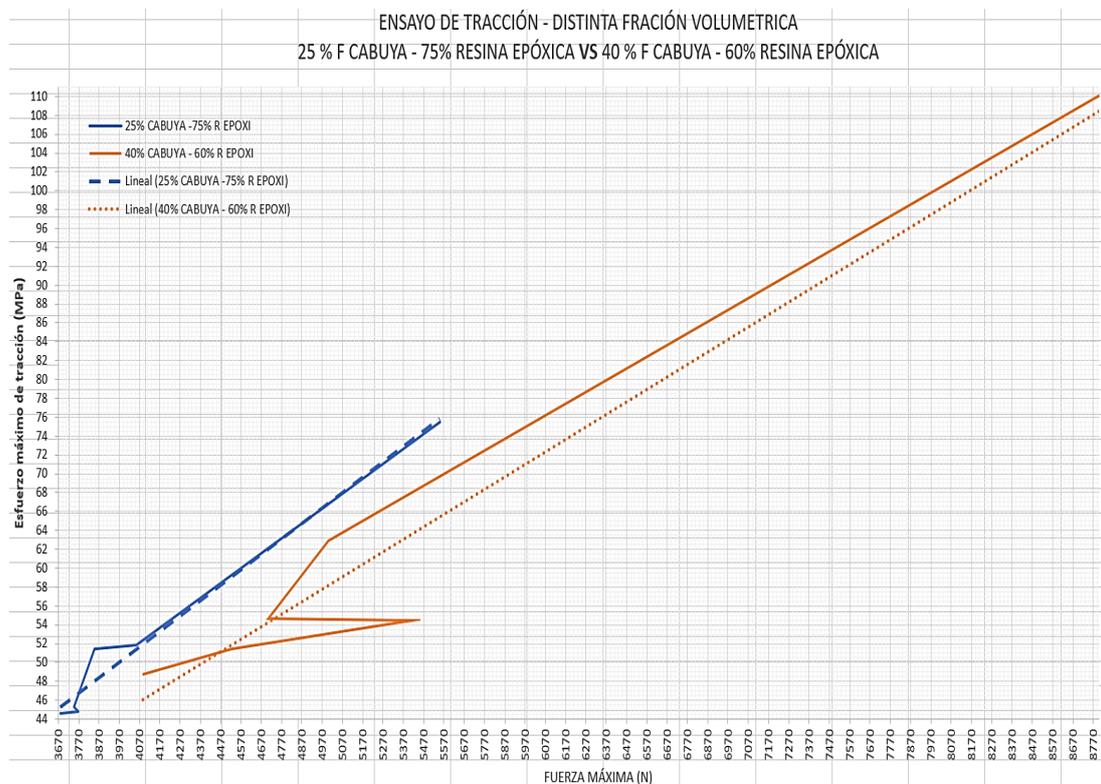
Se analiza el primer material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a la tracción entre la configuración 1 y configuración 2:



**Figura 3.17** Comparación resistencia a tracción primer material- dos configuraciones



**Figura 3.18** Comparación módulo de elasticidad primer material- dos configuraciones



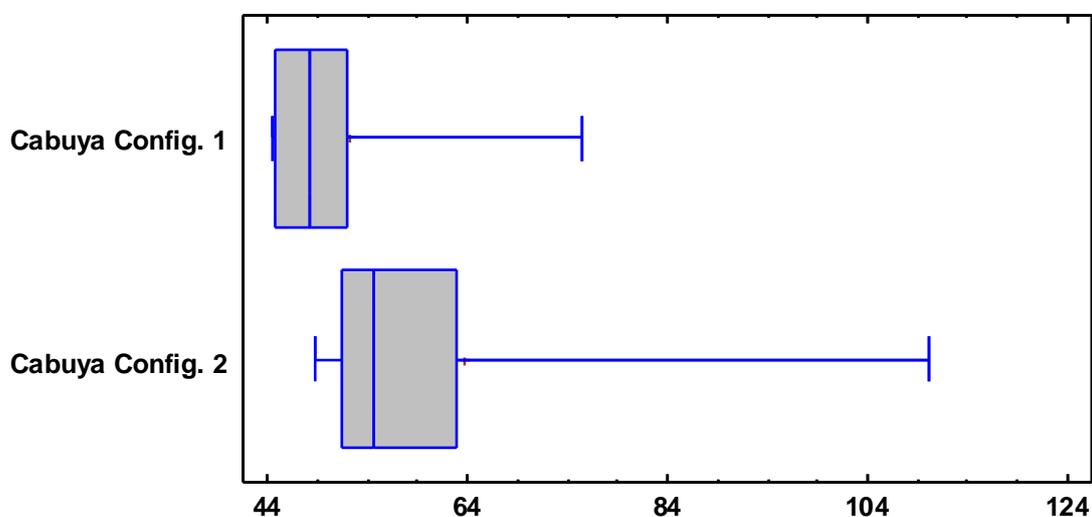
**Figura 3.19** Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción del primer material - dos configuraciones

Con la prueba de tracción realizada al primer material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la tracción y el módulo de elasticidad máxima cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.2 y

3.3 representando a la primera y segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que en el primer material la segunda configuración presenta las mejores propiedades mecánicas en referencia a la primera configuración. Los datos estadísticos se presentan a continuación en la tabla 3.18 y figura 3.20:

**Tabla 3.18** Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del primer material con la configuración 1 y 2

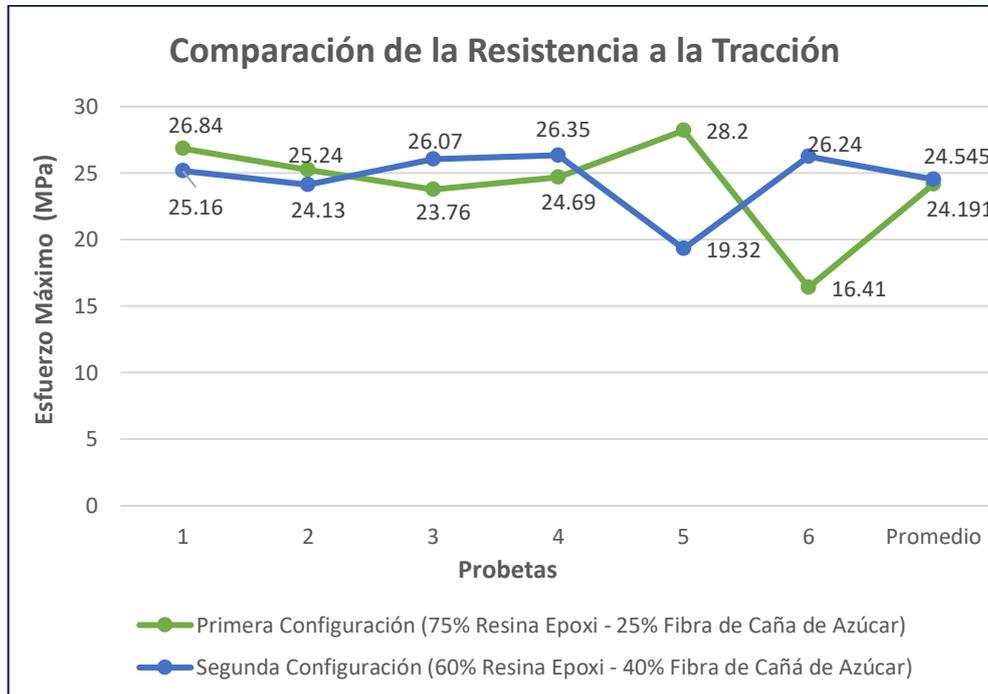
	<b>Configuración 1</b>	<b>Configuración 2</b>
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	52.25	63.70
Mediana (MPa)	48.35	54.55
Media Recortada 5% (MPa)	51.39	61.95
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	141.11	538.62
Desviación Estándar (MPa)	11.87	23.20
Coefficiente de Variación	22.73%	36.43%
Mínimo (MPa)	44.57	48.71
Máximo (MPa)	75.54	110.07
Rango (MPa)	30.97	61.36
Rango Intercuartílico (MPa)	7.04	11.44
Sesgo Estandarizado	2.04	2.23
Curtosis	4.39	5.11
Curtosis Estandarizada	2.19	2.55



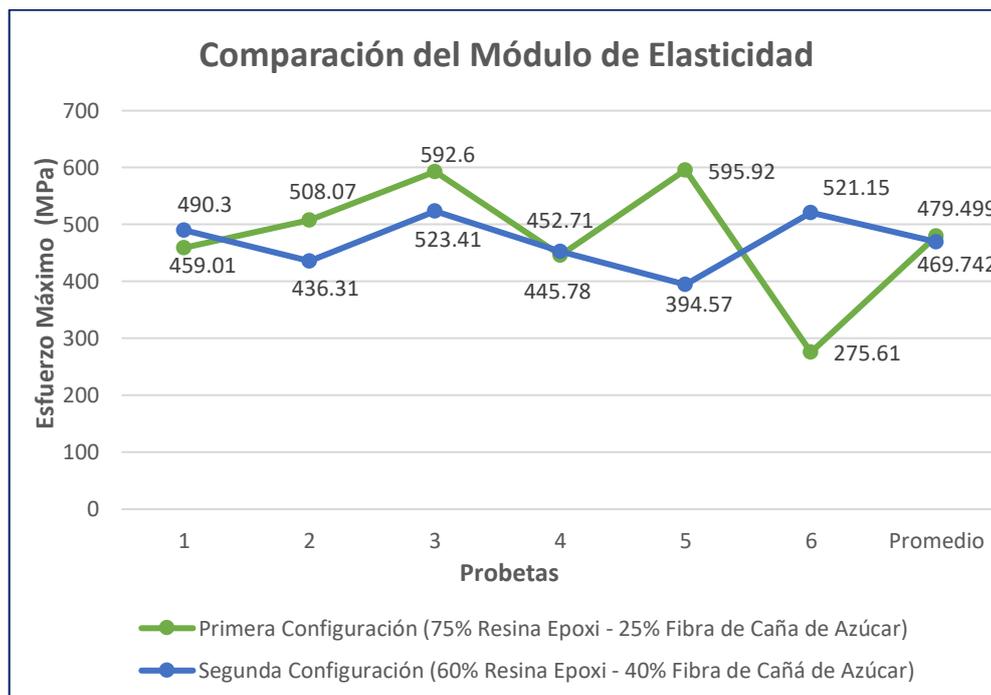
**Figura 3.20** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción (MPa)

### 3.2.1.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar

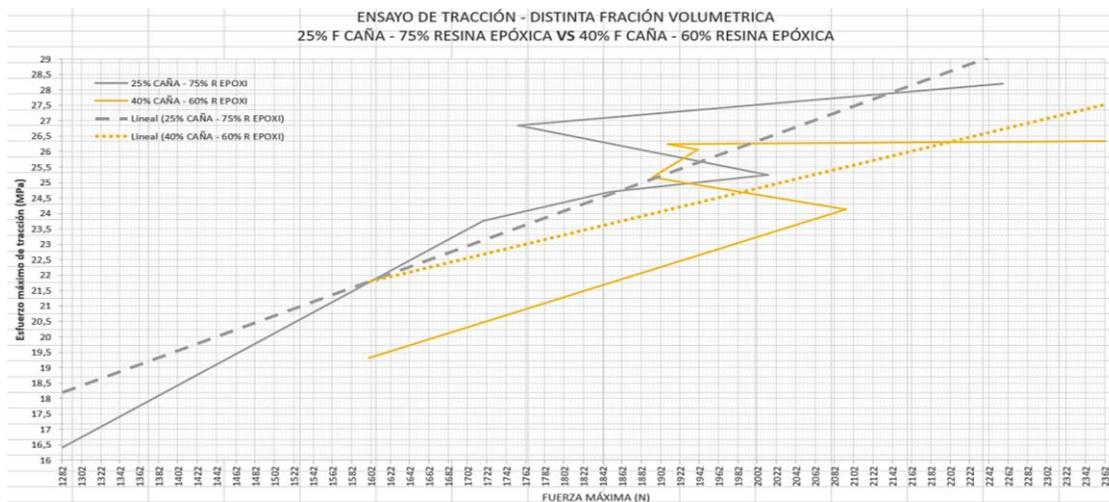
Se analiza el segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a la tracción entre la configuración 1 y configuración 2:



**Figura 3.21** Comparación resistencia a tracción segundo material- dos configuraciones



**Figura 3.22** Comparación módulo de elasticidad segundo material- dos configuraciones

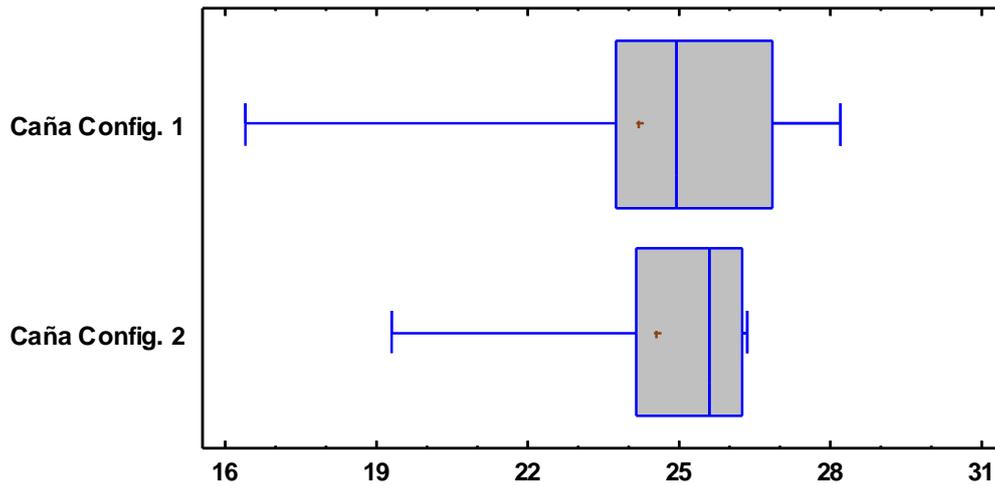


**Figura 3.23** Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción del segundo material - dos configuraciones.

Con la prueba de tracción realizada al segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la tracción y el módulo de elasticidad máxima cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.4 y 3.5 representando a la primera y segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que en el segundo material la segunda configuración presenta las mejores propiedades mecánicas. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.19 y figura 3.24:

**Tabla 3.19** Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del segundo material con la configuración 1 y 2

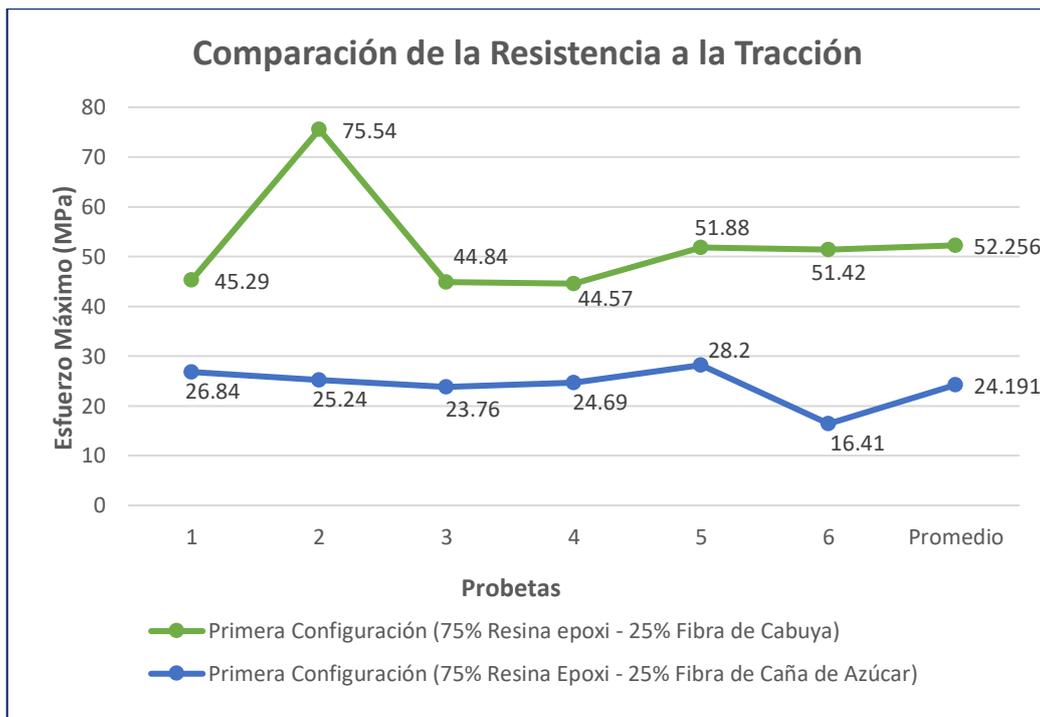
	Configuración 1	Configuración 2
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	24.19	24.54
Mediana (MPa)	24.96	25.61
Media Recortada 5% (MPa)	24.39	24.73
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	17.03	7.26
Desviación Estándar (MPa)	4.12	2.69
Coefficiente de Variación	17.06%	10.97%
Mínimo (MPa)	16.41	19.32
Máximo (MPa)	28.20	26.35
Rango (MPa)	11.79	7.03
Rango Inter cuartílico (MPa)	3.08	2.11
Sesgo Estandarizado	-1.64	-1.96
Curtosis	3.33	3.96
Curtosis Estandarizada	1.66	1.98



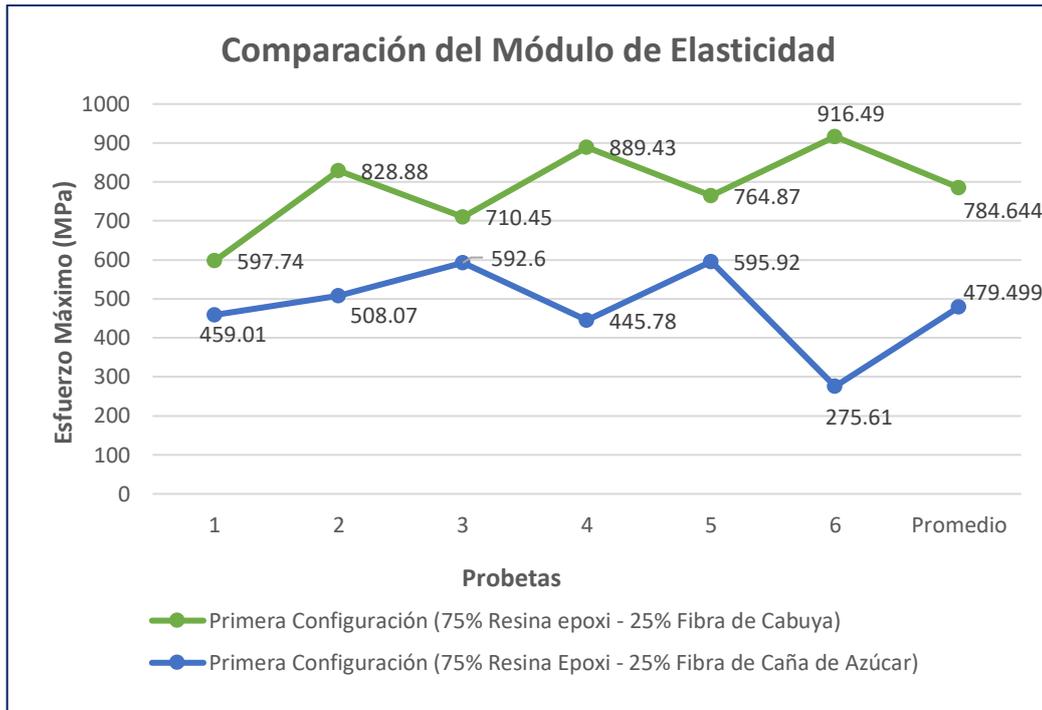
**Figura 3.24** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción (MPa)

### 3.2.1.3 Material compuesto resina epóxica + cabuya vs resina epóxica + caña de azúcar

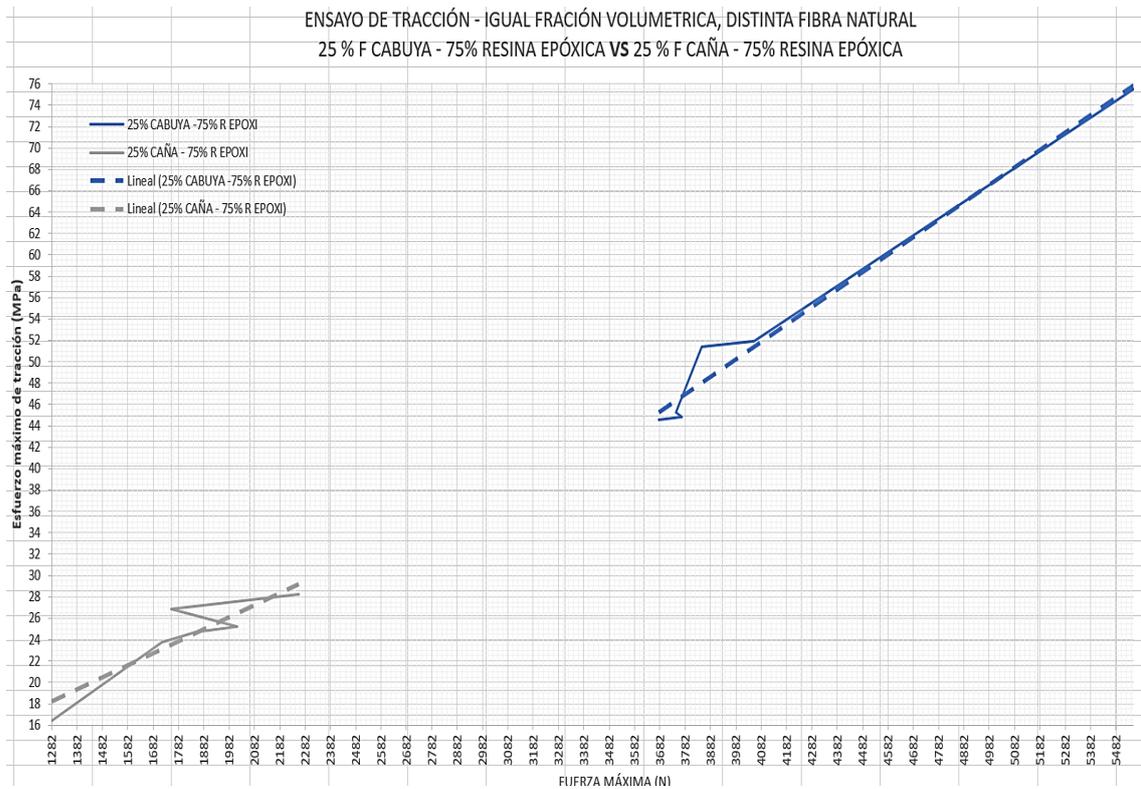
Se analiza el primer y segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a la tracción de la configuración 1:



**Figura 3.25** Comparación resistencia a tracción primer y segundo material- primera configuración



**Figura 3.26** Comparación módulo de elasticidad primer y segundo material- primera configuración

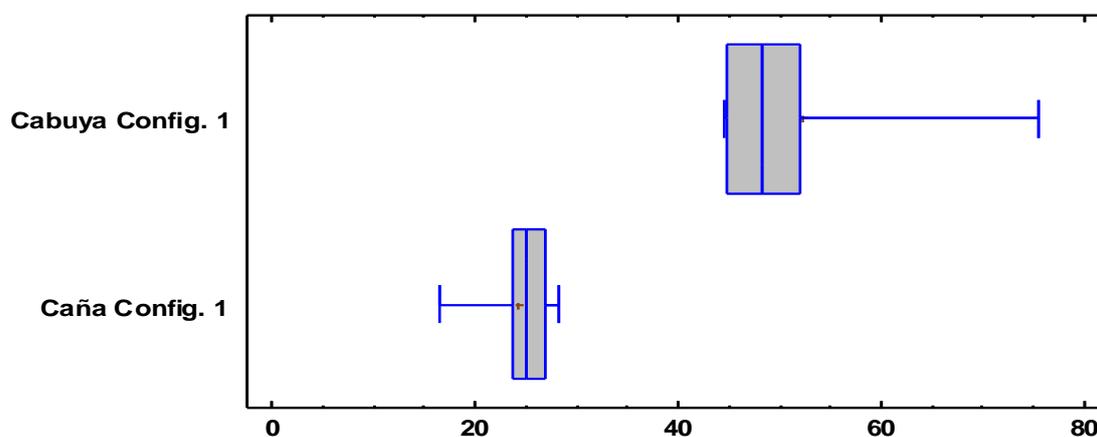


**Figura 3.27** Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción entre los dos materiales - primera configuración.

