



# **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  
INGENIERIA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TEMA: UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA PARA REFORZAR  
UNA MATRIZ POLIMÉRICA Y CONSEGUIR UN MATERIAL  
COMPUESTO PARA USO AUTOMOTRIZ.**

**AUTORES: POZO MARTINEZ WILLIAM PATRICIO  
VALENCIA CUAICAL BRYAN VINICIO**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO SEGOVIA TROYA MSc.**

**Ibarra, 2020**

## **CERTIFICADO**

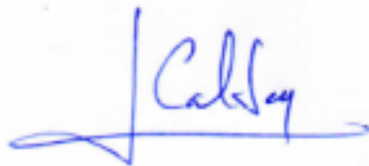
### **ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR**

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 "Utilización de la fibra de cabuya para reforzar una matriz polimérica y conseguir un material compuesto para uso automotriz", presentado por: Pozo Martínez William Patricio con el número de cédula 1003694773 y Valencia Cuaical Bryan Vinicio con el número de cédula 0401887831, 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 08 días del mes de octubre del 2020.



Ing. Carlos Segovia 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    |                                     |                 |            |
|----------------------|-------------------------------------|-----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 0401887831                          |                 |            |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Valencia Cuaical Bryan Vinicio      |                 |            |
| DIRECCIÓN:           | El Ángel, Calle Bolívar y Pichincha |                 |            |
| EMAIL:               | bvvalenciac@utn.edu.ec              |                 |            |
| TELÉFONO FIJO:       | 062977932                           | TELÉFONO MÓVIL: | 0993197335 |

|                      |                                      |                 |            |
|----------------------|--------------------------------------|-----------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1003694773                           |                 |            |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Pozo Martínez William Patricio       |                 |            |
| DIRECCIÓN:           | Caranqui, Emperador Cacha y Nazacota |                 |            |
| EMAIL:               | wppozom@utn.edu.ec                   |                 |            |
| TELÉFONO FIJO:       |                                      | TELÉFONO MÓVIL: | 0991507987 |

| DATOS DE LA OBRA            |   |
|-----------------------------|---|
| TÍTULO:                     | UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA PARA REFORZAR UNA MATRIZ POLIMÉRICA Y CONSEGUIR UN MATERIAL COMPUESTO PARA USO AUTOMOTRIZ |
| AUTOR (ES):                 | Valencia Cuaical Bryan Vinicio, Pozo Martínez William Patricio  |
| FECHA:                      | 08/10/2020  |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO |   |
| PROGRAMA:                   | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO  |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA:     | INGENIERÍA EN MATENIMIENTO AUTOMOTRIZ   |
| ASESOR /DIRECTOR:           | <br>Ing. Carlos Segovia Msc.            |

## 2. CONSTANCIAS

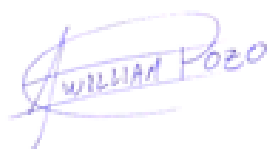
El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido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

Ibarra, a los 08 días del mes de octubre del 2020.

### AUTORES:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Valencia Cuaical Bryan Vinicio'.

Valencia Cuaical Bryan Vinicio  
04018878321

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'William Patricio Pozo Martínez'.

Pozo Martínez William Patricio  
1003694773

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mis padres Jorge Valencia y Yhadira Cuaical quienes siempre me han acompañado y brindando su apoyo incondicional con amor, fe, humildad y sobre todo esfuerzo, permitiéndome ser una buena persona hacia la sociedad capaz de enfrentar cualquier problema que se me presenta en la vida diaria y profesional.

A mi hermano Yhordy Valencia quien me ha estado brindando su apoyo durante toda mi vida dándome fuerzas, esperanzas para seguir adelante y así poder cumplir todas mis metas.

A toda mi familia y amigos quienes me han brindado su amistad y apoyo en el transcurso de mi vida profesional, por ello se les agradece por haber confiado en mí y estoy seguro que no los defraudare.

**BRYAN VALENCIA**

El presente trabajo de investigación lo dedico a Dios quien con su infinita misericordia ha permitido que pueda llegar a culminar mis estudios.