Con la prueba de tracción realizada al primer y segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la tracción y el módulo de elasticidad máxima cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.2 y 3.4 representando a la primera configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que el primer material con la primera configuración presenta las mejores propiedades mecánicas. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.20 y figura 3.28:

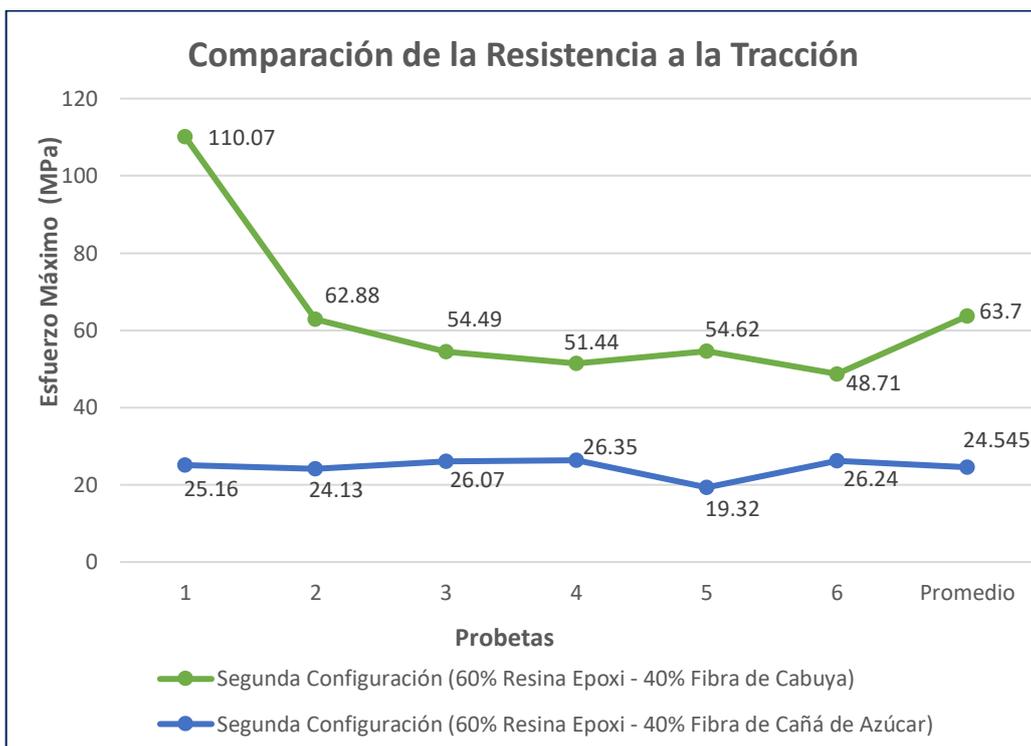
**Tabla 3.20** Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del primero y segundo material con la configuración 1

	Primer material	Segundo material
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	52.25	24.19
Mediana (MPa)	48.35	24.96
Media Recortada 5% (MPa)	51.39	24.39
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	141.11	17.03
Desviación Estándar (MPa)	11.87	4.12
Coefficiente de Variación	22.73%	17.06%
Mínimo (MPa)	44.57	16.41
Máximo (MPa)	75.54	28.20
Rango (MPa)	30.97	11.79
Rango Intercuartílico (MPa)	7.04	3.08
Sesgo Estandarizado	2.04	-1.64
Curtosis	4.39	3.33
Curtosis Estandarizada	2.19	1.66

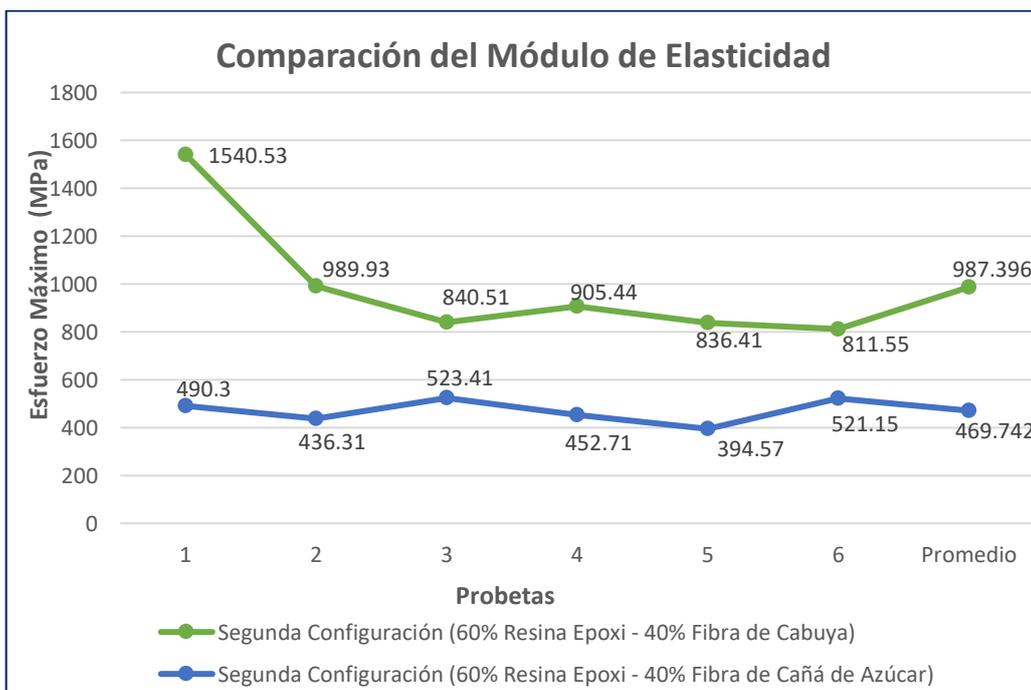


**Figura 3.28** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción (MPa)

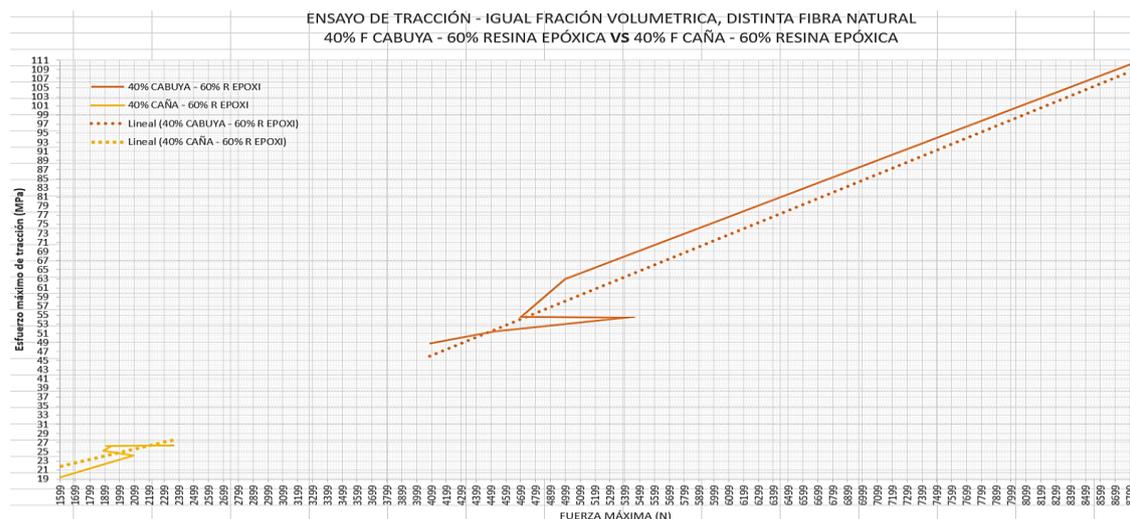
Se analiza el primer y segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a la tracción de la configuración 2:



**Figura 3.29** Comparación resistencia a tracción primer y segundo material- segunda configuración



**Figura 3.30** Comparación módulo de elasticidad primer y segundo material- segunda configuración

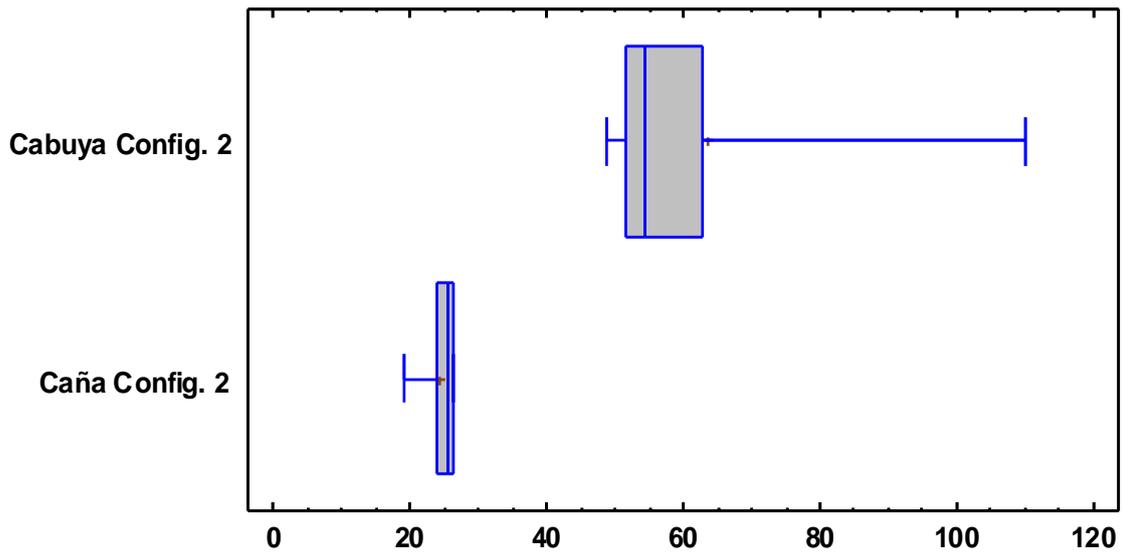


**Figura 3.31** Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción entre los dos materiales - segunda configuración.

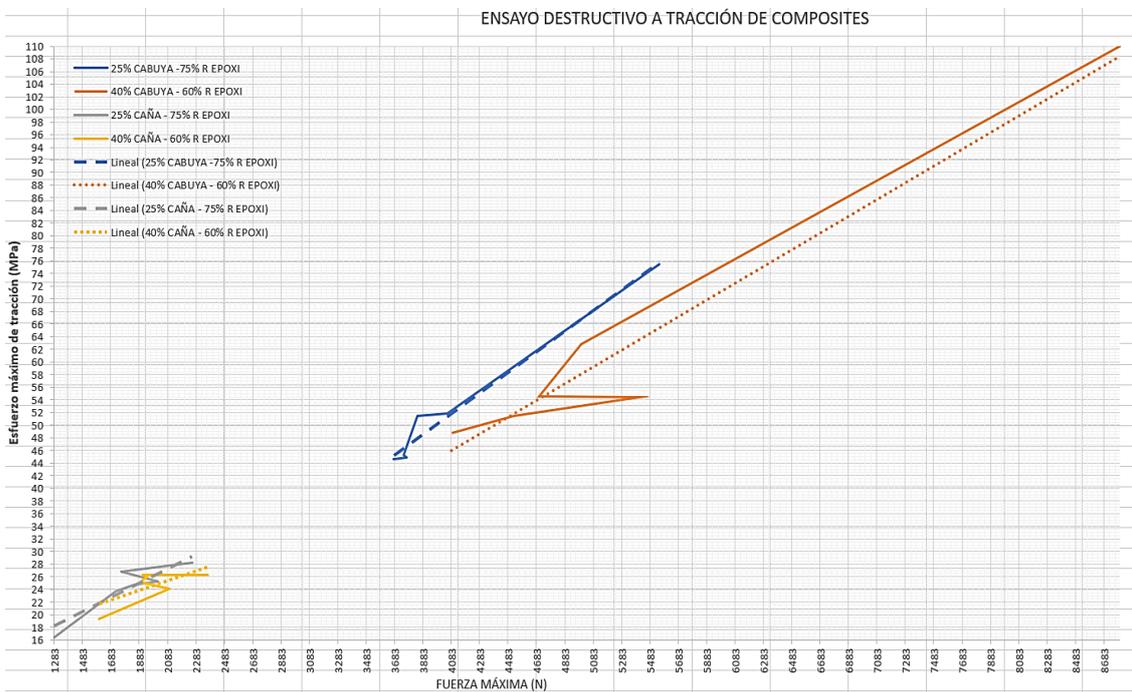
Con la prueba de tracción realizada al primer y segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la tracción y el módulo de elasticidad máxima cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.3 y 3.5 representando a la segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que el primer material con la segunda configuración presenta las mejores propiedades mecánicas. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.21 y figura 3.32:

**Tabla 3.21** Datos estadísticos de la resistencia a la tracción del primero y segundo material con la configuración 2

	Primer material	Segundo material
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	63.70	24.54
Mediana (MPa)	54.55	25.61
Media Recortada 5% (MPa)	61.95	24.73
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	538.62	7.26
Desviación Estándar (MPa)	23.20	2.69
Coefficiente de Variación	36.43%	10.97%
Mínimo (MPa)	48.71	19.32
Máximo (MPa)	110.07	26.35
Rango (MPa)	61.36	7.03
Rango Intercuartílico (MPa)	11.44	2.11
Sesgo Estandarizado	2.23	-1.96
Curtosis	5.11	3.96
Curtosis Estandarizada	2.55	1.98



**Figura 3.32** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a tracción (MPa)



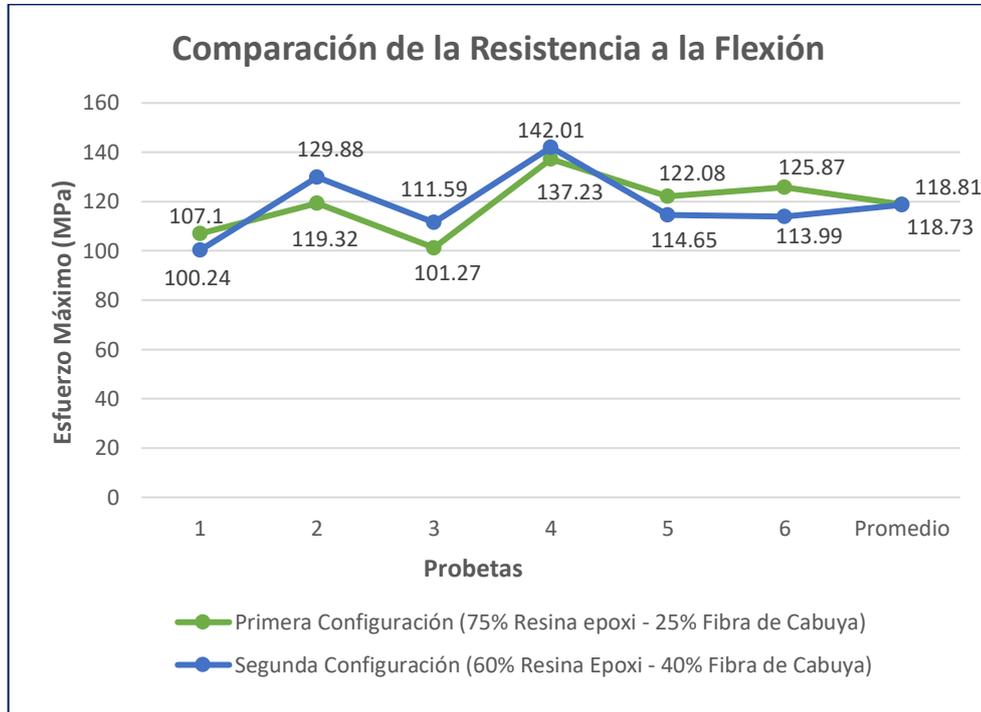
**Figura 3.33** Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a tracción de los dos materiales - dos configuraciones

En la figura 3.50 de presenta la comparación del esfuerzo máximo vs la fuerza máxima a tracción de los dos materiales compuestos con sus dos configuraciones, observando que el primer material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya en sus dos configuraciones presenta las mejores propiedades mecánicas en referencia al segundo material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar.

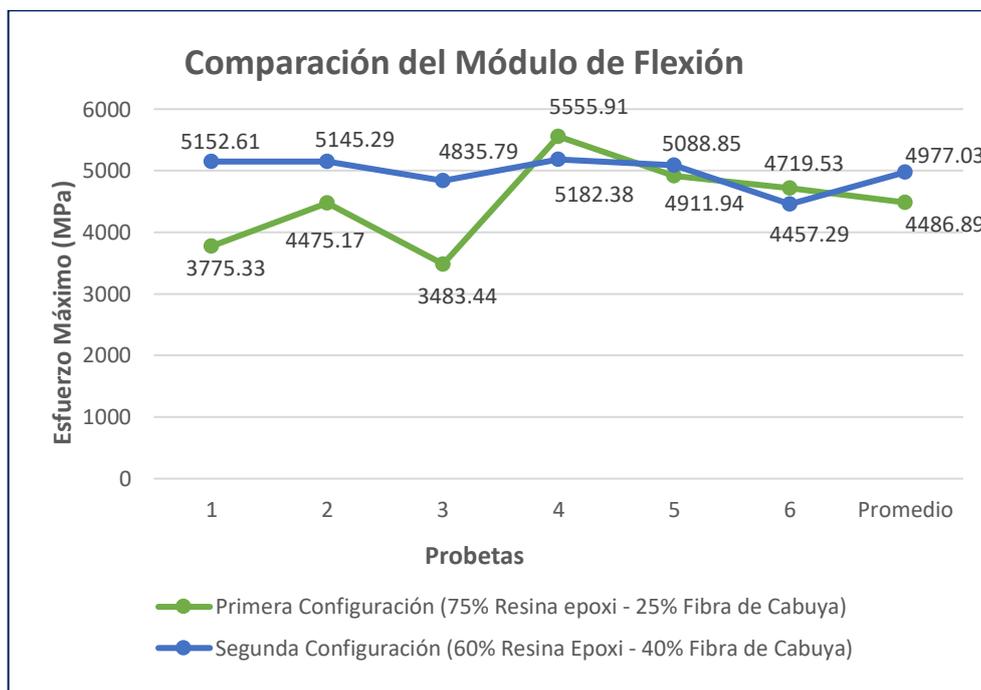
### 3.2.2 ENSAYO A FLEXIÓN

#### 3.2.2.1 Material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya

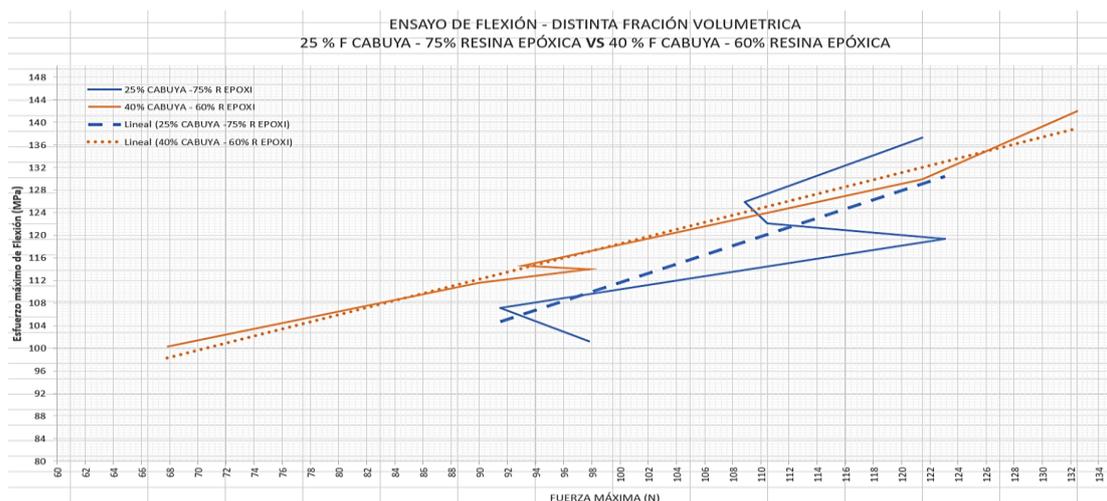
Se analiza el primer material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a flexión entre la configuración 1 y configuración 2:



**Figura 3.34** Comparación resistencia a flexión primer material- dos configuraciones



**Figura 3.35** Comparación módulo de flexión primer material- dos configuraciones

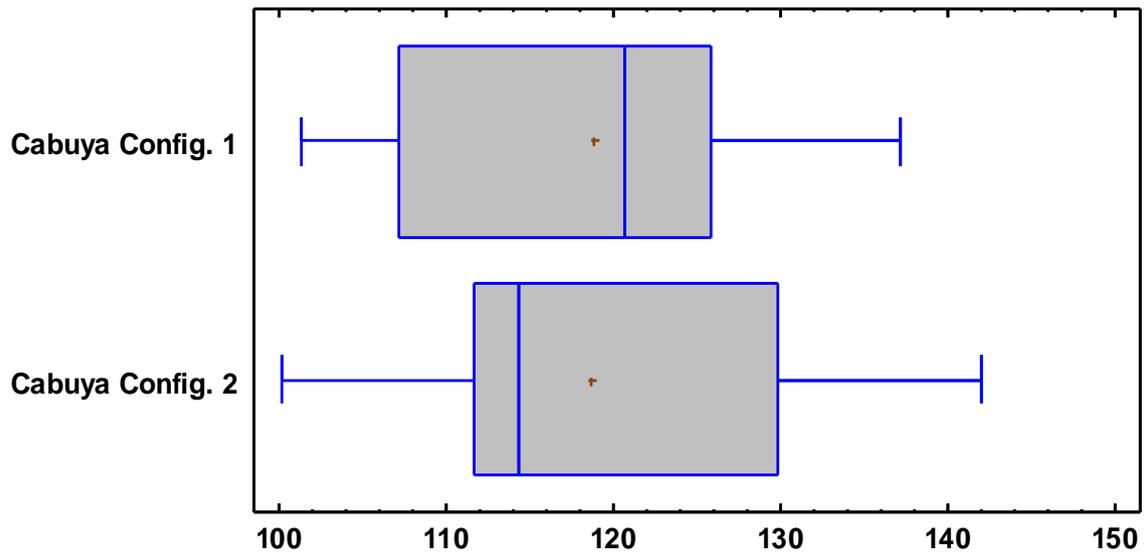


**Figura 3.36** Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión del primer material - dos configuraciones.

Con la prueba de flexión realizada al primer material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la flexión y el módulo de flexión máximo cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.6 y 3.7 representando a la primera y segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que en el primer material la primera configuración es levemente superior a la primera presentando propiedades mecánicas similares. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.22 y figura 3.37:

**Tabla 3.22** Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del primer material con la configuración 1

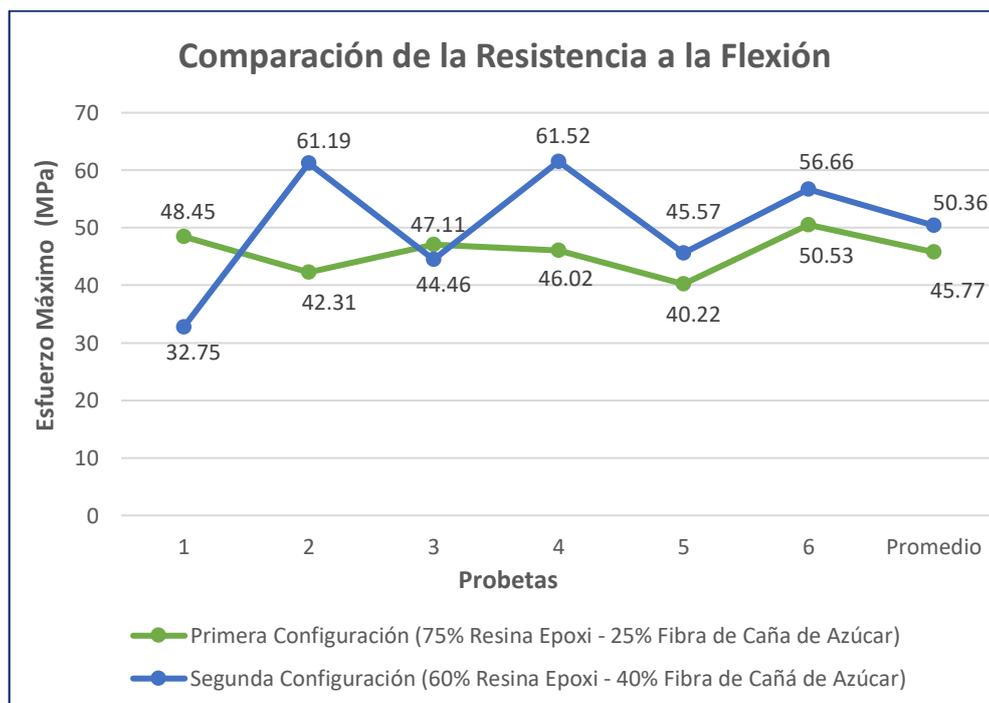
	Configuración 1	Configuración 2
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	118.81	118.72
Mediana (MPa)	120.70	114.32
Media Recortada 5% (MPa)	118.76	118.46
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	168.97	219.65
Desviación Estándar (MPa)	12.99	14.82
Coefficiente de Variación	10.94%	12.48%
Mínimo (MPa)	101.27	100.24
Máximo (MPa)	137.23	142.01
Rango (MPa)	35.96	41.77
Rango Intercuartílico (MPa)	18.77	18.29
Sesgo Estandarizado	-0.05	0.65
Curtosis	-0.58	-0.02
Curtosis Estandarizada	-0.29	-0.01



**Figura 3.37** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión (MPa)

### 3.2.2.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar

Se analiza el segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a flexión entre la configuración 1 y configuración 2:



**Figura 3.38** Comparación resistencia a flexión segundo material- dos configuraciones

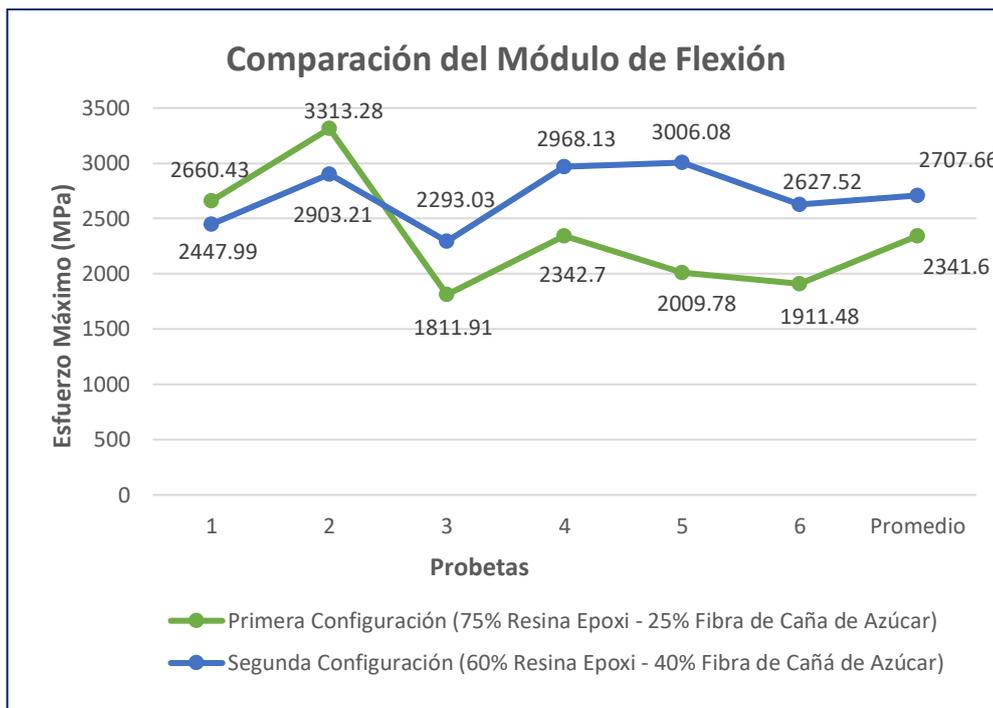


Figura 3.39 Comparación módulo de flexión segundo material- dos configuraciones

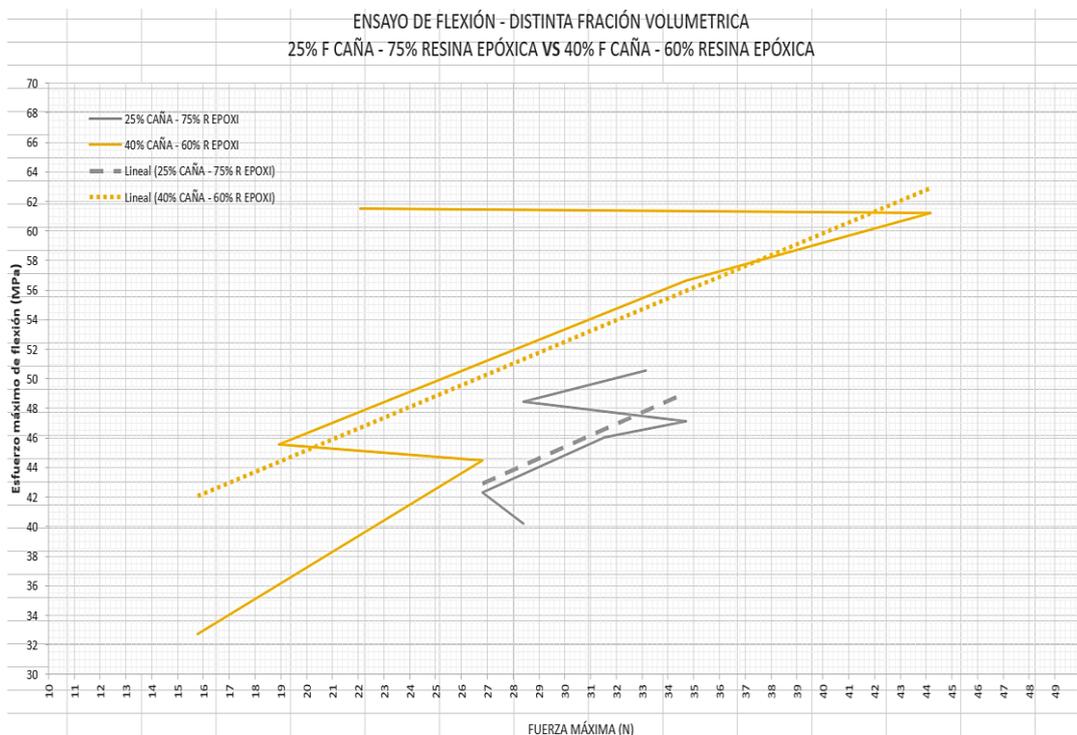


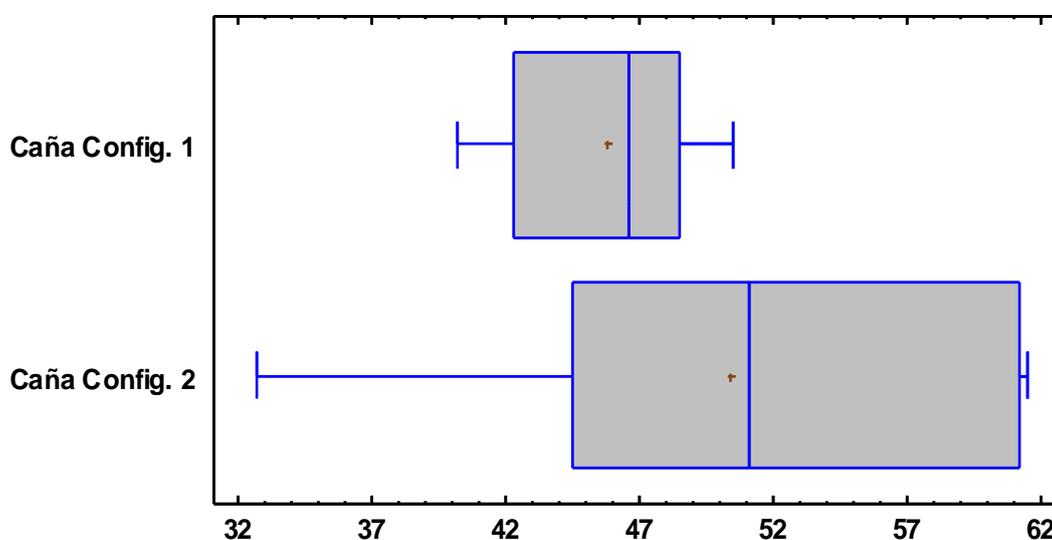
Figura 3.40 Esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión del segundo material - dos configuraciones.

Con la prueba de flexión realizada al segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la flexión y

el módulo de flexión máximo cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.8 y 3.9 representando a la primera y segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que en el segundo material la segunda configuración presenta las mejores propiedades mecánicas. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.23 y figura 3.41:

**Tabla 3.23** Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del segundo material con la configuración 1 y 2

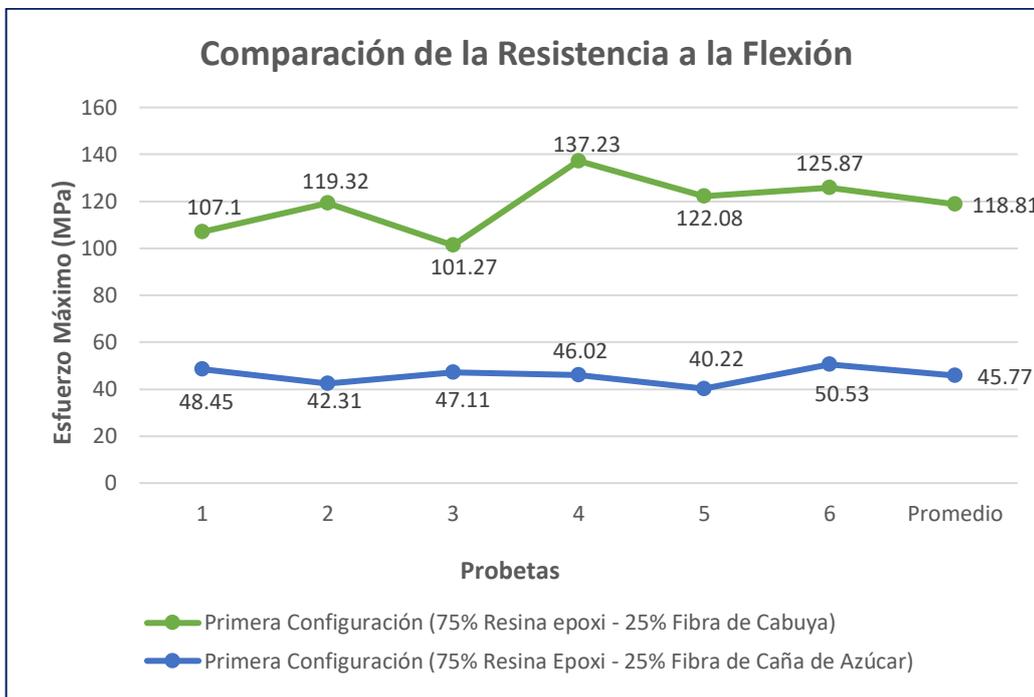
	Configuración 1	Configuración 2
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	45.77	50.35
Mediana (MPa)	46.56	51.11
Media Recortada 5% (MPa)	45.81	50.71
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	14.89	129.87
Desviación Estándar (MPa)	3.85	11.39
Coefficiente de Variación	8.43%	22.63%
Mínimo (MPa)	40.22	32.75
Máximo (MPa)	50.53	61.52
Rango (MPa)	10.31	28.77
Rango Intercuartílico (MPa)	6.14	16.73
Sesgo Estandarizado	-0.43	-0.58
Curtosis	-1.08	-0.90
Curtosis Estandarizada	-0.50	-0.45



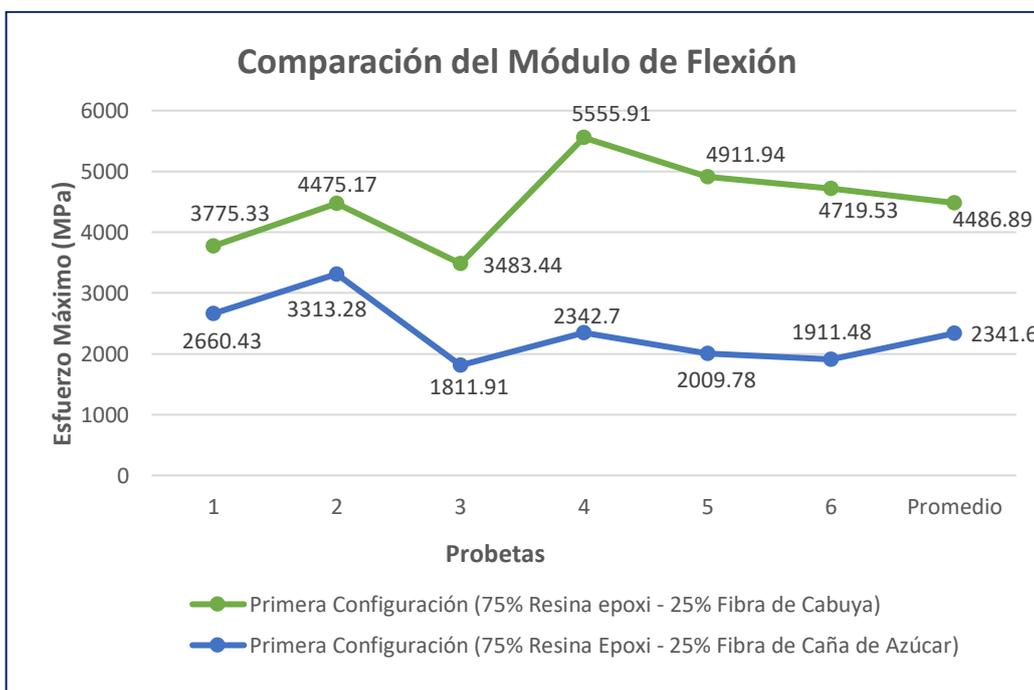
**Figura 3.41** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión (MPa)

### 3.2.2.3 Material compuesto resina epóxica + cabuya vs resina epóxica + caña de azúcar

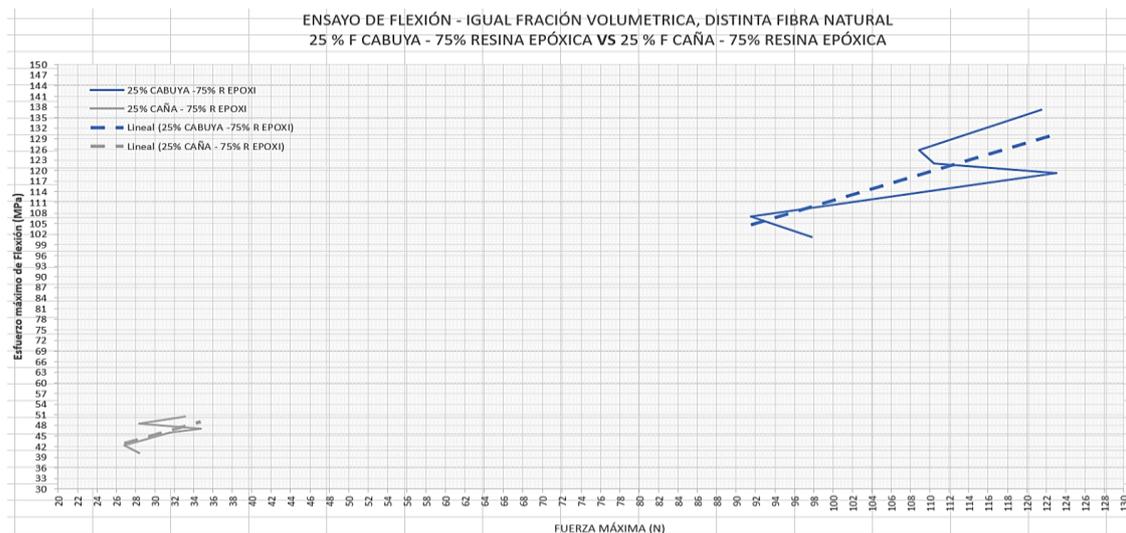
Se analiza el primer y segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a flexión de la configuración 1:



**Figura 3.42** Comparación resistencia a flexión primer y segundo material- primera configuración



**Figura 3.43** Comparación módulo de flexión primer y segundo material- primera configuración

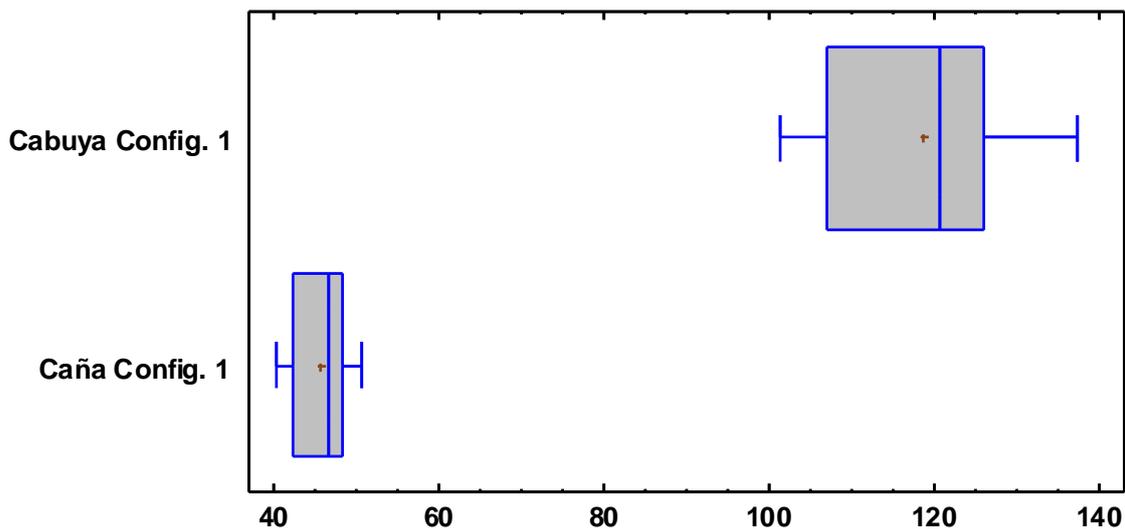


**Figura 3.44** Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión entre los dos materiales – primera configuración.

Con la prueba de flexión realizada al primero y segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la flexión y el módulo de flexión máximo cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.6 y 3.8 representando a la primera configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que el primer material con la primera configuración presenta las mejores propiedades mecánicas. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.24 y figura 3.45:

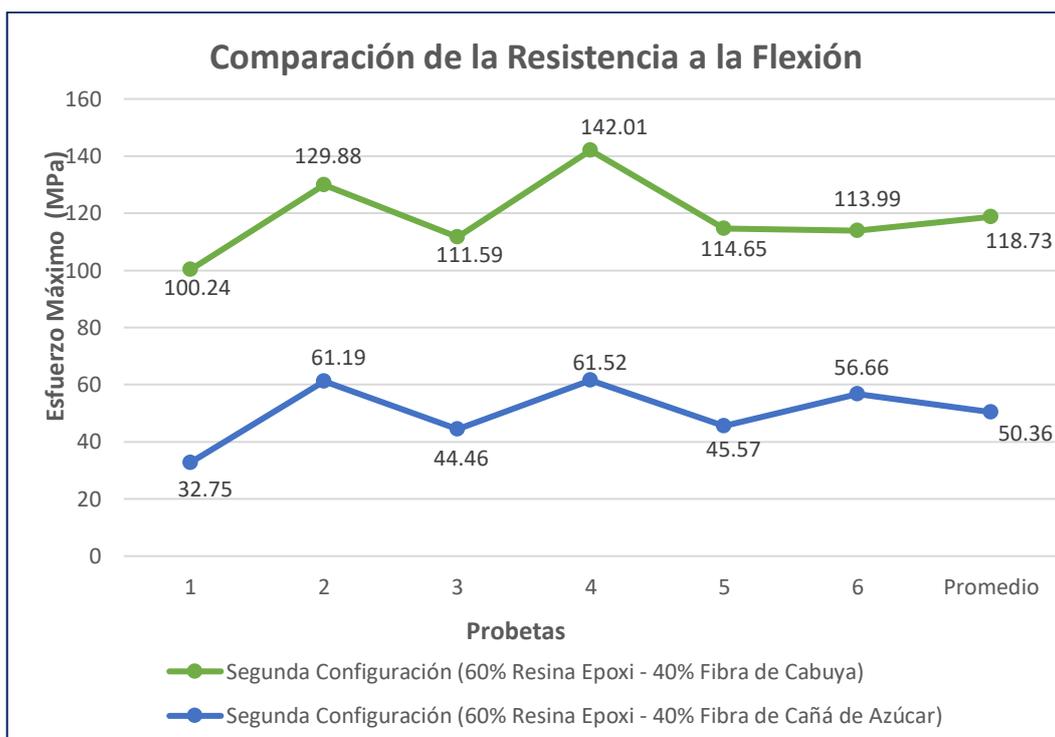
**Tabla 3.24** Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del primero y segundo material con la configuración 1

	Primer material	Segundo material
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	118.81	45.77
Mediana (MPa)	120.70	46.56
Media Recortada 5% (MPa)	118.76	45.81
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	168.97	14.89
Desviación Estándar (MPa)	12.99	3.85
Coefficiente de Variación	10.94%	8.43%
Mínimo (MPa)	101.27	40.22
Máximo (MPa)	137.23	50.53
Rango (MPa)	35.96	10.31
Rango Inter cuartílico (MPa)	18.77	6.14
Sesgo Estandarizado	-0.05	-0.43
Curtosis	-0.58	-1.08
Curtosis Estandarizada	-0.29	-0.50

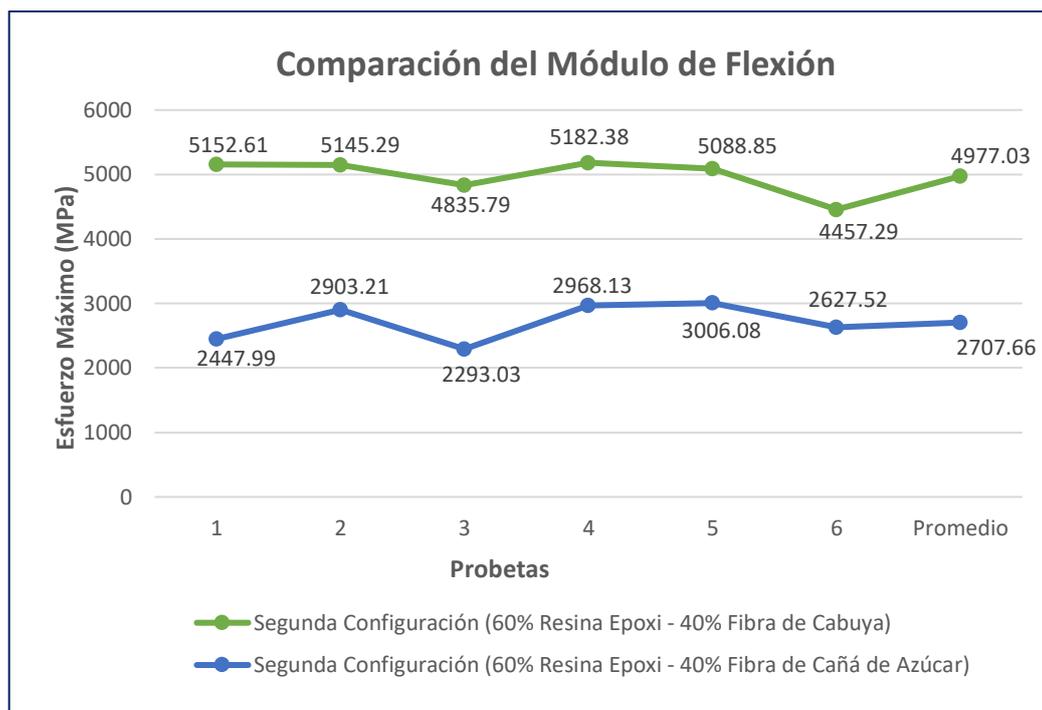


**Figura 3.45** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión (MPa)

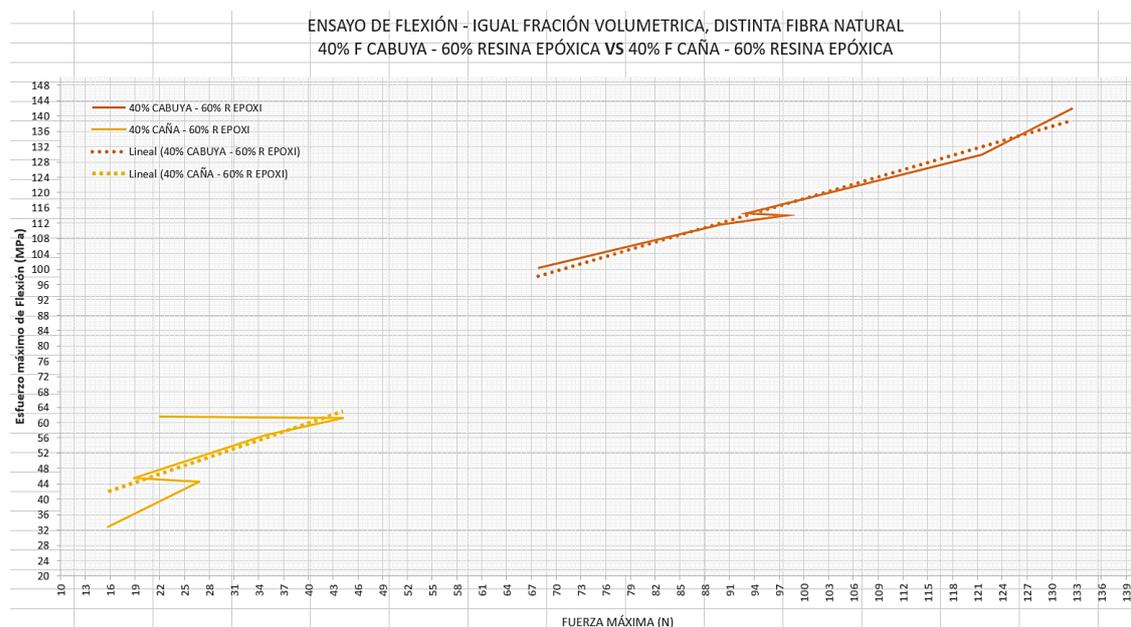
Se analiza el primer y segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia a la flexión de la configuración 2:



**Figura 3.46** Comparación resistencia a flexión primer y segundo material- segunda configuración



**Figura 3.47** Comparación módulo de flexión primer y segundo material- segunda configuración



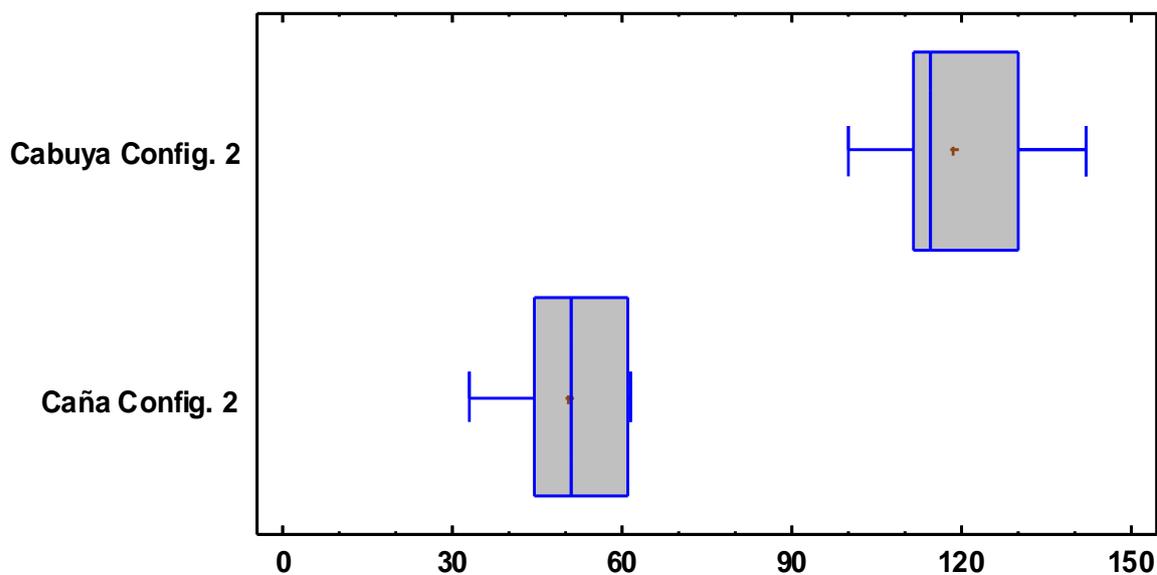
**Figura 3.48** Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión entre los dos materiales – segunda configuración.