A mi madre Isaura Pozo Martínez fuente de mi motivación que con infinito amor y sabiduría ha sabido guiar mi vida por el sendero correcto, por educarme con humildad y respeto, con su esfuerzo perseverante ha permitido que pueda llegar a estas instancias de mi vida de igual manera a mi tío Gabriel Pozo que ha sido como un padre, gracias por estar siempre junto a mi brindándome su apoyo.

A Erika por apoyarme con sus palabras de aliento en cada decisión que tomara por su paciencia, amor y entrega para conmigo y a mi amado hijo Mathias que es el motor de inspiración para seguir superándome días tras día.

A mis hermanos Miriam, Guadalupe, José y Luis por todo su apoyo incondicional; gracias a todos por sus consejos que me llevan admirarlos cada día más, por ser mi ejemplo de fortaleza y dedicación.

**WILLIAM POZO**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por haberme dado salud, sabiduría y fortaleza guiando mi destino de manera correcta dándome fuerzas para luchar diariamente, de igual manera a mis padres quienes me han educado con buenos principios y valores para ser una buena persona ante la sociedad.

Agradezco sinceramente a la Universidad Técnica del Norte, institución quien me inculcado valores y conocimientos mejorando mi vida personal y profesional.

Mi agradecimiento a los docentes de la carrera de ingeniería en mantenimiento automotriz, especialmente al Ing. Carlos Segovia, Msc. Director de la tesis quien supo guiarme de la manera precisa durante la ejecución del trabajo de grado brindando sus consejos y sobre todo su tiempo teniendo como resultado un buen proyecto, de igual manera a mis dos asesores Ing. Rommel Imbaquingo, Msc. y al PhD. Fernando Ramírez quienes me ha prestado su tiempo y atención en la revisión de mi trabajo de grado.

**BRYAN VALENCIA**

A la Universidad Técnica del Norte quien me ha inculcado los mejores valores éticos y a los Ingenieros que son parte de la Carrera de Ingeniería Automotriz quienes me han fortalecido del conocimiento técnico para ser un excelente profesional

Al Ing. Carlos Segovia mi eterna gratitud por ser nuestro tutor de trabajo de grado, gracias por sus conocimientos impartidos en mi formación académica por guiarme en este proceso de investigación para culminar exitosamente.

A toda mi familia que contribuyeron en mi formación profesional, por apoyarme incondicionalmente en todo momento, gracias por su cariño y sobre todo por sus sabios consejos para no declinar y mantenerme firme en esta meta anhelada.

A mi compañero de tesis Bryan Valencia por su amistad sincera y por su apoyo en todo este proceso de investigación.

**WILLIAM POZO**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  | <b>PÁGINA</b> |
|--|---------------|
| <b>RESUMEN</b>   | <b>xv</b>     |
| <b>ABSTRACT</b>  | <b>xvi</b>    |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>  | <b>xvii</b>   |
| <b>CAPÍTULO I</b>  | <b>1</b>      |
| <b>1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b>                              | <b>1</b>      |
| 1.1 Tema   | 1             |
| 1.2 Antecedentes   | 1             |
| 1.3 Situación actual   | 2             |
| 1.4 Prospectiva  | 3             |
| 1.5 Planteamiento del problema                               | 3             |
| 1.6 Objetivos  | 4             |
| 1.6.1 Objetivo general                                       | 4             |
| 1.6.2 Objetivos específicos                                  | 4             |
| 1.7 Alcance  | 5             |
| 1.8 Justificación  | 5             |
| 1.9 Contexto   | 6             |
| <br>   |               |
| <b>CAPÍTULO II</b>   | <b>8</b>      |
| <b>2 MARCO TEÓRICO</b>                                       | <b>8</b>      |
| 2.1 Ingeniería de los materiales                             | 8             |
| 2.2 Materiales compuestos                                    | 8             |
| 2.3 Clasificación de los materiales compuestos               | 9             |
| 2.3.1 Matriz polimérica                                      | 9             |
| 2.3.2 Matriz metálica  | 9             |
| 2.3.3 Matriz cerámica  | 10            |
| 2.4 Componentes del material compuesto                       | 10            |
| 2.4.1 Matriz   | 10            |
| 2.4.2 Material de refuerzo                                   | 10            |
| 2.5 Matrices poliméricas                                     | 11            |
| 2.5.1 Matriz termoplástica                                   | 11            |
| 2.5.2 Matriz termoestable                                    | 12            |
| 2.5.3 Matriz elastomérica                                    | 13            |
| 2.6 Resina poliéster   | 13            |
| 2.6.1 Curado de la resina poliéster                          | 14            |
| 2.7 Tipos de fibras  | 14            |
| 2.7.1 Fibras sintéticas                                      | 14            |
| 2.7.2 Fibras naturales                                       | 15            |
| 2.7.3 Fibras naturales en Ecuador                            | 16            |
| 2.8 Fibras de cabuya   | 17            |
| 2.8.1 Tipos de cabuya  | 17            |
| 2.8.2 Características morfológicas de la fibra de cabuya     | 17            |
| 2.8.3 Propiedades mecánicas y químicas de la fibra de cabuya | 18            |