Con la prueba de flexión realizada al primero y segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo a la flexión y el módulo de flexión máximo cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.7 y 3.9 representando a la segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza

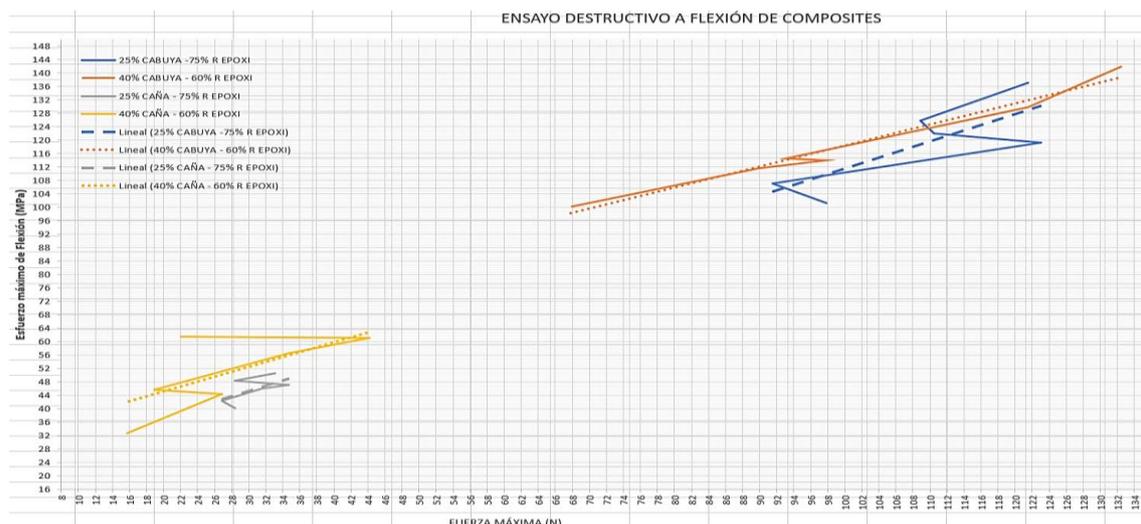
la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que el primer material con la segunda configuración presenta las mejores propiedades mecánicas. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.25 y figura 3.49:

**Tabla 3.25** Datos estadísticos de la resistencia a la flexión del primero y segundo material con la configuración 2

	Primer material	Segundo material
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	118.72	50.35
Mediana (MPa)	114.32	51.11
Media Recortada 5% (MPa)	118.46	50.71
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	219.65	129.87
Desviación Estándar (MPa)	14.82	11.39
Coefficiente de Variación	12.48%	22.63%
Mínimo (MPa)	100.24	32.75
Máximo (MPa)	142.01	61.52
Rango (MPa)	41.77	28.77
Rango Intercuartílico (MPa)	18.29	16.73
Sesgo Estandarizado	0.65	-0.58
Curtosis	-0.02	-0.90
Curtosis Estandarizada	-0.01	-0.45



**Figura 3.49** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima a flexión (MPa)



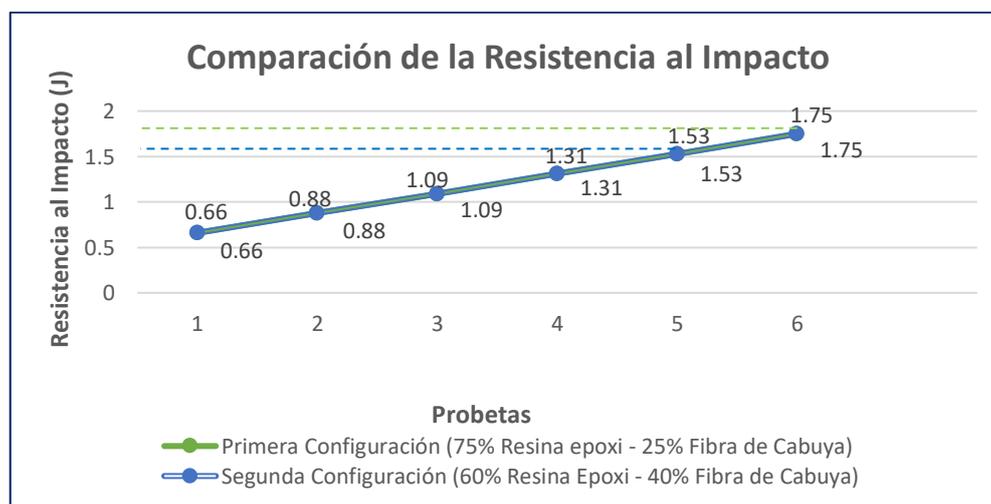
**Figura 3.50** Comparación del esfuerzo máximo vs fuerza máxima a flexión de los dos materiales - dos configuraciones.

En la figura 3.50 se presenta la comparación del esfuerzo máximo vs la fuerza máxima a flexión de los dos materiales compuestos con sus dos configuraciones, observando que el primer material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya en sus dos configuraciones presenta las mejores propiedades mecánicas en referencia al segundo material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar.

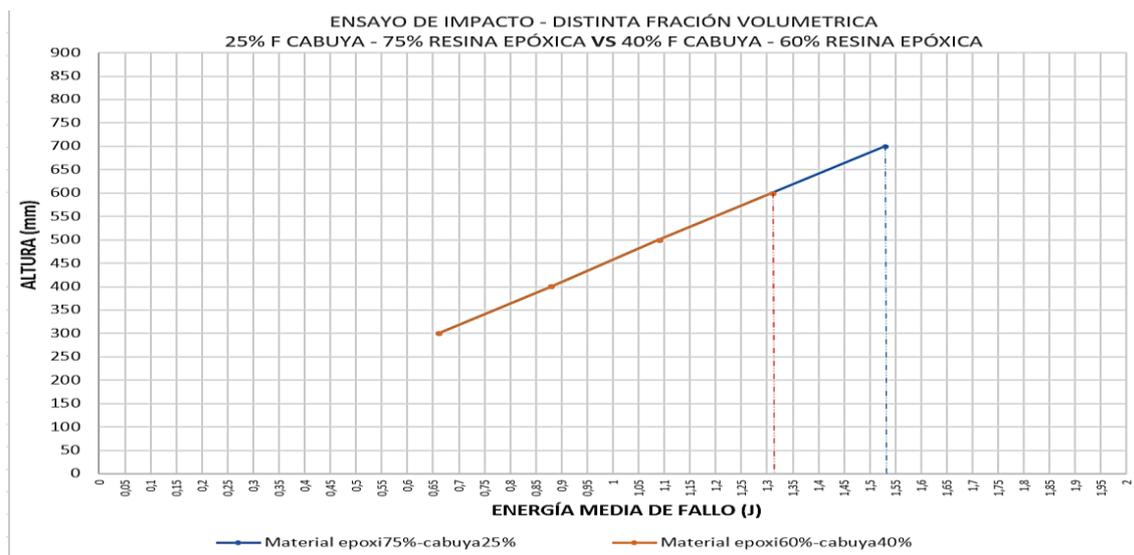
### 3.2.3 ENSAYO A IMPACTO

#### 3.2.3.1 Material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya

Se analiza el primer material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia al impacto entre la configuración 1 y configuración 2:



**Figura 3.51** Comparación resistencia al impacto primer material- dos configuraciones

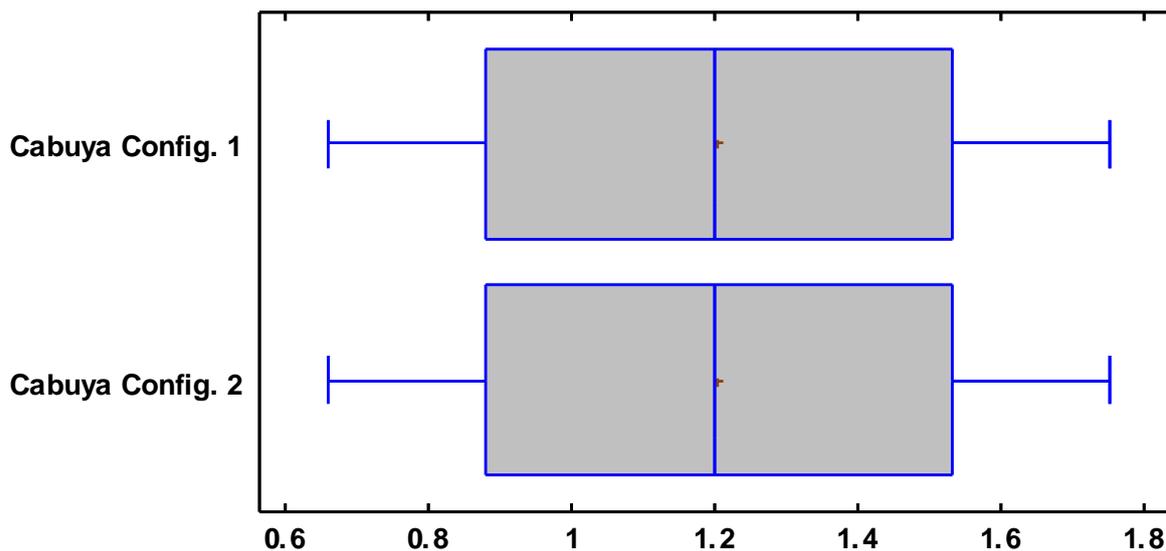


**Figura 3.52** Altura vs energía de fallo a impacto del primer material - dos configuraciones.

Con la prueba de impacto realizada al primer material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos de la energía máxima al impacto cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.10 y 3.11 representando a la primera y segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que en el primer material la primera configuración presenta una mayor capacidad de absorción de energía. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.26 y figura 3.53:

**Tabla 3.26** Datos estadísticos de la resistencia al impacto del primer material con la configuración 1 y 2

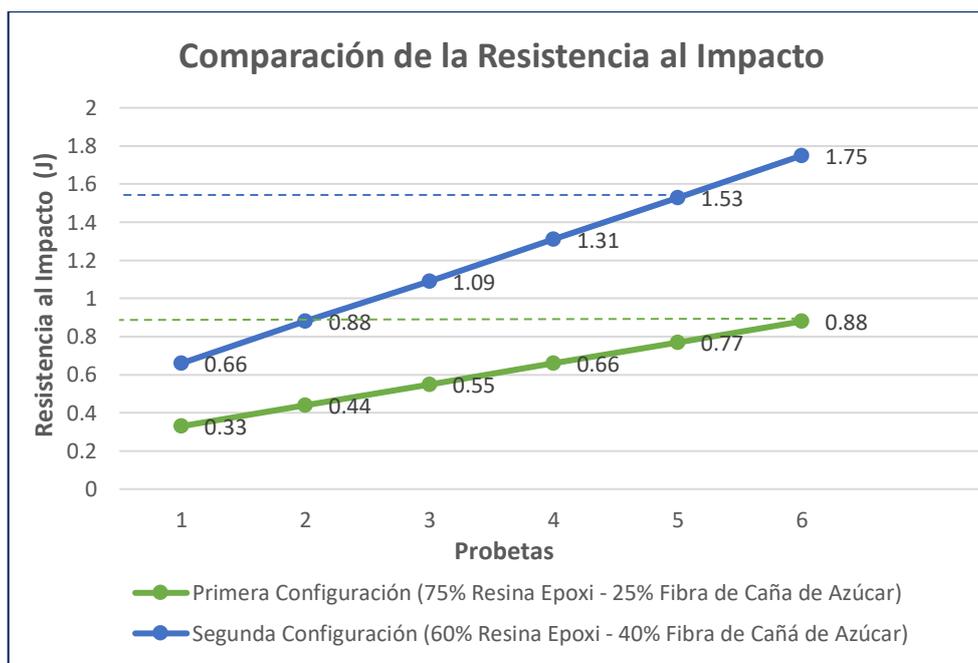
	<b>Configuración 1</b>	<b>Configuración 2</b>
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	1.20	1.20
Mediana (MPa)	1.20	1.20
Media Recortada 5% (MPa)	1.20	1.20
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	0.16	0.16
Desviación Estándar (MPa)	0.40	0.40
Coefficiente de Variación	33.84%	33.84%
Mínimo (MPa)	0.66	0.66
Máximo (MPa)	1.75	1.75
Rango (MPa)	1.09	1.09
Rango Intercuartílico (MPa)	0.65	0.65
Sesgo Estandarizado	0.01	0.01
Curtosis	-1.18	-1.18
Curtosis Estandarizada	-0.59	-0.59



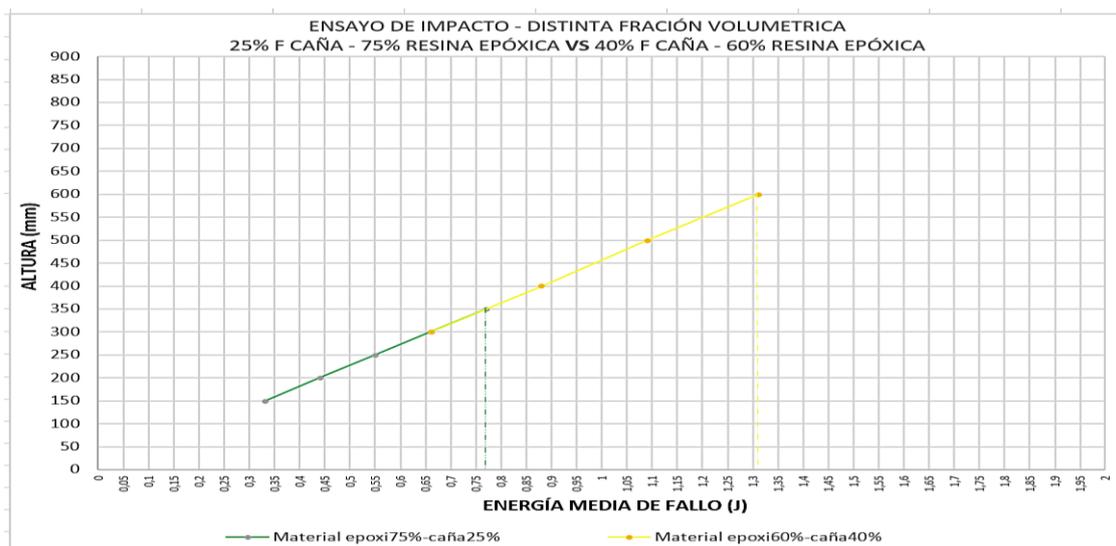
**Figura 3.53** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto (MPa)

### 3.2.3.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar

Se analiza el segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia al impacto entre la configuración 1 y configuración 2:



**Figura 3.54** Comparación resistencia el impacto segundo material- dos configuraciones

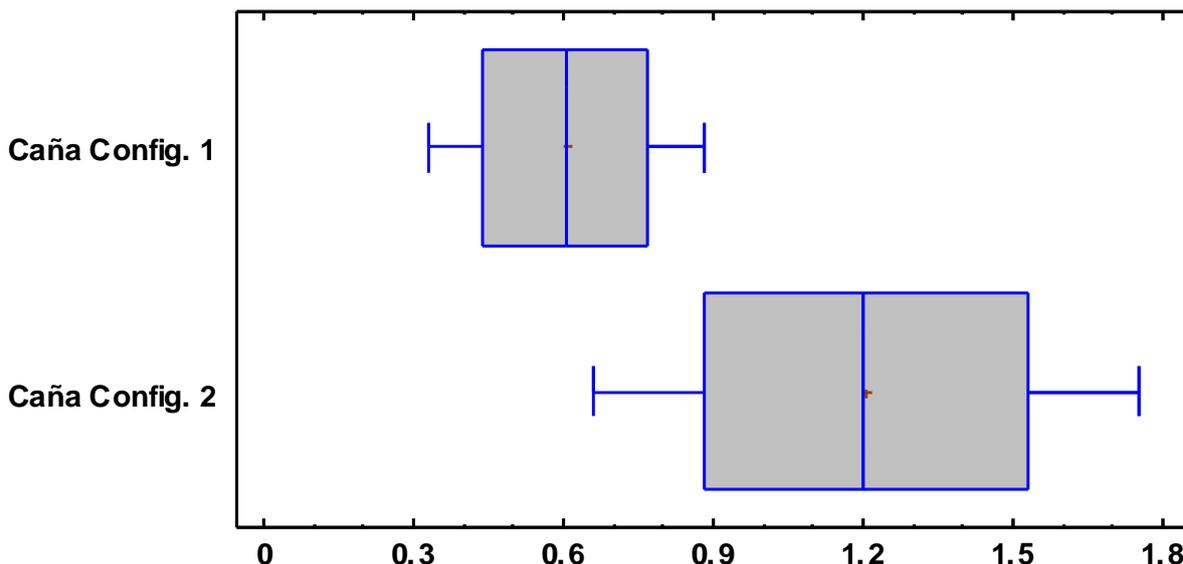


**Figura 3.55** Altura vs energía de fallo a impacto del segundo material - dos configuraciones.

Con la prueba de impacto realizada al segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo al impacto cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.12 y 3.13 representando a la primera y segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que en el segundo material la segunda configuración presenta una mayor capacidad de absorción de energía. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.27 y figura 3.56:

**Tabla 3.27** Datos estadísticos de la resistencia al impacto del segundo material con la configuración 1 y 2

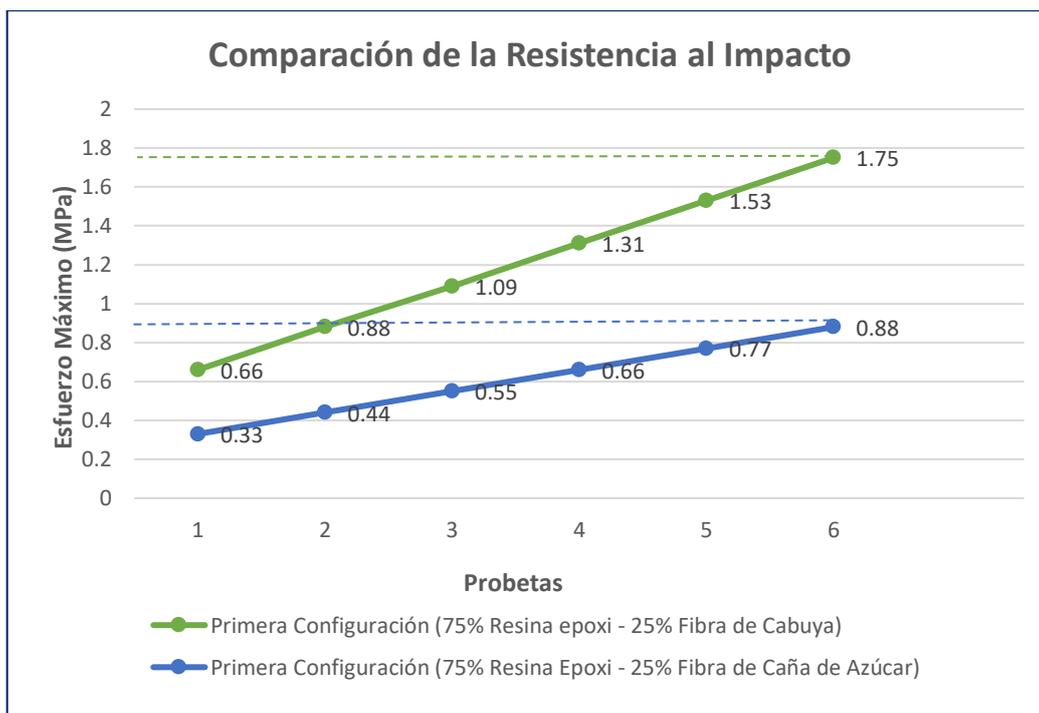
	Configuración 1	Configuración 2
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	0.60	1.20
Mediana (MPa)	0.60	1.20
Media Recortada 5% (MPa)	0.60	1.20
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	0.04	0.16
Desviación Estándar (MPa)	0.20	0.40
Coefficiente de Variación	34.01%	33.84%
Mínimo (MPa)	0.33	0.66
Máximo (MPa)	0.88	1.75
Rango (MPa)	0.55	1.09
Rango Intercuartílico (MPa)	0.33	0.65
Señal Estandarizado	0	0.01
Curtosis	-1.20	-1.18
Curtosis Estandarizada	-0.60	-0.59



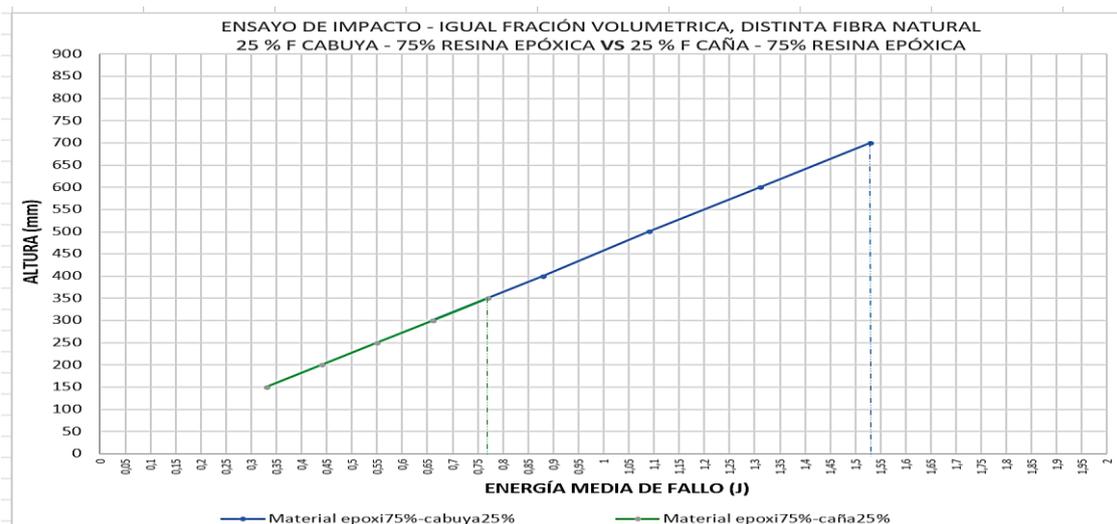
**Figura 3.56** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto (MPa)

### 3.2.3.2 Material compuesto resina epóxica + cabuya vs resina epóxica + caña de azúcar

Se analiza el primero y segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia al impacto entre la configuración 1:



**Figura 3.57** Comparación resistencia al impacto primer y segundo material- primera configuración

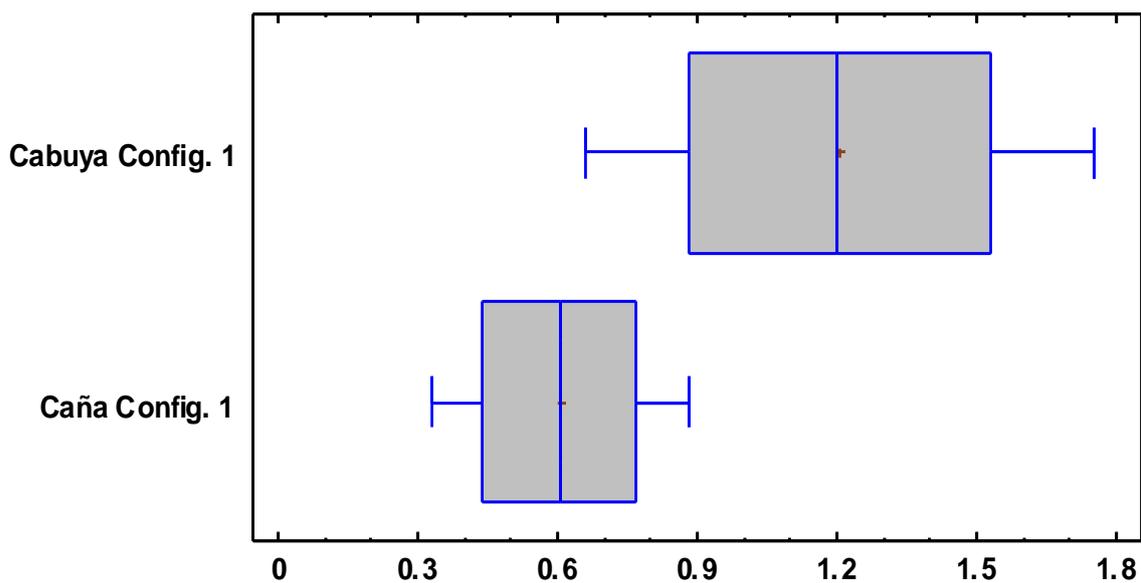


**Figura 3.58** Comparación de altura vs energía de fallo a impacto entre los dos materiales – primera configuración

Con la prueba de impacto realizada al primero y segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo al impacto cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.10 y 3.12 representando a la primera configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que el primer material con la primera configuración presenta una mayor capacidad de absorción de energía. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.28 y figura 3.59:

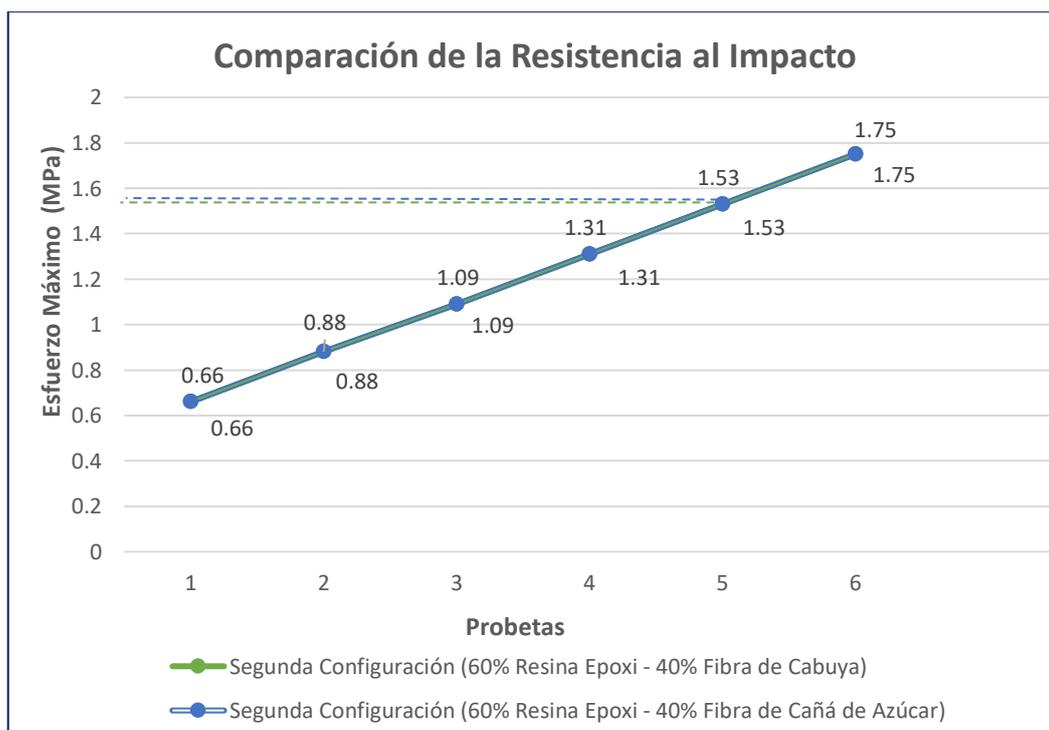
**Tabla 3.28** Datos estadísticos de la resistencia al impacto del segundo material con la configuración 1

	Cabuya Config. 1	Caña Config. 1
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	1.20	0.60
Mediana (MPa)	1.20	0.60
Media Recortada 5% (MPa)	1.20	0.60
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	0.16	0.04
Desviación Estándar (MPa)	0.40	0.20
Coefficiente de Variación	33.84%	34.01%
Mínimo (MPa)	0.66	0.33
Máximo (MPa)	1.75	0.88
Rango (MPa)	1.09	0.55
Rango Intercuartílico (MPa)	0.65	0.33
Sesgo Estandarizado	0.01	0
Curtosis	-1.18	-1.20
Curtosis Estandarizada	-0.59	-0.60

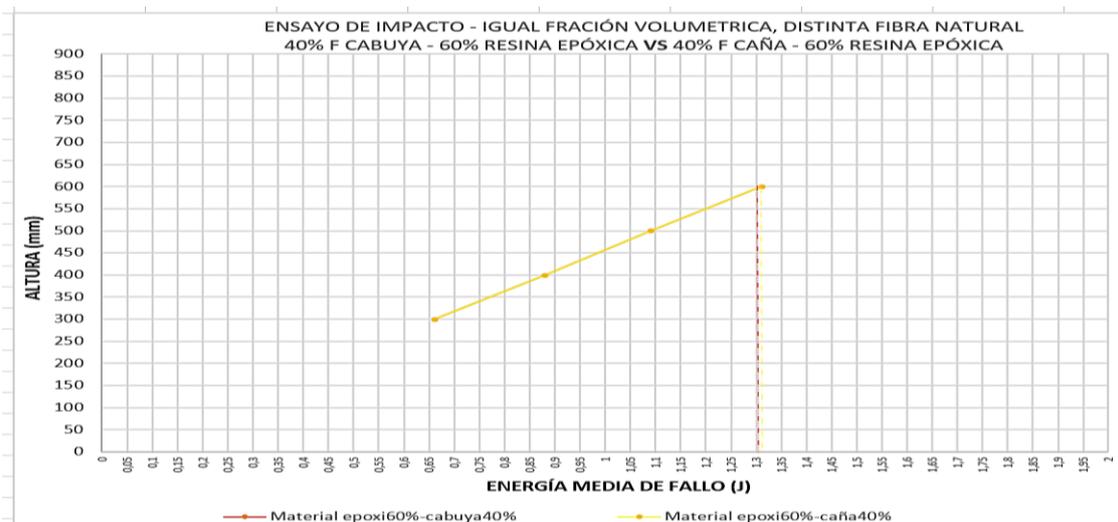


**Figura 3.59** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto (MPa)

Se analiza el primero y segundo material compuesto realizando la comparación de los resultados de la resistencia al impacto entre la configuración 2:



**Figura 3.60** Comparación resistencia al impacto primer y segundo material- segunda configuración

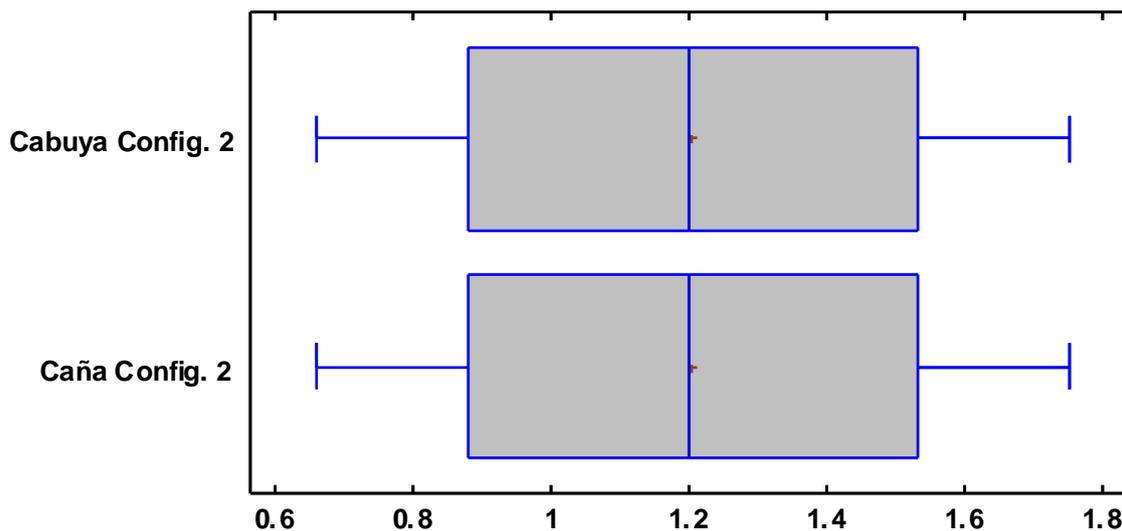


**Figura 3.61** Comparación de altura vs energía de fallo a impacto entre los dos materiales - segunda configuración

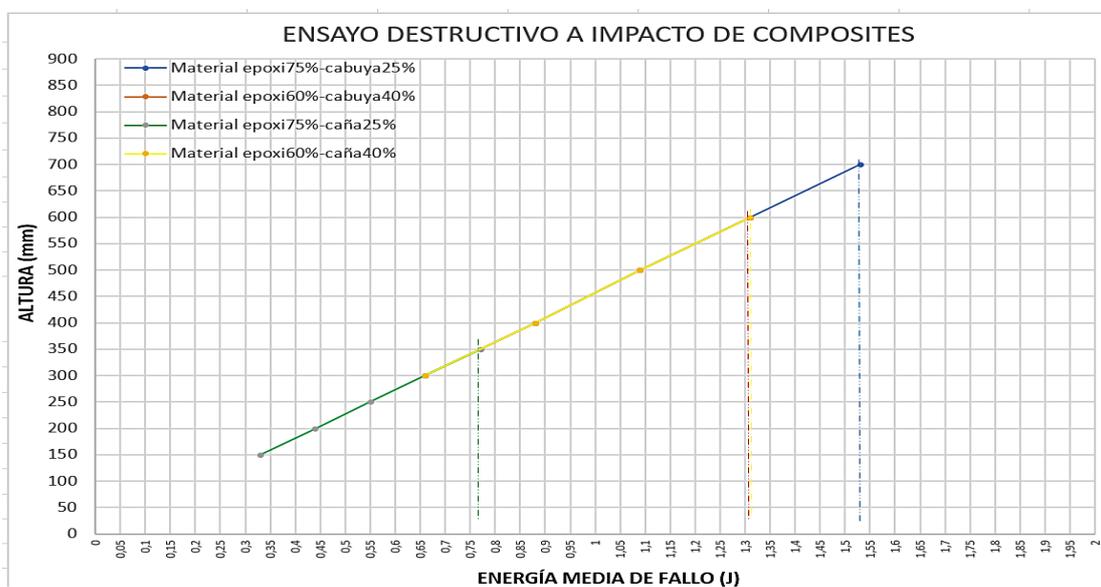
Con la prueba de impacto realizada al primero y segundo material compuesto se determina las propiedades mecánicas las cuales representan los datos del esfuerzo máximo al impacto cuyos valores se encuentran dispuestos en la tabla 3.11 y 3.13 representando a la segunda configuración. Con la ayuda de un análisis estadístico se realiza la comparación de las medias de los resultados arrojados por el ensayo destructivo, estableciendo que el primer y segundo material con la segunda configuración presentan una capacidad de absorción de energía similar. Los datos se presentan a continuación en la tabla 3.29 y figura 3.62:

**Tabla 3.29** Datos estadísticos de la resistencia al impacto del segundo material con la configuración 2

	<b>Cabuya Config. 1</b>	<b>Caña Config. 2</b>
Recuento	6	6
Promedio (MPa)	1.20	1.20
Mediana (MPa)	1.20	1.20
Media Recortada 5% (MPa)	1.20	1.20
Varianza (MPa) <sup>2</sup>	0.16	0.16
Desviación Estándar (MPa)	0.40	0.40
Coefficiente de Variación	33.84%	33.84%
Mínimo (MPa)	0.66	0.66
Máximo (MPa)	1.75	1.75
Rango (MPa)	1.09	1.09
Rango Intercuartílico (MPa)	0.65	0.65
Sesgo Estandarizado	0.01	0.01
Curtosis	-1.18	-1.18
Curtosis Estandarizada	-0.59	-0.59



**Figura 3.62** Diagrama caja y bigote de la comparación de las medidas de resistencia máxima al impacto (MPa)



**Figura 3.63** Comparación de altura vs energía media de fallo a impacto de los dos materiales – dos configuraciones

En la figura 3.63 se presenta la comparación de altura vs energía media de fallo a impacto de los dos materiales compuestos con sus dos configuraciones, observando que el primer material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya en su primera configuración presenta las mejores propiedades mecánicas en referencia al segundo material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar.

### 3.2.4 PLANTEAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

#### 3.2.4.1 Material compuesto de resina epoxi y fibra de cabuya

Se realiza el planteamiento de la hipótesis de investigación la misma que es comprobada mediante el método estadístico denominado “T Student”, se usó este método ya que nos permite realizar una comparación entre dos medias de población independientes y normalmente distribuidas con muestras menores a 30. Se presenta la siguiente hipótesis para el desarrollo del método:

**Hipótesis:** El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de cabuya con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, presentará mejores propiedades de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40% refuerzo.

Se establece dos variables tanto la dependiente como la independiente:

- Variable Dependiente: Mejores datos obtenidos en los resultados de los ensayos a tracción del material compuesto de resina epóxica y refuerzo de fibra de cabuya.
- Variable Independiente: Tipo de configuración determinada para este estudio.

#### **Simbología:**

*H<sub>0</sub>*=Hipótesis Nula

*H<sub>a</sub>*=Hipótesis alternativa o de investigación

$\alpha$ =Margen de error

*X*=Media de los datos obtenidos del ensayo en la segunda configuración.

*Y*=Media de los datos obtenidos del ensayo en la primera configuración.

*n<sub>1</sub>*=Datos de la población de la configuración 2

*n<sub>2</sub>*=Datos de la población de la configuración 1

#### **Modelo Matemático:**

*Nivel de confianza*=95%

*Nivel de significancia*  $\alpha=0,025$

*Desviación Estandar*  $S_1=23,21$  (obtenido de la tabla 3.3)

*Desviación Estandar*  $S_2=11,88$  (obtenido de la tabla 3.2)

*Grados de libertad*

$$n = n_1 + n_2 - 2$$

$$n = 6 + 6 - 2$$

$$n = 10$$

*Selección del t Student*  $t = 0,975$  sugerido para trabajos de nivel experimental (Mazón, 2017).

### **Modelo Lógico:**

Hipótesis Nula  $H_0$ :

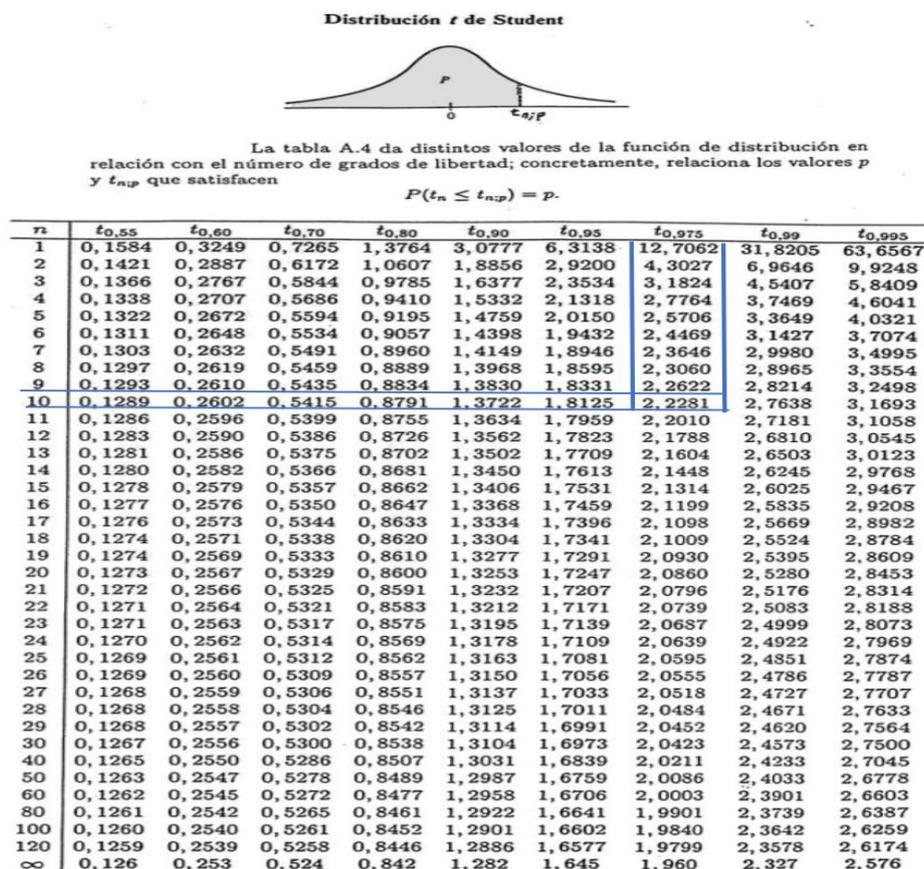
$H_0$ : El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de cabuya con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, no presentará mejores propiedades de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40% refuerzo.

Hipótesis Alternativa  $H_a$ :

$H_a$ : El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de cabuya con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, presentará mejores propiedades de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40% refuerzo.

**Resolución:**

Distribución T tabulado:



**Figura 3.64** Distribución t de student para el refuerzo de fibra de cabuya (Imbaquingo, 2018)

T tabulado= 2,3060

Distribución T calculado:

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n_2 - 1)S_2^2 + (n_1 - 1)S_1^2}{n_2 + n_1 - 2}} \sqrt{\frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_1}}}$$

$$T = \frac{63,70 - 52,25}{\sqrt{\frac{(6 - 1)23,21^2 + (6 - 1)11,88^2}{6 + 6 - 2}} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}$$

T Calculado= 1,075

∴ T Calculado < T tabulado

Debido a que el T calculado es menor al T tabulado se procede a rechazar la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula que dice:

El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de cabuya con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, no presentará mejores propiedades de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40% refuerzo.

### 3.2.4.2 Material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar

Se realiza el planteamiento de la hipótesis de investigación la misma que es comprobada mediante el método estadístico denominado “T Student” se usó este método ya que nos permite realizar una comparación entre dos medias de población independientes y normalmente distribuidas con muestras menores a 30. Se presenta la siguiente hipótesis para el desarrollo del método:

**Hipótesis:** El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de caña de azúcar con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, presentará mejores propiedades de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40% refuerzo.

Se establece dos variables tanto la dependiente como la independiente:

- Variable Dependiente: Mejores datos obtenidos en los resultados de los ensayos a tracción del material compuesto de resina epóxica y refuerzo de fibra de caña de azúcar.
- Variable Independiente: Tipo de configuración determinada para este estudio.

#### Simbología:

*H<sub>0</sub>*=Hipótesis Nula

*H<sub>a</sub>*=Hipótesis alternativa o de investigación

$\alpha$ =Margen de error

$X$ =Media de los datos obtenidos del ensayo en la segunda configuración.

$Y$ =Media de los datos obtenidos del ensayo en la primera configuración.

$n_1$ =Datos de la población de la configuración 2

$n_2$ =Datos de la población de la configuración 1

### **Modelo Matemático:**

Nivel de confianza=95%

Nivel de significancia= $\alpha=0,025$

Desviación Estandar  $S_1=2,70$  (obtenido de la tabla 3.5)

Desviación Estandar  $S_2=4,13$  (obtenido de la tabla 3.4)

Grados de libertad

$$n = n_1 + n_2 - 2$$

$$n = 6 + 6 - 2$$

$$n = 10$$

Selección del  $t$  Student  $t = 0,975$  sugerido para trabajos de nivel experimental (Mazón, 2017).

### **Modelo Lógico:**

Hipótesis Nula  $H_0$ :

$H_0$ : El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de caña de azúcar con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, no presentará mejores propiedades de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40% refuerzo.

Hipótesis Alternativa  $H_a$ :

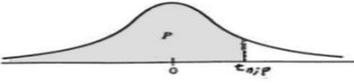
$H_a$ : El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de caña de azúcar con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^\circ-0^\circ-90^\circ$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, presentará mejores propiedades

de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40%refuerzo.

### Resolución:

Distribución T tabulado:

**Distribución *t* de Student**



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

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

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

**Figura 3.65** Distribución t de student para el refuerzo de fibra de caña de azúcar (Imbaquingo, 2018)

$T$  tabulado= 2.3060

Distribución T calculado:

$$T = \frac{X - Y}{\sqrt{\frac{(n_2 - 1)S_2^2 + (n_1 - 1)S_1^2}{n_2 + n_1 - 2} \sqrt{\frac{1}{n_2} + \frac{1}{n_1}}}}$$

$$T = \frac{24,54 - 24,19}{\sqrt{\frac{(6 - 1)2,70^2 + (6 - 1)4,13^2}{6 + 6 - 2} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}}$$

T Calculado= 0,173

∴ T Calculado < T tabulado

Debido a que el T calculado es menor al T tabulado se procede a rechazar la hipótesis alterna y se acepta la hipótesis nula que dice:

El material compuesto a base de resina epóxica y refuerzo de fibra de caña de azúcar con la primera configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientadas a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 75% matriz-25% refuerzo, no presentará mejores propiedades de resistencia a la tracción que el mismo material compuesto en su segunda configuración, la cual consta de tres capas de fibra orientada a  $90^{\circ}$ - $0^{\circ}$ - $90^{\circ}$  con una fracción volumétrica de 60% matriz-40% refuerzo.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- Los materiales compuestos usaron normativa ASTM en su elaboración, al igual que en la realización de los ensayos destructivos bajo ASTM 3039 para Tracción, ASTM 7264 para Flexión y ASTM 5628 para Impacto, lo cual permitió la validación a los resultados obtenidos en los ensayos que determinaron las propiedades mecánicas presentes en los materiales compuestos.
- Se estableció dos configuraciones para cada material compuesto, con fracciones volumétricas de 75%matriz- 25%refuerzo y 60%matriz- 40%refuerzo, con una orientación de fibras de 90°-0°-90°. Además, el método de estratificación por compresión usado en la fabricación de las probetas permitió tener una mejor calidad y adherencia de la resina con las fibras, así evitando la incrustación de aire en el interior de su estructura lo cual contribuyó a que no se generen resultados erróneos al momento de los ensayos.
- En el ensayo a Tracción el material compuesto que mejor presentó sus propiedades mecánicas fue el conformado por matriz de resina epóxica y fibra de cabuya con la configuración de 60%matriz-40%refuerzo, con 3 capas de fibras con una orientación de 90°-0°-90°, en el cual la resistencia máxima a la tracción obtenida es de 63,70 MPa en promedio y soportando una fuerza máxima a tracción de 8799,43 N (897,29 kgf) en una de sus probetas.
- En el ensayo a Flexión el material compuesto que mejor presento sus propiedades mecánicas fue el conformado por matriz de resina epóxica y fibra de cabuya con la configuración de 75%matriz-25%refuerzo, con 3 capas de fibras con una orientación de 90°-0°-90°, en el cual la resistencia máxima a la flexión obtenida es de 118,81 MPa en promedio y soportando una fuerza máxima a flexión de 132,53 N (13,51 kgf) en una de sus probetas. Cabe recalcar que la diferencia de los valores de las dos configuraciones para este material no es significativa.
- En el ensayo a Impacto el material compuesto que mejor presento sus propiedades mecánicas fue el conformado por matriz de resina epóxica y fibra de cabuya con la configuración de 75%matriz-25%refuerzo, con 3 capas de fibras con una orientación

de 90°-0°-90°, en el cual la resistencia máxima al impacto obtenida es de 1,53 J en la cual el material no falla.

- Con los resultados de los ensayos destructivos realizados a las probetas se determinó que el refuerzo con el cual se obtuvo las mejores propiedades mecánicas del material compuesto fue la fibra natural de cabuya generando una mejor combinación con la matriz de resina epoxi.
- El análisis fractográfico determinó que en los dos materiales la falla únicamente se produjo en la matriz de resina epóxica mientras que las fibras de refuerzo mantenían su consistencia, con la diferencia de que en el material de resina epóxica y fibra de cabuya existió solo una fractura de la matriz mientras que en el otro material de resina epóxica y fibra de caña de azúcar existió desprendimiento de la matriz dejando a la intemperie el refuerzo de fibra. Por lo tanto, la fibra de cabuya presenta la mejor adherencia con la matriz epóxica.

## 4.2 RECOMENDACIONES

- Se debe procurar que el encerado cubra cada espacio del molde, así como también se deben poner varias capas de cera y dejar secar a temperatura ambiente, esto ayudará a que la fase desmoldante sea produzca de manera más fácil y correcta.
- Se debe colocar una capa de resina para iniciar con la fabricación de la probeta ya que permite que la superficie del material compuesto tenga una mejor uniformidad y a su vez ayuda a dar un mejor acabado final.
- Antes de colocar el refuerzo se debe observar la calidad de la fibra, que se encuentre limpia, libre de celulosa y totalmente seca esto ayudara a que exista una mejor adherencia con la resina y a su vez mejorar la calidad de los resultados de los ensayos destructivos.
- La presión usada en los moldes de las probetas debe ser la suficiente que permita que todas las burbujas de aire puedan ser expulsadas del interior del material logrando evitar porosidades en las probetas y a su vez resultados erróneos en los ensayos destructivos.
- Los elementos de agarre que se colocan en los extremos de las probetas a tracción deben ir adheridos con un pegamento que sea resistente y compatible con el material de la probeta, esto garantiza una buena sujeción con las mordazas de la máquina de ensayos.

- Se deben realizar más investigaciones en relación a materiales compuestos con diferentes tipos de fibras naturales, para así encaminar a las industrias automotrices a la sustitución de los materiales contaminantes con los que comúnmente se encuentran elaborados los componentes del vehículo y a su vez contribuir con el cuidado del medio ambiente.
- Investigar acerca de las múltiples aplicaciones que se le pueden dar al material compuesto de resina epóxica y fibra de cabuya, así como al material compuesto de resina epóxica y fibra de caña de azúcar, basándose en los resultados obtenidos en la investigación y determinar el costo beneficio que va a depender de la parte o pieza a elaborar ya sea en la industria automotriz, así como en los diferentes tipos de industrias.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Askeland, D., Fulay , P., & Wright, W. (2012). *Ciencia e Ingeniería de Materiales* . Mexico: Cengage Learning .
2. Botero, E., Romo , M., Mendez, B., & Gonzáles, C. (2013). Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibratoria. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*.
3. Caballero Garcia, D. R., & Dominguez López, L. R. (09 de 2018). *Repositorio UNITRU*. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11085>
4. Chevez, A. I. (2017). *Repositorio UTEQ*. Obtenido de <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/2177>
5. El Telégrafo. (12 de Marzo de 2016). *Prometeo realiza estudio sobre la caña de azúcar para potenciar su producción*. Obtenido de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/507/1/prometeo-realiza-estudio-sobre-la-cana-de-azucar-para-potenciar-su-produccion>
6. FORD. (27 de Julio de 2016). *Ford Media Center*. Obtenido de <https://media.ford.com/content/fordmedia/fsa/ar/es/news/2016/07/27/ford-desarrolla-bioplastico-basado-en-fibra-de-agave--planta-tra.html>
7. Hemath Kumar, G., Babuvishwanath, K., Rajesh Purohit, Pramod Sahu, & Rana, R. (2017). *Investigations On Mechanical Properties Of Glass And Sugarcane Fiber Polymer Matrix Composites*.
8. Hemath, G., Babuvishwanath, H., & Puroh, R. (2018). Investigations On Mechanical Properties Of Glass And Sugarcane. *Materials Today*.
9. Hull, D. (1999). *Fractography observing, measuring and interpreting fracture surface topography*. Cambridge University Press.
10. Imbaquingo, R. (enero de 2018). *Repositorio SEC* . Obtenido de <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2751>

11. Indra, M., Prasad, U., & Kumara, A. (2017). Comparative Evaluation on Mechanical Properties of Jute, Pineapple leaf fiber and Glass fiber Reinforced Composites with Polyester and Epoxy Resin Matrices. *Materials today*.
12. Jácome, A. (2015). *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*.
13. Jácome, A. (Abril de 2015). *Repositorio UTA*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/10373>
13. Larrahondo, J. E. (1995). Calidad de la caña de azúcar en CENICAÑA. Cali.
14. Mazón, G. (2017). *Repositorio universidad técnica de ambato*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25131>
15. Mysamy , K., & Rajendran, I. (2010). The mechanical properties, deformation and thermomechanical properties. *Materials and Desing*.
16. Olmera , D., Jiménez , O., & Mendoza. (2013). Caracterización de un proceso de manufactura para la obtención de compuestos de fibra de agave unidireccional, resina epóxica y poliéster. *Verano de la ciencia*.
17. Pacha, G. S. (2017). *Repositorio UTA*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25128>
18. Pachacama, N. V. (Agosto de 2015). *Repositorio ESPE*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10129>
19. Rodríguez Soto , A., Alvarez Borges, L., Valín Rivera, J., & Díaz Batista, D. (2015). Fabricación de compuesto de matriz epoxi reforzado con fibras largas de henequén orientadas aleatoriamente. *Ingeniería Mecánica*, 122 - 128.
20. Rodríguez, V. C. (2013). *Repositorio UANL* . Obtenido de <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/3689>
21. Secretaria nacional de planificación y desarrollo. (26 de Octubre de 2017). *Secretaria nacional de planificación y desarrollo*. Obtenido de [http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)

22. Secretaria nacional de planificación y desarrollo. (26 de Octubre de 2017). *Secretaria nacional de planificación y desarrollo*. Obtenido de [http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL\\_0K.compressed1.pdf](http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf)
23. Tamayo, D. N. (21 de Junio de 2012). *Repositorio EPN*. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4714>
24. Tixe , J., & Vistín, J. (24 de Junio de 2015). *Repositorio ESPOCH*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4123>
25. Toapanta, L. A. (2018). *Repositorio Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28978>
26. Trejos, J. (13 de Junio de 2014 ). *Repositorio Universidad Técnica de Pereira*. Obtenido de <https://docplayer.es/7874487-Propiedades-mecanicas-de-una-matriz-de-poliester-reforzada-con-fibra-de-coco-comparadas-con-la-misma-matriz-reforzada-con-fibra-de-vidrio.html>
27. Vega, H., Ramirez, U., Jiménez, O., & Mendoza, O. (2014). Desarrollo de materiales laminados de fibra de henequén-resina poliéster.
28. Velasquez Restrepo, S., Pelaéz Arroyave, G., & Giraldo Vásquez, D. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *SENA*.
29. Velásquez, M., Pelaéz, G., & Giraldo, D. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica. *Sena*.
30. Villagaray, C. O. (2018). *Repositorio UCV*. Obtenido de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/20581>
31. Zucarello, B., & Zingales, M. (2017). Toward high performance renewable agave reinforced biocomposites: Optimization of fiber performance and fiber-matrix adhesion analyses. *Composites*.
32. Zuccarello , B., & Scaffaro , R. (2017). Experimental analysis and micromechanical models of highperformance renewable agave reinforced biocomposites. *Composites*.