|                     |  |           |
|---------------------|--|-----------|
| 2.8.4               | Obtención de la fibra de cabuya  | 18        |
| 2.9                 | Refuerzo con fibras  | 19        |
| 2.9.1               | Orientación de las fibras en materiales compuestos                     | 20        |
| 2.9.2               | Influencia de la longitud de la fibra                                  | 20        |
| 2.9.3               | Aplicación de la fibra de cabuya en una matriz polimérica              | 21        |
| 2.10                | Ensayos  | 22        |
| 2.10.1              | Ensayo de flexión  | 23        |
| 2.10.2              | Ensayo de tracción   | 24        |
| 2.10.3              | Ensayo de impacto  | 25        |
| 2.11                | Aplicaciones en la industria automotriz                                | 26        |
| 2.11.1              | Prototipo de un capot a base de fibras orgánicas                       | 26        |
| 2.11.2              | Fabricación de un retrovisor con material compuesto y refuerzo natural | 27        |
| 2.12                | Elaboración de un material compuesto                                   | 28        |
| 2.12.1              | Etapas para la elaboración de un material compuesto                    | 28        |
| 2.12.2              | Plásticos en la industria automotriz                                   | 29        |
| 2.13                | Proceso de fabricación de las partes del vehículo                      | 29        |
| 2.13.1              | Moldes para la fabricación de piezas                                   | 30        |
| 2.13.2              | Tipo de moldes   | 30        |
| 2.13.3              | Proceso de estratificación manual                                      | 31        |
| 2.13.4              | Diseño de piezas de un vehículo  | 31        |
| <b>CAPÍTULO III</b> |  | <b>33</b> |
| <b>3</b>            | <b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>  | <b>33</b> |
| 3.1                 | Materiales   | 33        |
| 3.1.1               | Fibra de cabuya  | 33        |
| 3.1.2               | Resina poliéster   | 33        |
| 3.1.3               | Cera desmoldante   | 33        |
| 3.1.4               | Estireno   | 33        |
| 3.1.5               | Catalizador  | 34        |
| 3.1.6               | Acelerador   | 34        |
| 3.2                 | Diseño de las probetas   | 34        |
| 3.2.1               | Probetas de tracción   | 34        |
| 3.2.2               | Probetas de flexión  | 35        |
| 3.2.3               | Probetas de impacto  | 35        |
| 3.3                 | Cálculos   | 37        |
| 3.3.1               | Cálculos utilizando la fibra suelta                                    | 37        |
| 3.4                 | Obtención de la fibra de cabuya  | 40        |
| 3.4.1               | Fibra de cabuya suelta   | 40        |
| 3.4.2               | Fibra de cabuya entretejida  | 40        |
| 3.5                 | Curado de la resina poliéster  | 41        |
| 3.6                 | Fabricación de las probetas  | 42        |
| 3.6.1               | Elaboración de los planos de los moldes                                | 42        |
| 3.6.2               | Elaboración de los moldes  | 44        |
| 3.6.3               | Aplicación de la cera desmoldante                                      | 45        |
| 3.6.4               | Perforación de los tableros  | 46        |
| 3.6.5               | Composición del material compuesto en los tableros                     | 46        |