## **ANEXOS**

## ANEXO I

## Norma ASTM 3039 para ensayos a tracción de materiales compuestos

Designation: D 3039/D 3039M – 00<sup>1</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.

$\epsilon^1$  Norm—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>7</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>8</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.

 D 3039/D 3039M – 00\*1

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

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

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

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

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

3.3 *Symbols:*

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

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

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

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

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

3.3.6  $F^m$ —ultimate tensile strength in the test direction.

3.3.7  $F^s$ —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  $x_j$ —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


**D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>**

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

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

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

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

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

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

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

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

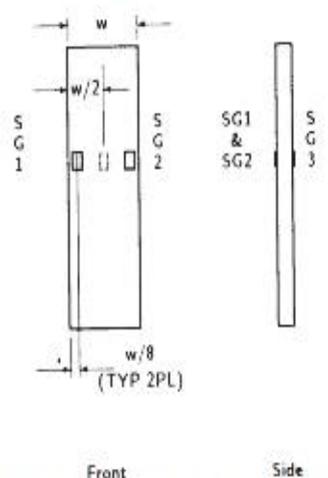
**7.2.5 System Alignment**—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012,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

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

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

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

 D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>

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.

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

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

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

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

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.

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.

<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. P., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54-69; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.

## 8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

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

### 8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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

### 8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

**TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements**

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

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


**D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>**
**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, <sup>1</sup>
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:

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

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
- $F^a$  = 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.

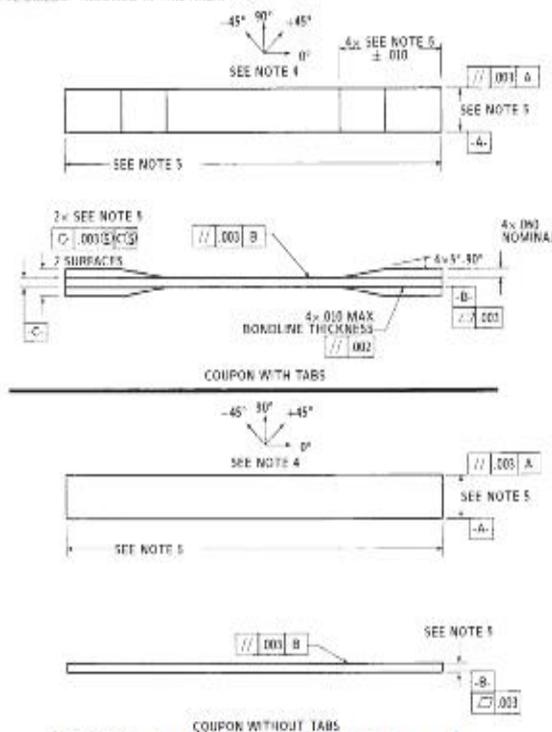
<sup>9</sup> E-Z Plus Metalite K224 cloth, Geti 120-1, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.




**D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>**
**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  $\pm 5^\circ$ .
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO  $\overline{A-A}$  WITHIN  $\pm 5^\circ$ .
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED  $R_{\sqrt{r}}$  (SYMBOLICALLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
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  $\overline{A-A}$ , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.



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

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

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

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

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

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

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

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


**D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>**
**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	$\mu\epsilon$
$1000^A$	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.

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

where:

$\epsilon_f$  = indicated strain from front transducer,  $\mu\epsilon$ ;

$\epsilon_b$  = indicated strain from back transducer,  $\mu\epsilon$ ; and

$B_p$  = 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.

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

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

where:

$F^u$  = 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.

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

where:

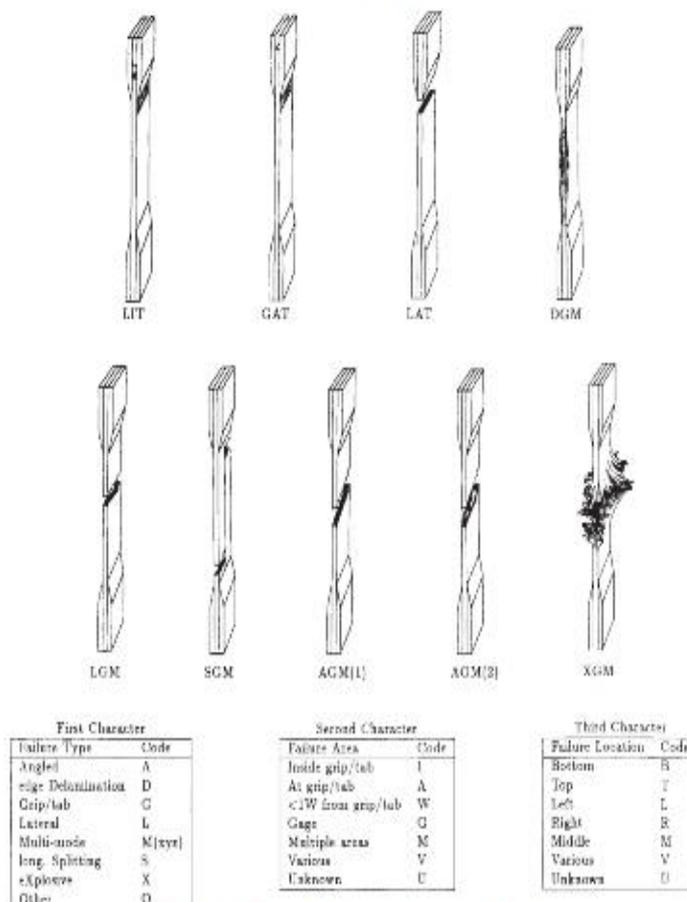
$E^{\text{chord}}$  = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];

$\Delta\sigma$  = 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,

**ASME D 3039/D 3039M - 00-1**



**FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes**

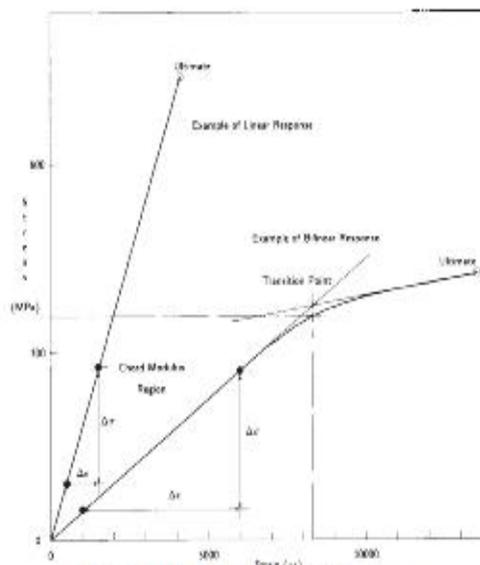
and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

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**


**D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>**

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_l/\Delta\epsilon_t \quad (10)$$

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.


**D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>**

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 (0in)
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90in)
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0in)
F	Glass/epoxy fabric (776) glass/Ciba K 7376 Epoxy- wrap aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108) carbon/Ciba K 6376

TABLE 4 Precision Statistics

Material	$\bar{x}$	$s \bar{x}$	$S_x$	$S_W$	$S/\bar{x}$ , %	$S_W/\bar{x}$ , %
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	196.37	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  $S_x/\bar{x}$  and  $S_W/\bar{x}$  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 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.


**D 3039/D 3039M – 00<sup>1</sup>**
**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

Parameter	Average of $S_r/X$ , %	Average of $S_m/X$ , %
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).*

# ANEXO II

## Norma ASTM 7264 para ensayos a flexión de materiales compuestos

a

Downloaded by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM. Single-user license only. Copying and networking prohibited.



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 ( $\epsilon$ ) 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>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.

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


**D 7264/D 7264M - 07**
**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

$x_y$  = 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

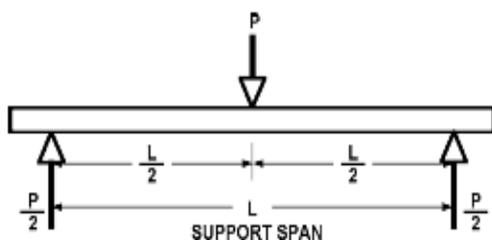


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

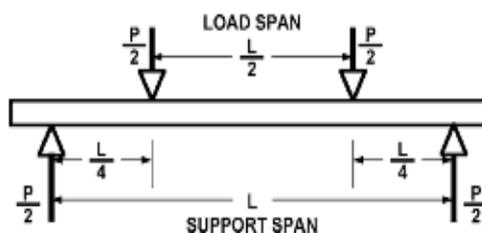


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

**5. Significance and Use**

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

**6. Interferences**

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

D 7264/D 7264M – 07

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the  $\pm 45^\circ$  direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

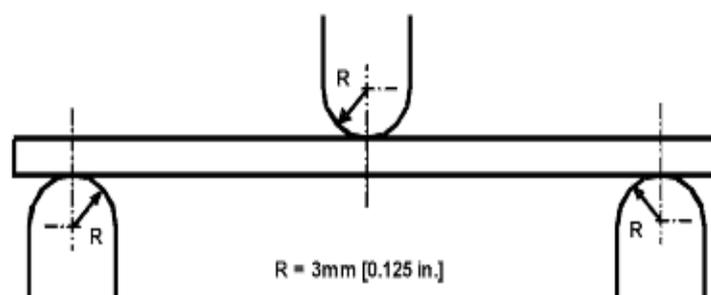
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

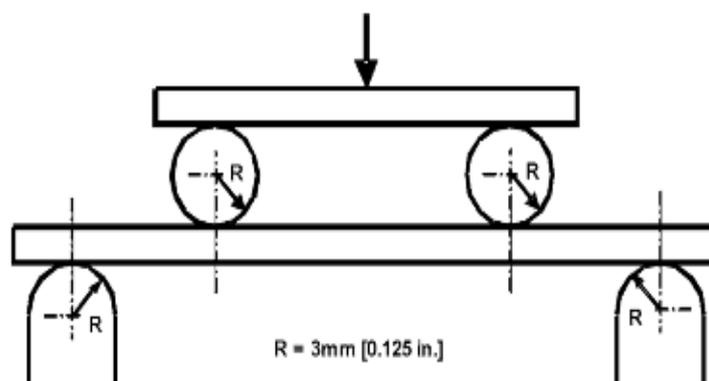
### 7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed  $\pm 1\%$  of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)


**D 7264/D 7264M - 07**

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

**7.3 Micrometers**—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 0.02$  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.

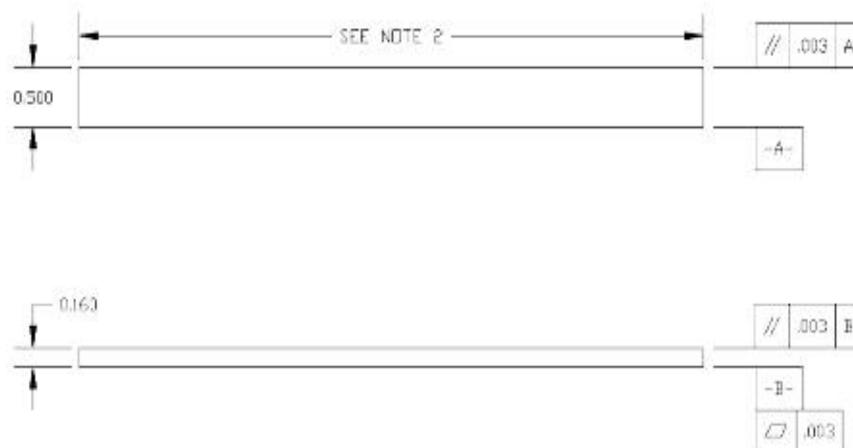
**8.2.1** Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate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


**D 7264/D 7264M - 07**


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


**D 7264/D 7264M – 07**

rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

**11.7 Failure Modes**—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

**11.7.1 Failure Identification Codes**—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

## 12. Validation

**12.1** Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) should be reexamined.

## 13. Calculation

**Note 5**—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

**13.1 Maximum Flexural Stress, Procedure A**—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (**Note 6**):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

where:

$\sigma$  = 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 ½ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (**Note 7**):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (2)$$

where:

$\sigma$  = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],  
 $P$  = applied force, N [lbf],  
 $L$  = support span, mm [in.], and  
 $b$  = 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

 D 7264/D 7264M – 07

$h$  = 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:

$$\epsilon = \frac{4.366\delta h}{L^2} \quad (4)$$

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:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \\ s_{n-1} &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2}{n-1}} \\ CV &= 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}} \end{aligned} \quad (8)$$

where:

$\bar{x}$  = average value or sample mean,  
 $x_i$  = value of single measured or derived property,  
 $n$  = number of specimens,  
 $s_{n-1}$  = estimated standard deviation,  
 $CV$  = coefficient of variation in percentage.

<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.

 D 7264/D 7264M – 07

#### 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


**D 7264/D 7264M – 07**
**ANNEXES****(Mandatory Information)****A1. MEASURING AND SETTING SPAN**

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

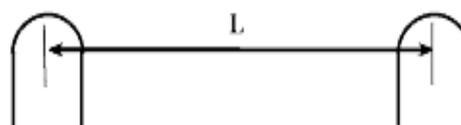


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

**A1.2 Measurement of Span:**

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

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).

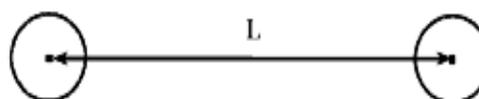


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

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.

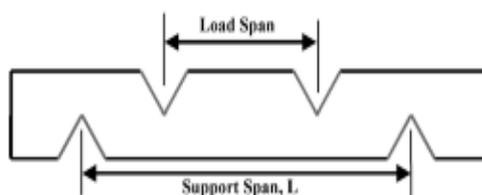


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

 D 7264/D 7264M - 07

## 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. A2.2), 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').

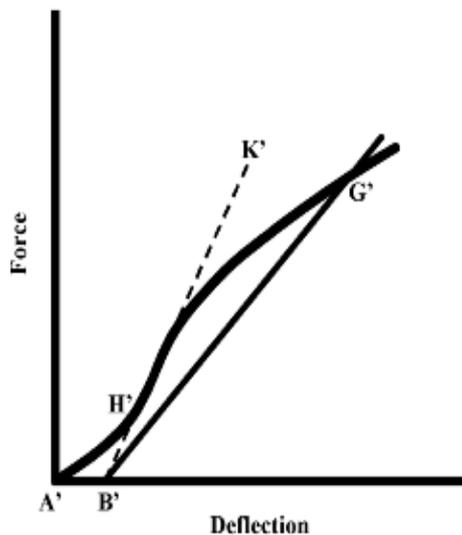


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

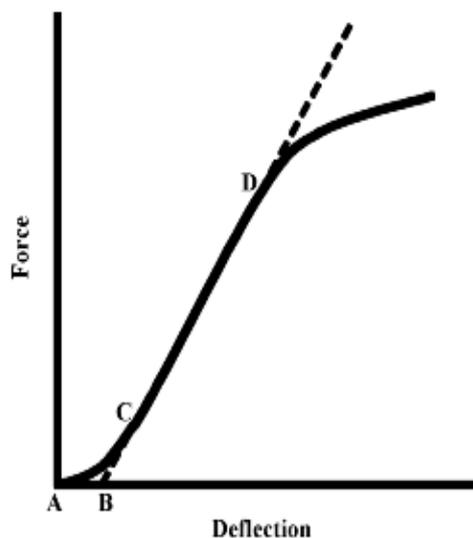


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 **D 7264/D 7264M – 07**

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail); or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*

## ANEXO III

## Norma ASTM 5628 para ensayos a impacto de materiales compuestos

Designation: D 5628 – 96 (Reapproved 2001)<sup>e1</sup>

### 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 D 5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

<sup>e1</sup> *Note*—Editorial changes were made throughout in November 2001.

#### 1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative ranking of materials according to the energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific hazard statements are given in Section 8.*

*Note 1*—This test method and ISO 6603-1-1985 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation<sup>2</sup>
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing<sup>3</sup>
- D 883 Terminology Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics<sup>2</sup>
- D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free Falling Dart Method<sup>2</sup>
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics<sup>4</sup>
- D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

##### Tup Falling Weight<sup>5</sup>

- D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors<sup>6</sup>
  - D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA<sup>6</sup>
  - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>7</sup>
  - E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>7</sup>
- 2.2 *ISO Standards:*
- ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing<sup>8</sup>
  - ISO 6603-1 Plastics-Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method<sup>8</sup>

#### 3. Terminology

##### 3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D 883 and D 1600.

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

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass or the product of the constant mass and mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

*Note 2*—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for

<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 March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

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

<sup>3</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

<sup>4</sup> Discontinued; see 1995 Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

<sup>5</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.04.

<sup>6</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

<sup>7</sup> Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

<sup>8</sup> Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.


**D 5628 – 96 (2001)<sup>1</sup>**

example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to confirm the onset of crack formation.

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

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 may be dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass may be dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass  $\times$  height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).<sup>9</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 may be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach may produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC may be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter 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 D 1709. They have been used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D 3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and tup must be somewhat arbitrary. While any one of the tup geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit somewhat greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

#### 6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials may be expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as may occur during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

<sup>9</sup> The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

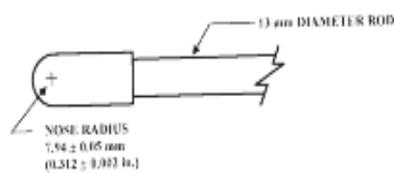

**D 5628 – 96 (2001)<sup>1</sup>**


FIG. 1 (a)

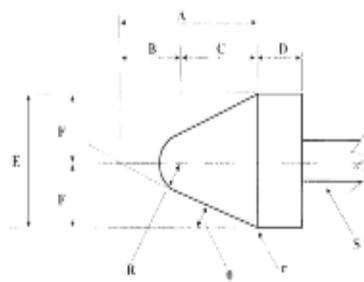


FIG. 1 (b)

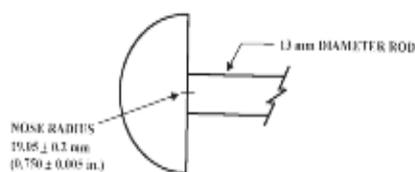


FIG. 1 (c)

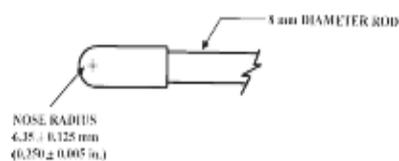


FIG. 1 (d)

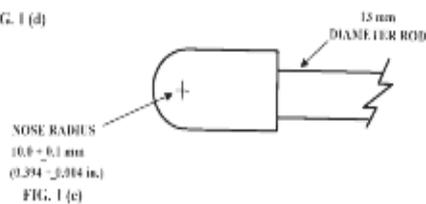


FIG. 1 (e)

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

NOTE: 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be  $\pm 2\%$ .

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	$6.35 \pm 0.05$	$0.250 \pm 0.002$
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) <sup>1</sup>	6.4	0.25
$\phi$	$25 \pm 1^1$	$25 \pm 1^1$

<sup>1</sup>Larger diameter shafts may be used.

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

D 5628 – 96 (2001)\*1

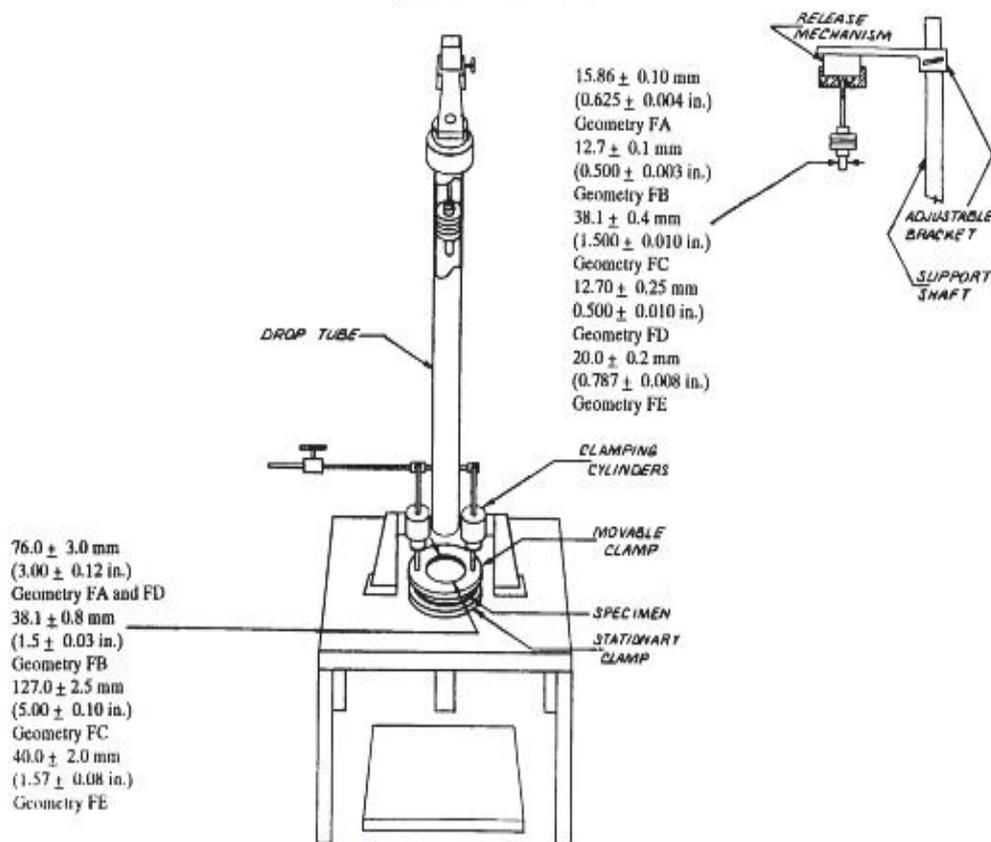


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be  $76.0 \pm 3.0$  mm ( $3.00 \pm 0.12$  in.). For Geometry FB, the inside diameter should be  $38.1 \pm 0.80$  mm ( $1.5 \pm 0.03$  in.).

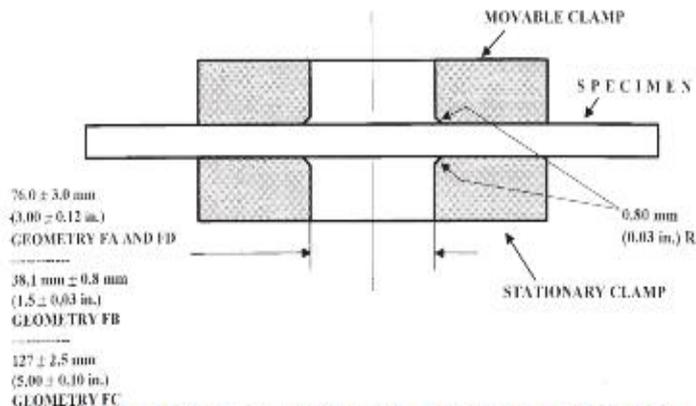


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

**ASTM D 5628 – 96 (2001)\*<sup>1</sup>**

For Geometry FC, the inside diameter should be  $127.0 \pm 2.5$  mm ( $5.00 \pm 0.10$  in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be  $40 \pm 2$  mm ( $1.57 \pm 0.08$  in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

*Note* 3—Reproducible drops may be ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

**7.2 Tup:**

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a  $15.86 \pm 0.10$ -mm ( $0.625 \pm 0.004$ -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  $90^\circ$  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  $12.7 \pm 0.1$  mm ( $0.500 \pm 0.003$  in.) with a conical ( $50^\circ$  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  $38.1 \pm 0.4$  mm ( $1.5 \pm 0.015$  in.). A

**TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions**

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	$15.86 \pm 0.10$ ( $0.625 \pm 0.004$ )	$76.0 \pm 3.0$ ( $3.00 \pm 0.12$ )
FB	$12.7 \pm 0.1$ ( $0.500 \pm 0.003$ )	$38.1 \pm 0.8$ ( $1.5 \pm 0.03$ )
FC	$38.1 \pm 0.4$ ( $1.5 \pm 0.010$ )	$127.0 \pm 2.5$ ( $5.00 \pm 0.10$ )
FD	$12.70 \pm 0.25$ ( $0.500 \pm 0.010$ )	$76.0 \pm 3.0$ ( $3.00 \pm 0.12$ )
FE	$20.0 \pm 0.2$ ( $0.787 \pm 0.008$ )	$40.0 \pm 2.0$ ( $1.57 \pm 0.08$ )

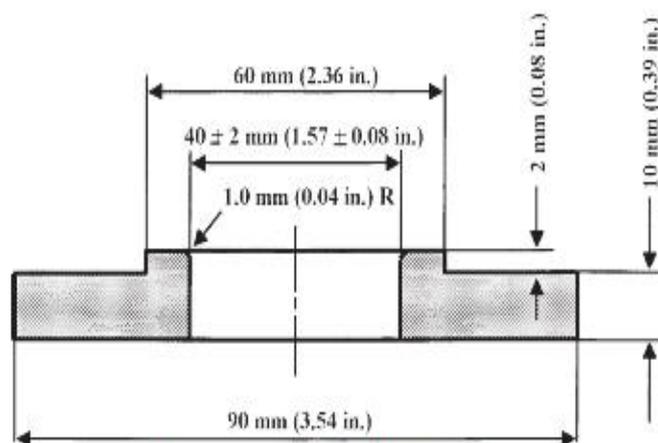
steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at  $90^\circ$  to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a  $12.70 \pm 0.25$ -mm ( $0.500 \pm 0.010$ -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  $90^\circ$  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  $20.0 \pm 0.2$ -mm ( $0.787 \pm 0.008$ -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  $90^\circ$  to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be



**FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE**


**D 5628 – 96 (2001)\*<sup>1</sup>**

tested. For a material of low impact resistance, the tup mass may need to be adjusted by increments of 10 g or less. Materials of high impact resistance may require increments of 1 kg or more.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods D 374 for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the 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 D 2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

## 9. Sampling

9.1 Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the producer, sample the material in accordance with Sections 9 through 14 of Practice D 1898.

## 10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the sample may be tested, but the data shall not be used for referee purposes. For compliance with ISO 6603-1 the test specimen shall be  $60 \pm 2$  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 may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

## 11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5$  % relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2$  % relative humidity. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and at  $50 \pm 5$  % relative humidity, unless otherwise specified.

11.3 When testing is desired at temperatures other than  $23^\circ\text{C}$ , transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D 618.

## 12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in 10.3.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

**TABLE 2 Minimum Size of Specimen**

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

 D 5628 – 96 (2001)\*<sup>1</sup>

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact.

12.5 Choose a specimen at random from the sample. A random-numbers table may be used if desired.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup  $0.660 \pm 0.008$  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 D 618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to  $s$ , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times  $s$  is satisfactory (see section 13.4).

**Note 6**—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X, to indicate a failure and a different symbol, such as O, to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be examined. The specimen may be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior may vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

### 13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- $w$  = mean-failure mass, kg,
- $h$  = mean-failure height, mm,
- $d_w$  = increment of tup weight, kg,
- $d_h$  = increment of tup height, mm,
- $N$  = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- $w_o$  = smallest mass at which an event occurred, kg
- $h_o$  = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=0}^k i n_i$ ,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$  (counting index, starts at  $h_o$  or  $w_o$ ),
- $n_i$  = number of events that occurred at  $h_i$  or  $w_i$ ,
- $w_i = w_o + i d_w$ , and
- $h_i = h_o + i d_h$ .

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:


**D 5628 – 96 (2001)<sup>1</sup>**

$s_w$  = estimated standard deviation, mass, kg  
 $s_h$  = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k \bar{r}^2 n_i \quad (5)$$

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  $s_w$  may be found in Appendix XI.

**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:

$$S_{MEZ} = s_{\bar{w}} w f \quad (8)$$

or

$$S_{MEZ} = S_{\bar{h}} h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

$S_{MEZ}$  = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

## 14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range),

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque

is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D 5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

## 15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin<sup>10</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 E 691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

**NOTE 9**—**Caution:** The following explanations of  $r$  and  $R$  (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.

15.2 *Concept of  $r$  and  $R$* —If  $V_i$  and  $V_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

<sup>10</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters, Request RR.D 20-1030.

**TABLE 3 Precision, Method FB**

Material	Mean, $\bar{J}$	Values Expressed as Percent of the Mean	
		$V_i$	$r$
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.

$V_i$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r$  = 2.83  $V_i$ .


**D 5628 – 96 (2001)\*<sup>1</sup>**
**TABLE 4 Precision, Method FC**

Material	Mean, $\bar{J}$	Values Expressed as Percent of the Mean	
		$V_L$	$r$
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

$V_L$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
 $r = 2.83 V_L$ .

means from testing multiple individual specimens (Bruce-ton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $r$  value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

**16. Keywords**

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

**APPENDIX**

(Nonmandatory Information)

**XI. SAMPLE CALCULATIONS**

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				$n_x$	$n_o$	$i$	$n_i$	$n_{t1}$	$n_{t2}$	
	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	0	5						
Totals																						9	11		9	6	8
																						( $N_x$ )	( $N_o$ )		( $N$ )	( $A$ )	( $B$ )

$$w_s = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$$

$$w = w_s + d(A/N - 0.5)$$

$$= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$$

$$= 7.17 \text{ kg}$$

$$s = 1.620 d \{ (N/B - A^2/B^2) + 0.029 \}$$

$$= 1.620 (1.00) \{ (9.8 - 6^2/9^2) + 0.029 \}$$

$$= 0.77 \text{ kg}$$

$$s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$$

$$s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$$


**D 5628 – 96 (2001)\*<sup>1</sup>**
**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.

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](http://www.astm.org)).

## ANEXO IV

## Resultados del ensayo destructivo a tracción del material compuesto



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

## RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 040146556220190801-ETC	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
Empresa / Cliente: Lenin Stalin Ponce Tobar	
Dirección: Ibarra, Hugo Guzmán y Albuja Galindo	
Núm. de cédula / RUC: 0401465562	Teléfono: 0997561492
E-mail: stalin0298@hotmail.com	
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
Laboratorio: Resistencia de Materiales	
Designación del material: Resina epóxica y fibra de cabuya; resina epóxica y fibra de caña de azúcar	
Método de ensayo: ASTM D3039-2015 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de Polímeros de matriz de material compuesto.	

## Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fración volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	040146556220190801-ETC 01	25 % DE FIBRA DE CABUYA 75% DE RESINA EPÓXICA	T-C25-R75	6
2	040146556220190801-ETC 02	40 % DE FIBRA DE CABUYA 60% DE RESINA EPÓXICA	T-C40-R60	6
3	040146556220190801-ETC 03	25 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 75% DE RESINA EPÓXICA	T-CN25-R75	6
4	040146556220190801-ETC 04	40 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 60% DE RESINA EPÓXICA	T-CN40-R60	6
Total				24

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



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	040146556220190801-ETC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
2	040146556220190801-ETC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
3	040146556220190801-ETC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
4	040146556220190801-ETC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
5	040146556220190801-ETC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
6	040146556220190801-ETC 01-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
7	040146556220190801-ETC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
8	040146556220190801-ETC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
9	040146556220190801-ETC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
10	040146556220190801-ETC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
11	040146556220190801-ETC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
12	040146556220190801-ETC 02-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
13	040146556220190801-ETC 03-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
14	040146556220190801-ETC 03-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
15	040146556220190801-ETC 03-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
16	040146556220190801-ETC 03-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
17	040146556220190801-ETC 03-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
18	040146556220190801-ETC 03-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
19	040146556220190801-ETC 04-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
20	040146556220190801-ETC 04-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
21	040146556220190801-ETC 04-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
22	040146556220190801-ETC 04-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
23	040146556220190801-ETC 04-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01
24	040146556220190801-ETC 04-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019 08 01

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

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

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 040146556-2 Cliente	

Código: RG-RM-001  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 02-02-2018  
Revisión: 3

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Página 2 de 2



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**

**INFORME DE RESULTADOS N°: 040146556220190801-ETC**

**DATOS GENERALES**

**DATOS INFORMATIVOS:**

N° de proforma: RM 2019 035

Empresa / Cliente: Sr. Lenin Stalin Ponce Tobar

RUC/C.I.: 0401465562

Ciudad: Ibarra.

Dirección: Hugo Guzmán y Albuja Galindo.

Teléfono: 0997561492

Correo: stalin0298@hotmail.com

**DATOS DEL ENSAYO:**

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

Dirección: Ambato/Catigata, Toronto y Río de Janeiro.

Método de ensayo: ASTM D3039-2015: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz de polimérica.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Tipo de probeta: Plana

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polimeros Metrotest 50KN

Modelo: MTE-50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min

Precarga: 0,1 kN.

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/08/05. Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/08/06.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de resina epóxica y fibra de cabuya; resina epóxica y fibra de caña de azúcar. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

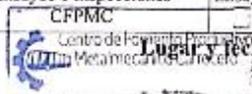
**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Orientación	Probetas a Ensayar
1	040146556220190801-ETC 01	25 % DE FIBRA DE CABUYA 75% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6
2	040146556220190801-ETC 02	40 % DE FIBRA DE CABUYA 60% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente. La matriz es de resina epóxica con refuerzos de caña de azúcar y cabuya, se utiliza para la fabricación de 3 capas.

Observaciones: Ninguna.

<b>Elaborado por:</b>		<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Esteban López Espinel MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



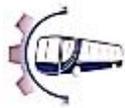
Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 12 de agosto de 2019

N° de Factura: 001-002-000007573

Código: RG-RM-004  
 Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
 Fecha de última aprobación: 21-06-2017  
 Revisión: 7

**INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN**  
**MATERIALES COMPUESTOS**

Página 1 de 5



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

3	040146556220190801-ETC 03	25 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 75% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6
4	040146556220190801-ETC 04	40 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 60% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6
Total				24

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 21-06-2017  
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN  
MATERIALES COMPUESTOS

Página 2 de 5

**Resultados:**

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
1	040146556220190801-ETC 01-1	23	49,3	25,3	3,27	3747,29	45,29	597,74	7,58	LGB	
2	040146556220190801-ETC 01-2	23	49,3	25,08	2,93	5550,72	75,54	828,88	9,11	LGB	
3	040146556220190801-ETC 01-3	23	49,3	26,51	3,17	3767,8	44,84	710,45	6,31	LGB	
4	040146556220190801-ETC 01-4	23	49,3	26,04	3,17	3679,44	44,57	889,43	5,01	LGT	
5	040146556220190801-ETC 01-5	23	49,3	25,88	3,02	4054,96	51,88	764,87	6,78	LGB	
6	040146556220190801-ETC 01-6	23	49,3	25,71	2,91	3846,69	51,42	916,49	5,61	LGB	
				Promedio $\bar{X}$		4107,817	52,256	784,644	6,734		
				Desviación estándar $S_{n-1}$		718,62	11,88	119,29	1,47		
				Coeficiente de variación CV		17,494	22,729	15,203	21,807		

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor						
7	040146556220190801-ETC 02-1	21,7	52,7	25,22	3,17	8799,43	110,07	1540,53	7,14	LGB	
8	040146556220190801-ETC 02-2	21,7	52,7	25,57	3,11	5000,07	62,88	989,93	6,35	LGT	
9	040146556220190801-ETC 02-3	21,7	52,7	26,06	3,81	5410,3	54,49	840,31	6,48	LAB	
10	040146556220190801-ETC 02-4	21,7	52,7	25,64	3,43	4523,57	51,44	905,44	5,68	LAB	
11	040146556220190801-ETC 02-5	21,7	52,7	25,4	3,39	4703,44	54,62	836,41	6,53	LGM	
12	040146556220190801-ETC 02-6	21,7	52,7	24,11	3,48	4086,52	48,71	811,55	6,00	LGT	
				Promedio $\bar{X}$		5420,555	63,700	987,596	6,365		
				Desviación estándar $S_{n-1}$		1714,19	23,21	278,56	0,50		
				Coeficiente de variación CV		31,624	36,432	28,212	7,854		

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
13	040146556220190801-ETC 03-1	21,2	50,8	24,76	2,64	1754,52	26,84	459,01	5,85	LGB
14	040146556220190801-ETC 03-2	21,2	50,8	25,08	3,18	2013,28	25,24	508,07	4,97	LGM
15	040146556220190801-ETC 03-3	21,2	50,8	24,35	2,97	1718,23	23,76	592,60	4,01	LAB
16	040146556220190801-ETC 03-4	21,2	50,8	25,13	2,98	1849,19	24,69	445,78	5,54	LGM
17	040146556220190801-ETC 03-5	21,2	50,8	24,77	3,23	2256,26	28,20	595,92	4,73	LGT
18	040146556220190801-ETC 03-6	21,2	50,8	24,82	3,15	1282,76	16,41	275,61	5,95	LAB
				Promedio $\bar{X}$		1812,373	24,191	479,499	5,175	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		326,02	4,13	118,57	0,75	
				Coeficiente de variación CV		17,989	17,068	24,727	14,430	

Prob eta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
				Ancho	Espesor					
19	040146556220190801-ETC 04-1	22	49,7	24,35	3,09	1893,37	25,16	490,30	5,13	LGT
20	040146556220190801-ETC 04-2	22	49,7	25,75	3,37	2091,75	24,13	436,31	5,53	LAB
21	040146556220190801-ETC 04-3	22	49,7	24,65	3,02	1940,7	26,07	523,41	4,98	LGT
22	040146556220190801-ETC 04-4	22	49,7	26,54	3,38	2163,55	26,35	452,71	5,82	LGT
23	040146556220190801-ETC 04-5	22	49,7	25,88	3,2	1599,9	19,12	391,57	4,90	LAB
24	040146556220190801-ETC 04-6	22	49,7	24,17	3,01	1909,15	26,24	521,15	5,04	LGM
				Promedio $\bar{X}$		1966,737	24,545	469,742	5,232	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		252,01	2,70	51,00	0,36	
				Coeficiente de variación CV		12,813	10,981	10,857	6,939	



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Nomenclatura:**

**De tipo de falla evaluados:** El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Arca de la falla	Tercer carácter	Localización de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
G	Agarre	I	Dentro del agarre	U	Desconocido
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

Código: RG-RM-004  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 21-06-2017  
Revisión: 7

INFORME DE ENSAYO DE TRACCIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 5 de 5



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

<b>Informe N°:</b> 040146556220190801-ETC
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>
<b>Empresa / Cliente:</b> Lemín Stalin Ponce Tobar
<b>Dirección:</b> Ibarra, Hugo Guzmán y Albuja Galindo
<b>Núm. de cédula / RUC:</b> 0401465562
<b>E-mail:</b> stalin0298@hotmail.com
<b>Teléfono:</b> 0997561492

**DATOS INFORMATIVOS**

<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales
<b>Designación del material:</b> Resina epóxica y fibra de cabuya y fibra de cañaya; resina epóxica y fibra de caña de azúcar.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D3039-2015 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de Polímeros de matriz de material compuesto.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	040146556220190801-ETC 01-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
2	040146556220190801-ETC 01-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
3	040146556220190801-ETC 01-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
4	040146556220190801-ETC 01-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
5	040146556220190801-ETC 01-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
6	040146556220190801-ETC 01-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
	040146556220190801-ETC 02-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 3



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrasco



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

040146556220190801-ETC 02-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 02-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 02-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 02-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 02-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 03-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 03-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 03-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 03-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 03-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 03-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 04-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 04-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 04-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 04-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 04-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 04-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
040146556220190801-ETC 04-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	

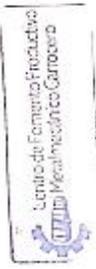
Página 3 de 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: ICI-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última actualización: 17-01-2017  
Revisión: 3



Todas las muestras del grupo por acuerdo, son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 06/14/2016-2 <b>Cliente</b>	

Código: EG-KM-003  
 Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
 Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
 Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 3 de 3

## ANEXO V

### Resultados del ensayo destructivo a flexión del material compuesto



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

#### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

<b>Informe N°:</b> 040146556220190801-EFC	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Lenin Stalin Ponce Tobar	
<b>Dirección:</b> Ibarra, Hugo Guzmán y Albuja Galindo	
<b>Núm. de cédula / RUC:</b> 0401465562	<b>Teléfono:</b> 0997561492
<b>E-mail:</b> stalin0298@hotmail.com	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales
<b>Designación del material:</b> Resina epóxica y fibra de cabuya; resina epóxica y fibra de caña de azúcar.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D7264-2015 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de Polímeros de matriz de material compuesto.

#### Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Fracción volumétrica	Denominación	Probetas a Ensayar
1	040146556220190801-EFC 01	25 % DE FIBRA DE CABUYA 75% DE RESINA EPÓXICA	F-C25-R75	6
2	040146556220190801-EFC 02	40 % DE FIBRA DE CABUYA 60% DE RESINA EPÓXICA	F-C40-R60	6
3	040146556220190801-EFC 03	25 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 75% DE RESINA EPÓXICA	F-CN25-R75	6
4	040146556220190801-EFC 04	40 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 60% DE RESINA EPÓXICA	F-CN40-R60	6
<b>Total</b>				<b>24</b>

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

Código: RG-RM-001  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 02-02-2018  
Revisión: 3

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Página 1 de 2



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

ENSAYO SOLICITADO			
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	040146556220190801-EFC 01-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
2	040146556220190801-EFC 01-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
3	040146556220190801-EFC 01-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
4	040146556220190801-EFC 01-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
5	040146556220190801-EFC 01-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
6	040146556220190801-EFC 01-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
7	040146556220190801-EFC 02-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
8	040146556220190801-EFC 02-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
9	040146556220190801-EFC 02-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
10	040146556220190801-EFC 02-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
11	040146556220190801-EFC 02-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
12	040146556220190801-EFC 02-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
13	040146556220190801-EFC 03-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
14	040146556220190801-EFC 03-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
15	040146556220190801-EFC 03-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
16	040146556220190801-EFC 03-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
17	040146556220190801-EFC 03-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
18	040146556220190801-EFC 03-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
19	040146556220190801-EFC 04-1	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
20	040146556220190801-EFC 04-2	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
21	040146556220190801-EFC 04-3	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
22	040146556220190801-EFC 04-4	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
23	040146556220190801-EFC 04-5	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01
24	040146556220190801-EFC 04-6	Cumple con los criterios dimensionales	2019/08/01

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

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

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 0401465562 <b>Cliente</b>	

Código: RG-RM-001  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 02-02-2018  
Revisión: 3

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Página 2 de 2



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 040146556220190801-EFC**

**DATOS GENERALES**

**DATOS INFORMATIVOS:**

N° de proforma: RM\_2019\_035

Empresa / Cliente: Sr. Lenin Stalin Ponce Tobar

RUC/C.I.: 0401465562

Ciudad: Ibarra

Dirección: Hugo Gusmán y Albuja Gafindo.

Teléfono: 0997561492

Correo: stalin0298@hotmail.com

**DATOS DEL ENSAYO:**

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

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

Método de ensayo: ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

Tipo de ensayo: Cuantitativo

Procedimiento: A

Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 50 KN

Modelo: MTE 50.

Serie: 8210M002

Velocidad de ensayo: 10 mm/min, Precarga: 0,01 N Distancia entre apoyos: 128 mm

Fecha de Inicio de Ensayo: 2019/08/05 Fecha de Finalización de Ensayo: 2019/08/06

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de resina epóxica y fibra de cabuya; resina epóxica y fibra de caña de azúcar. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

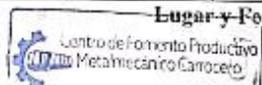
N°	Identificación del grupo	Fración volumétrica	Orientación	Probetas a Ensayar
1	040146556220190801-EFC 01	25 % DE FIBRA DE CABUYA 75% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6
2	040146556220190801-EFC 02	40 % DE FIBRA DE CABUYA 60% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6

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

Observaciones: Ninguna.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Esteban López Espinel MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Lugar y Fecha de emisión de Informe:** Ambato, 12 de agosto de 2019  
**N° Factura:** 001-002-000007573



Código: RG-RM-005  
 Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
 Fecha de última aprobación: 14-04-2018  
 Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN  
 MATERIALES COMPUESTOS

Página 1 de 5



3	040146556220190801-EFC 03	25 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 75% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6
4	040146556220190801-EFC 04	40 % DE FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR 60% DE RESINA EPÓXICA	90°- 0°- 90°	6
			<b>Total</b>	<b>24</b>

Código: RG-RM-005  
 Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
 Fecha de última aprobación: 18- 04 -2018  
 Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN  
 MATERIALES COMPUESTOS

Página 2 de 5



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroceros



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Resultados:**

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
1	040146556220190801-EFC-01-1	19,5	53,2	12,45	3,63	91,51	21,34	107,10	3775,33	2,84	OAT	
2	040146556220190801-EFC-01-2	19,5	53,2	13,5	3,83	123,07	19,01	119,32	4475,17	2,67	OAT	
3	040146556220190801-EFC-01-3	19,5	53,2	13,77	3,67	97,82	21,63	101,27	3483,44	2,91	OAT	
4	040146556220190801-EFC-01-4	19,5	53,2	12,9	3,63	121,49	18,58	137,23	5555,91	2,47	OAT	
5	040146556220190801-EFC-01-5	19,5	53,2	13,63	3,57	110,45	19,01	122,08	4911,94	2,49	OAT	
6	040146556220190801-EFC-01-6	19,5	53,2	13,03	3,57	108,87	20,4	125,87	4719,53	2,67	OAT	
				Promedio $\bar{X}$		108,868	20,00	118,81	4486,89		2,67	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		12,34	1,31	13,00	760,39		0,18	
				Coeficiente de variación $CV$		11,523	6,55	10,34	16,95		6,66	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
7	040146556220190801-EFC-02-1	20,5	52,8	12,61	3,21	67,84	16,55	100,24	5152,61	1,95	OAT	
8	040146556220190801-EFC-02-2	20,5	52,8	13,19	3,69	121,49	18,68	129,88	5145,29	2,52	OAT	
9	040146556220190801-EFC-02-3	20,5	52,8	12,85	3,47	89,93	18,16	111,59	4835,79	2,31	OAT	
10	040146556220190801-EFC-02-4	20,5	52,8	13,45	3,65	132,53	20,5	142,01	5182,38	2,74	OAT	
11	040146556220190801-EFC-02-5	20,5	52,8	12,37	3,55	93,09	17,33	114,65	5088,85	2,25	OAT	
12	040146556220190801-EFC-02-6	20,5	52,8	12,3	3,66	97,82	19,08	113,99	4457,29	2,56	OBT	
				Promedio $\bar{X}$		100,450	18,38	118,73	4977,03		2,39	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		23,27	1,38	14,82	284,22		0,28	
				Coeficiente de variación $CV$		23,164	7,53	12,48	5,71		11,72	

Código: RG-RM-005  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 18-04-2018  
Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 3 de 5

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
13	040146556220190801-EFC 03-1	21,2	53,4	13,2	2,92	28,4	17,03	48,45	2660,43	1,82	OAT	
14	040146556220190801-EFC 03-2	21,2	53,4	13,17	3,04	26,82	11,47	42,31	3313,28	1,28	OAT	
15	040146556220190801-EFC 03-3	21,2	53,4	13,31	3,26	34,71	21,78	47,11	1811,91	2,60	OAT	
16	040146556220190801-EFC 03-4	21,2	53,4	13,79	3,09	31,56	17,36	46,02	2342,70	1,96	OAT	
17	040146556220190801-EFC 03-5	21,2	53,4	12,68	3,27	28,4	16,71	40,22	2009,78	2,00	OAT	
18	040146556220190801-EFC 03-6	21,2	53,4	12,14	3,22	33,13	22,42	50,53	1911,48	2,64	OAT	
				Promedio $\bar{X}$		30,503	17,80	45,77	2341,60		2,05	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		3,10	3,98	3,86	569,47		0,51	
				Coeficiente de variación $CV$		10,171	22,37	8,44	24,32		25,00	

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	Deformación máxima (%) (Calculado)	Tipo de falla evaluado	
				Ancho	Espesor							
19	040146556220190801-EFC 04-1			11,55	2,83	15,78	12,91	32,75	2447,99	1,34	OAT	
20	040146556220190801-EFC 04-2			12,73	3,3	44,18	17,44	61,19	2903,21	2,11	OAT	
21	040146556220190801-EFC 04-3			12,45	3,05	26,82	17,36	44,46	2293,03	1,94	OAT	
22	040146556220190801-EFC 04-4			12,07	2,39	22,09	23,68	61,52	2968,13	2,07	OAT	
23	040146556220190801-EFC 04-5			12,17	2,56	18,93	16,17	45,57	3006,08	1,52	OAT	
24	040146556220190801-EFC 04-6			12,48	3,07	34,71	19,18	56,66	2627,52	2,16	OAT	
				Promedio $\bar{X}$		27,085	17,79	50,36	2707,66		1,85	
				Desviación estándar $S_{n-1}$		10,67	3,56	11,39	296,95		0,34	
				Coeficiente de variación $CV$		39,410	20,01	22,63	10,97		18,54	



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Camocero



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 D7264-2015,

Primer carácter	Segundo carácter	Área de falla	Tercer carácter	Ubicación de falla
O	A	En el punto de carga	B	Fondo
	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
	U	No conocido	R	Derecha
			M	Medio
			U	Desconocido
			L	Izquierda
			T	Parte superior

Código: ICG-PM-005  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 18-04-2018  
Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXIÓN MATERIALES COMPUESTOS

Página 5 de 5



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrasco



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

<b>Informe N°:</b> 040146556220190801-EFC	
<b>DATOS DEL CLIENTE:</b>	
Empresa / Cliente: Lenin Stalin Ponce Tobar	
Dirección: Ibarra, Hugo Guzmán y Alhuja Galindo	
Núm. de cédula / RUC: 0401465562	Teléfono: 0997561492
E-mail: stalin0298@hotmail.com	

**DATOS INFORMATIVOS**

<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Resina epóxica y fibra de cabuya; resina epóxica y fibra de caña de azúcar.
<b>Método de ensayo:</b> ASTM D 7264-2015 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de Polímeros de matriz de material compuesto.

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	040146556220190801-EFC 01-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
2	040146556220190801-EFC 01-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
3	040146556220190801-EFC 01-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
4	040146556220190801-EFC 01-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
5	040146556220190801-EFC 01-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
6	040146556220190801-EFC 01-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
7	040146556220190801-EFC 02-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RC 904-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3

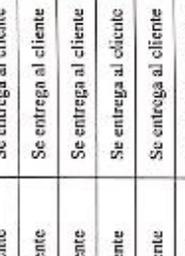
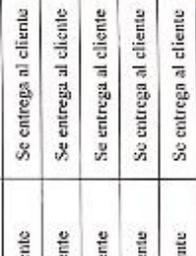
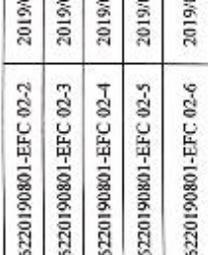
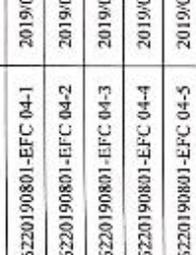
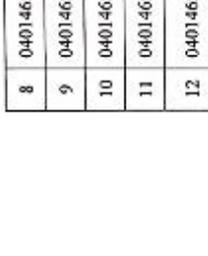
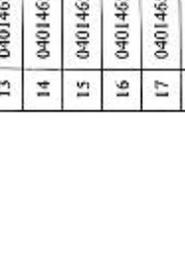
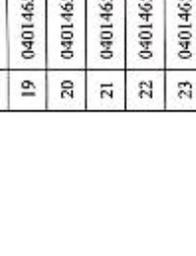
HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 1 de 3



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroceros



8	040146556220190801-EFC 02-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
9	040146556220190801-EFC 02-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
10	040146556220190801-EFC 02-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
11	040146556220190801-EFC 02-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
12	040146556220190801-EFC 02-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
13	040146556220190801-EFC 03-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
14	040146556220190801-EFC 03-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
15	040146556220190801-EFC 03-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
16	040146556220190801-EFC 03-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
17	040146556220190801-EFC 03-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
18	040146556220190801-EFC 03-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
19	040146556220190801-EFC 04-1	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
20	040146556220190801-EFC 04-2	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
21	040146556220190801-EFC 04-3	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
22	040146556220190801-EFC 04-4	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
23	040146556220190801-EFC 04-5	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	
24	040146556220190801-EFC 04-6	2019/08/01	2019/08/12	Cliente	Se entrega al cliente	

Página 2 de 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Código: RG-RM-003  
Fecha de elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrasco



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

Todas las muestras del grupo por acuerdo, son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
000146516-2	
Cliente	

Código: RG-204-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Página 3 de 3

## ANEXO VI

### Resultados del ensayo destructivo a impacto del material compuesto



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



#### INFORME TÉCNICO Lb1-0001-2019

##### **Objetivo**

Establecer y mantener un método para evaluar la energía media de impacto en polímeros.

##### **Alcance**

Determinación de energía necesaria para el fallo de polímeros por impacto de dardo según las especificaciones señaladas en la norma ASTM D 5628

##### **ANTECEDENTES:**

Con fecha 18 de septiembre de 2019, el Sr Lenin Stalin Ponce Tobar domiciliado en la ciudad de Ibarra, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para medir la energía media de impacto de muestras de material compuesto.

Se reciben 24 muestras o probetas, en cuatro grupos bajo las designaciones: I-C40-R60, I-C25-R75, I-CN 25, I-CN 60 en grupos de 6 probetas cada uno. De dimensiones de 58x58 mm. Los grupos I-C40-R60 e I-C25-R75 presentan superficies lisas, mientras que los grupos I-CN 25 e I-CN 60 presentan una textura debido a la disposición de las fibras.



**PROCESO GENERAL:**

- Determinación de número de especímenes para cada muestra
- Mantener hermetizadas las muestras hasta el ensayo y marcarlas para su identificación.
- Preparación de máquina de ensayo para la geometría preestablecida (FA,FB,FC,FD,FE) en este caso para el tipo FE dadas las dimensiones de la probeta.

Geometría	Diámetro de la Probeta mm	Probeta Cuadrada mm
FA	89	89
FB	51	51
FC	140	140
FD	89	89
FE	58	58

- Medición y registro del espesor de cada muestra, el cual se muestra en los resultados del ensayo.
- Realizar la prueba de impacto con probetas de calibración, fuera de los grupos mostrados anteriormente y localizamos el rango de falla del material.
- Se colocan las mordazas utilizando una fuerza que permita la inmovilidad de la probeta al momento del impacto.



- Colocar la masa a la altura preestablecida, según el método de prueba seleccionado.



- Se libera el dardo asegurándonos que golpee justo en el centro de la muestra, impidiendo cualquier rebote del dardo.
- Retirar la muestra y revisar si ha fallado o no. Considerando que una falla es cualquier grieta o ruptura generado por el impacto el cual pueda ser distinguido por el ojo humano bajo luz normal en condiciones normales.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
Centro de Transferencia y Tecnología								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS								
DATOS INFORMATIVOS:								
<b>Fecha:</b>	18/09/2019	<b>Ciudad:</b>	Ambato					
<b>Lugar:</b>	Laboratorios de Materiales		<b>Campus Huachi</b>					
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto							
<b>Realizado por:</b>	Gustavo Pomaquero	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas					
<b>Tipo de material:</b>							<b>Orden: 308</b>	
PARÁMETROS DE ENSAYO								
<b>Tipo de Medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Norma:</b>	ASTM D5628					
<b>Dimensiones (mm):</b>	58mm x 58mm	<b>Nº de probetas:</b>	24					
RESUMEN DE RESULTADOS								
	Probetas	Ancho (mm)	Largo (mm)	Espesor (mm)	Masa aplicada (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio
<b>I-C40-R60</b>	PROBETA 1	56.97	58.18	3.70	0.223	300	0.66	No falla
	PROBETA 2	58.03	58.17	3.76	0.223	400	0.88	No falla
	PROBETA 3	57.88	58.76	3.57	0.223	500	1.09	No falla
	PROBETA 4	58.12	58.10	2.78	0.223	600	1.31	No falla
	<b>PROBETA 5</b>	<b>58.14</b>	<b>58.33</b>	<b>3.84</b>	<b>0.223</b>	<b>700</b>	<b>1.53</b>	<b>Falla</b>
	PROBETA 6	57.89	57.65	3.69	0.223	800	1.75	Falla
<b>I-C25-R75</b>	PROBETA 1	58.17	57.93	3.87	0.223	300	0.66	No falla
	PROBETA 2	57.56	58.12	3.6	0.223	400	0.88	No falla
	PROBETA 3	58.11	57.94	3.11	0.223	500	1.09	No falla
	PROBETA 4	58.61	58.43	3.91	0.223	600	1.31	No falla
	PROBETA 5	58.14	58.17	3.53	0.223	700	1.53	No falla
	<b>PROBETA 6</b>	<b>58.31</b>	<b>58.29</b>	<b>3.89</b>	<b>0.223</b>	<b>800</b>	<b>1.75</b>	<b>Falla</b>
<b>I-CN 25</b>	PROBETA 1	58.61	58.03	3.22	0.223	150	0.33	No falla
	PROBETA 2	58.25	58.99	3.12	0.223	200	0.44	No falla
	PROBETA 3	58.63	58.35	2.48	0.223	250	0.55	No falla
	PROBETA 4	58.18	58.17	3.26	0.223	300	0.66	No falla
	PROBETA 5	57.75	58.46	2.96	0.223	350	0.77	No falla
	<b>PROBETA 6</b>	<b>58.09</b>	<b>58.23</b>	<b>3.15</b>	<b>0.223</b>	<b>400</b>	<b>0.88</b>	<b>Falla</b>

I-CN 60	PROBETA 1	58.42	58.44	3.13	0,223	300	0,66	No falla
	PROBETA 2	58.83	59.47	3.99	0,223	400	0,88	No falla
	PROBETA 3	58.33	57.95	3.54	0,223	500	1,09	No falla
	PROBETA 4	58.23	58.04	3.03	0,223	600	1,31	No falla
	PROBETA 5	58.11	58.27	2.87	0,223	700	1,53	Falla
	PROBETA 6	58.18	58.39	2.96	0,223	800	1,75	Falla

### Conclusión

Para las probetas tipo I-C40-R60, I-C25-R75, I-CN 25, I-CN 60 tienen una energía de fallo de 1.53 J, 1.75 J, 0.88 J y 1.53 J respectivamente con el método de prueba E, los cuales fueron realizados con el dardo de 0,223 Kg según lo especificado por la normativa ASTM D5628-10.



Ing. Gustavo Pomaquero  
TÉCNICO LABORATORISTA




Ing. Sebastián Villegas  
TÉCNICO DE LABORATORIO




Ing. Santiago Medina  
COORDINADOR DE CTT



**ANEXO VII**  
**Resultados del ensayo fractográfico del material compuesto**



INFORME DE INGENIERÍA MECÁNICA Y MECÁNICA DE MATERIALES PARA LA INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - IIA



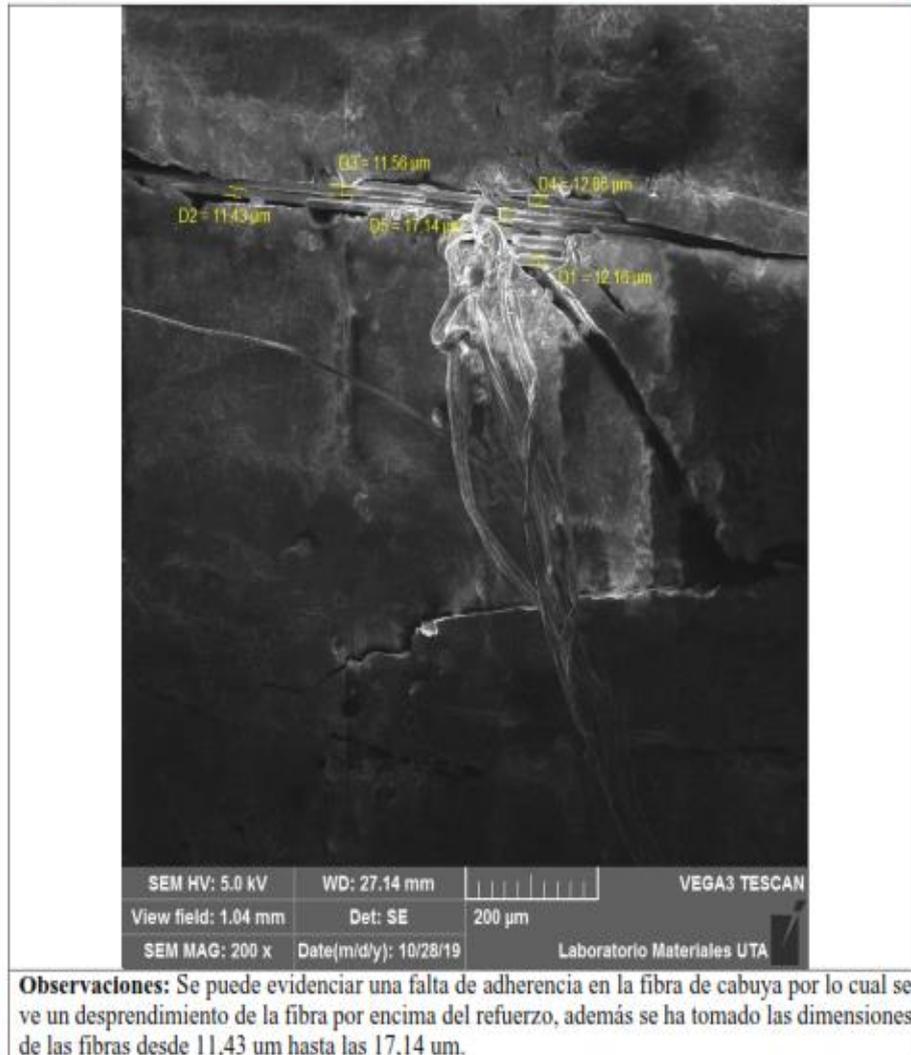
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**INGENIERÍA MECÁNICA**

**INFORME DE ANÁLISIS SEM**

OCTUBRE DE 2019  
AMBATO – ECUADOR

ORDEN 333



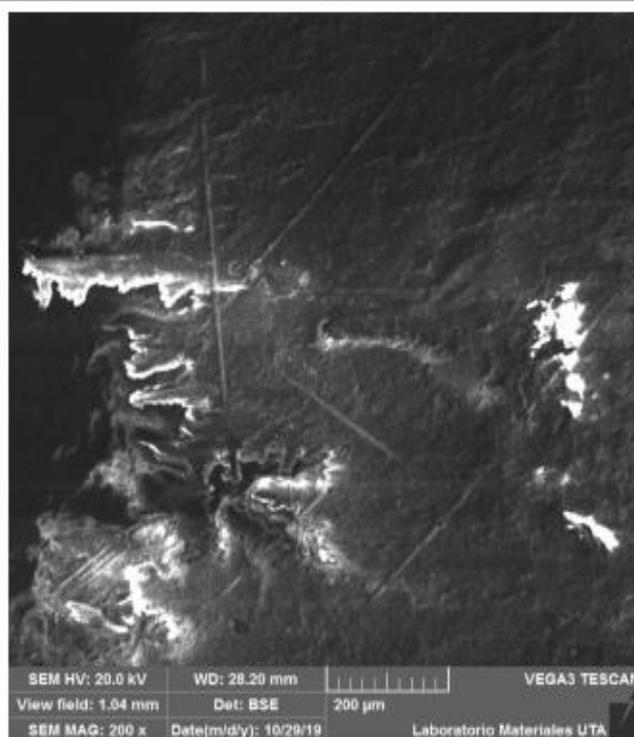


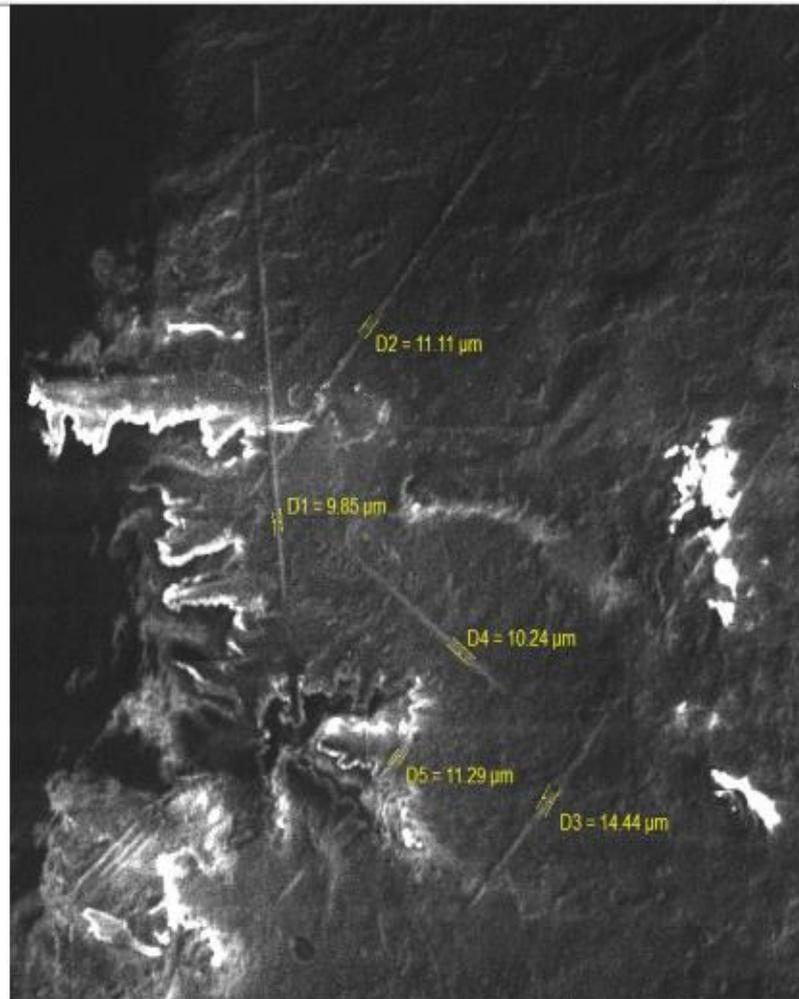
### LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA REPORTE DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

#### DATOS INFORMATIVOS

Usuario: Lenin Stalin Ponce Tobar			
RUC/CI: 0401465562		Dirección: Ibarra	
Teléfono: 0997561492			
Tipo de estudio: Experimental			
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato			
Fecha de Ejecución: 2019-10-28			
Fecha de Finalización: 2019-10-28			
Tipo de ensayo: Cualitativo			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero.	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas.
Parámetros del Experimento			
<b>Material:</b>	Resina Epoxi 75%+Refuerzo cabuya 25%	<b>Tipo de análisis:</b>	Fractográfico
<b>Altura (mm):</b>	800	<b>Probeta:</b>	2
<b>Energía de Impacto (J):</b>	1.75	<b>Orden:</b>	

#### Análisis Superficial 2





SEM HV: 20.0 kV	WD: 28.20 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 1.04 mm	Det: BSE	200 μm
SEM MAG: 200 x	Date(m/d/y): 10/29/19	Laboratorio Materiales UTA

**Observaciones:** Se puede observar en este caso una fractura únicamente en la zona de refuerzo epoxico con una morfología fibrosa, se ha tomado las dimensiones de las fibras de cabuya que varian desde 9,85 um hasta 14,44 um.

### LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA REPORTE DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

#### DATOS INFORMATIVOS

Usuario: Lenin Stalin Ponce Tobar

RUC/CI: 0401465562

Dirección: Ibarra

Teléfono: 0997561492

Tipo de estudio: Experimental

Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato

Fecha de Ejecución: 2019-10-28

Fecha de Finalización: 2019-10-28

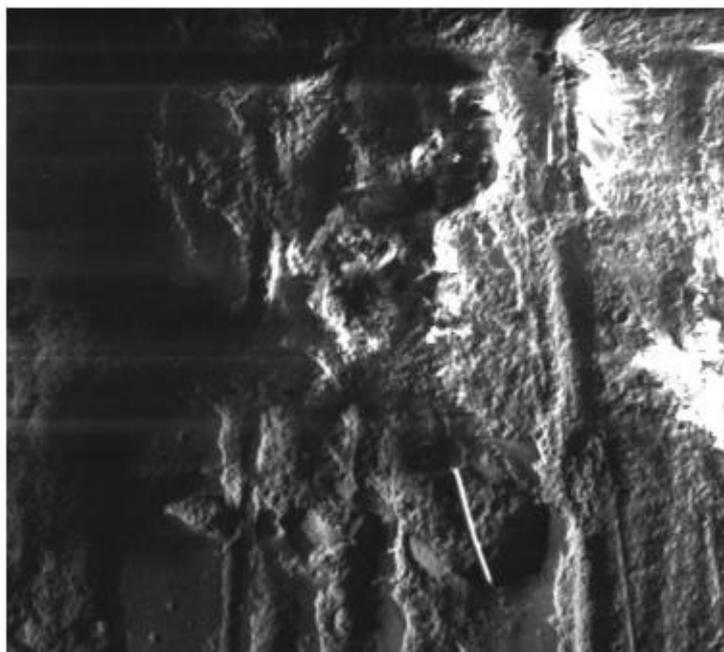
Tipo de ensayo: Cualitativo

<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero.	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas.
-----------------------	-------------------------	----------------------	--------------------------

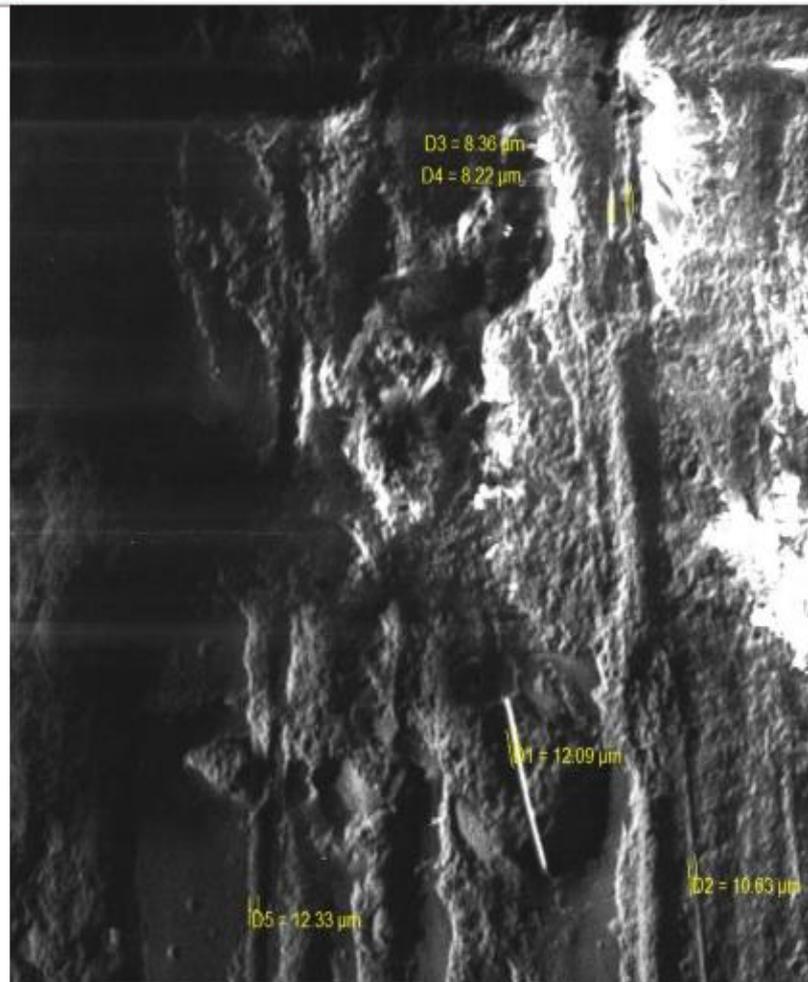
#### Parámetros del Experimento

<b>Material:</b>	Resina Epoxi 75%+Caña de Azúcar 25%	<b>Tipo de análisis:</b>	Fractográfico
<b>Altura (mm):</b>	400	<b>Probeta:</b>	3
<b>Energía de Impacto (J):</b>	0.88	<b>Orden:</b>	

#### Análisis Superficial 3



SEM HV: 20.0 kV	WD: 28.67 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 1.05 mm	Det: BSE	200 µm
SEM MAG: 197 x	Date(m/d/y): 10/29/19	Laboratorio Materiales UTA



SEM HV: 20.0 kV	WD: 28.67 mm	VEGA3 TESCAN
View field: 1.05 mm	Det: BSE	200 μm
SEM MAG: 197 x	Date(m/d/y): 10/29/19	Laboratorio Materiales UTA

**Observaciones:** La fractura en este caso se presenta consistencia en las fibras, sin embargo, la superficie del refuerzo epóxico presenta desprendimiento debido al impacto dejando a la intemperie la fibra de caña de azúcar. Las dimensiones de las fibras varían de 8.22 μm hasta 12.33 μm.

### LABORATORIO DE MATERIALES FICM-UTA REPORTE DE EVALUACIÓN SUPERFICIAL

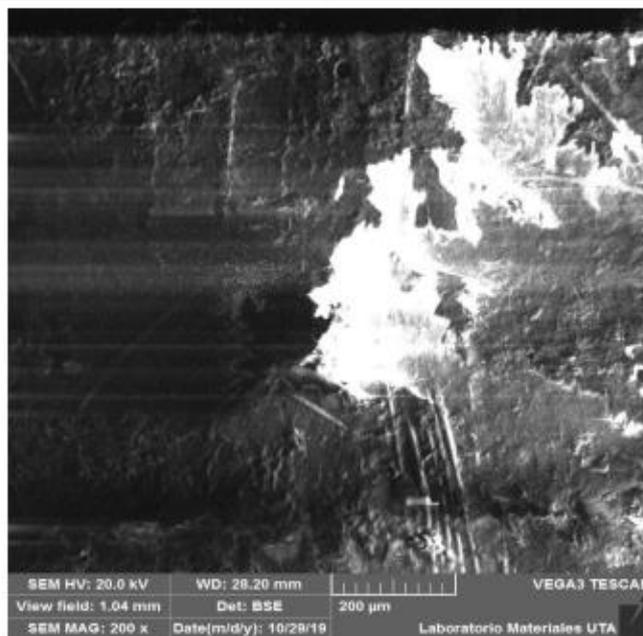
#### DATOS INFORMATIVOS

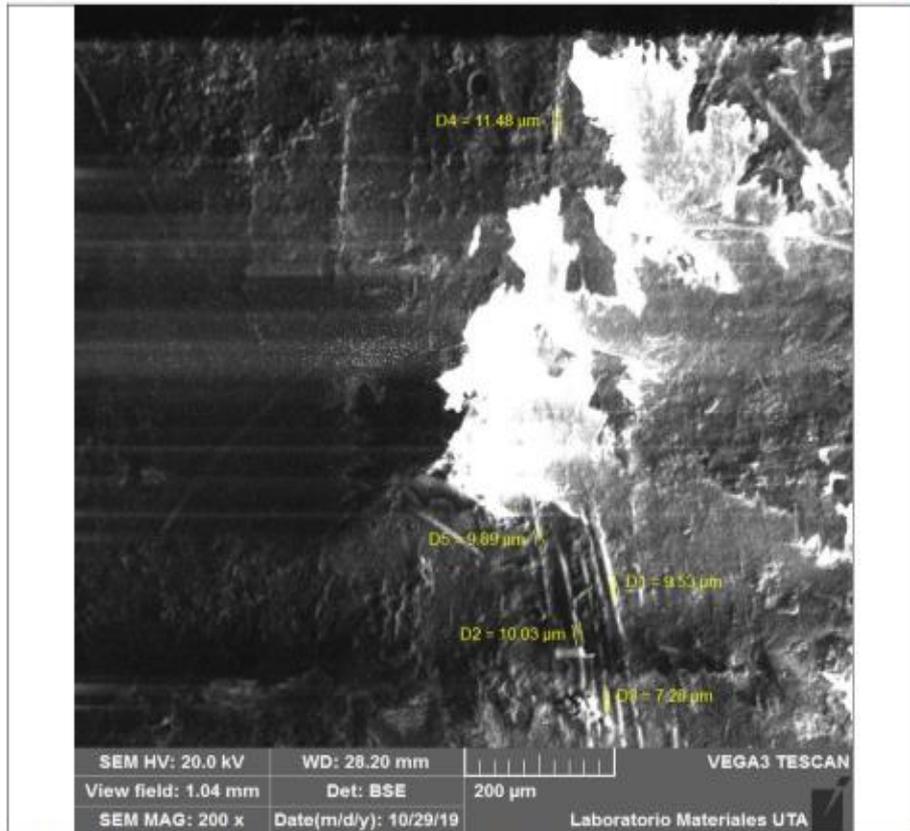
Usuario: Lenin Stalin Ponce Tobar		Dirección: Ibarra	
RUC/CI: 0401465562			
Teléfono: 0997561492			
Tipo de estudio: Experimental			
Lugar de Ejecución: Universidad Técnica de Ambato			
Fecha de Ejecución: 2019-10-28			
Fecha de Finalización: 2019-10-28			
Tipo de ensayo: Cualitativo			
<b>Realizado por:</b>	Ing. Gustavo Pomaquero.	<b>Revisado por:</b>	Ing. Sebastián Villegas.

#### Parámetros del Experimento

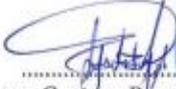
<b>Material:</b>	Resina Epoxi 60%+Refuerzo caña de Azúcar 40%	<b>Tipo de análisis:</b>	Fractográfico
<b>Altura (mm):</b>	700	<b>Probeta:</b>	4
<b>Energía de Impacto (J):</b>	1.53	<b>Orden:</b>	

#### Análisis Superficial 4





**Observaciones:** Se presenta para este caso una morfología del refuerzo fibroso con desprendimiento pero con una consistencia en las fibras de caña de azúcar, las zonas marcadas en blanco representan el material desprendido de la probeta, la variación dimensional de las fibras va de 7.28 um hasta 11.48 um.

  
 Ing. Gustavo Pomaquero  
 TÉCNICO LABORATORISTA  
 U.T.A.

  
 Ing. Sebastian Villegas  
 TÉCNICO DE LABORATORIO  
 U.T.A.

  
 Ing. Santiago Medina  
 COORDINADOR DE CTT  
 FICM  
 CENTRO DE TRANSFERENCIA Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS  
 U.T.A.