|                    |  |           |
|--------------------|--|-----------|
| 3.6.6              | Probetas con fibra de cabuya suelta y resina poliéster                             | 47        |
| 3.6.7              | Probetas con fibra de cabuya tejida y resina poliéster                             | 51        |
| 3.5.8              | Tiempo de curado   | 55        |
| 3.5.9              | Desmolde   | 55        |
| 3.5.10             | Obtención de las probetas  | 56        |
| 3.6                | Caracterización del material compuesto   | 57        |
| 3.6.8              | Ensayo de las probetas de tracción   | 57        |
| 3.6.9              | Ensayo de las probetas de flexión  | 59        |
| 3.6.10             | Ensayo de las probetas de impacto  | 61        |
| 3.7                | Elaboración del prototipo  | 63        |
| 3.7.1              | Cantidad de resina poliéster y fibra de cabuya suelta                              | 63        |
| 3.7.2              | Molde del prototipo guardabarros   | 63        |
| 3.7.3              | Aplicación de la cera desmoldante  | 64        |
| 3.7.4              | Aplicación de la resina poliéster  | 65        |
| 3.7.5              | Aplicación de la fibra de cabuya suelta  | 65        |
| 3.7.6              | Secado de la pieza   | 66        |
| 3.7.7              | Desmolde de la pieza   | 66        |
| 3.7.8              | Pulido de la pieza   | 67        |
| 3.7.9              | Pintado de la pieza  | 67        |
| <b>CAPÍTULO IV</b> |  | <b>69</b> |
| <b>4</b>           | <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>  | <b>69</b> |
| 4.1                | Fichas de recolección de datos   | 69        |
| 4.1.1              | Fichas de las probetas de ensayo a tracción  | 69        |
| 4.1.2              | Fichas de las probetas de ensayo a flexión   | 80        |
| 4.1.3              | Fichas de las probetas de ensayo a impacto   | 88        |
| 4.2                | Análisis de resultados   | 95        |
| 4.2.1              | Resultados de las probetas de tracción   | 95        |
| 4.2.2              | Resultados de las probetas de flexión  | 96        |
| 4.2.3              | Resultados de las probetas de impacto  | 97        |
| 4.3                | Verificación de la hipótesis   | 98        |
| 4.3.1              | Hipótesis nula ( $h_0$ )   | 98        |
| 4.3.2              | Hipótesis alternativa ( $h_a$ )  | 98        |
| 4.3.3              | Planteamiento de la hipótesis  | 98        |
| 4.4                | Análisis del prototipo   | 107       |
| 4.4.1              | Características del material original del guardabarros de la camioneta Mazda BT-50 | 107       |
| 4.4.2              | Análisis de las propiedades mecánicas del guardabarros fabricado con el original   | 108       |
| 4.4.3              | Comparación del guardabarros fabricado con el original en el mercado               | 111       |
| 4.4.4              | Análisis de los parámetros   | 114       |
| 4.4.5              | Puntajes finales   | 124       |
| 4.5                | Análisis de los costos   | 126       |
| 4.5.1              | Costo del prototipo  | 126       |
| 4.5.2              | Costos del proyecto  | 128       |

|  |            |
|--|------------|
| <b>CAPÍTULO V</b>                        | <b>129</b> |
| <b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> | <b>129</b> |
| 5.1 Conclusiones                         | 129        |
| 5.2 Recomendaciones                      | 130        |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>        | <b>131</b> |
| <b>ANEXOS</b>                            | <b>137</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

| TABLA<br>NÚM. | DESCRIPCIÓN   | PÁGINA |
|---------------|---|--------|
| 2.1           | Características y aplicaciones de polímeros termoestables                   | 13     |
| 2.2           | Caracterización de las fibras vegetales                                     | 16     |
| 2.3           | Características morfológicas de la fibra de cabuya                          | 17     |
| 2.4           | Propiedades mecánicas y químicas de la fibra de cabuya                      | 18     |
| 2.5           | Especificaciones de las probetas  | 22     |
| 3.1           | Probetas, fracción volumétrica y orientación de la fibra de cabuya          | 36     |
| 3.2           | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de tracción | 48     |
| 3.3           | Cantidad de fibra suelta y su orientación en probetas de tracción           | 48     |
| 3.4           | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de flexión  | 49     |
| 3.5           | Cantidad de fibra suelta y su orientación en probetas de flexión            | 49     |
| 3.6           | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de impacto  | 50     |
| 3.7           | Cantidad de fibra suelta y su orientación en probetas de impacto            | 50     |
| 3.8           | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de tracción | 52     |
| 3.9           | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de flexión  | 52     |
| 3.10          | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de impacto  | 53     |
| 3.11          | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de tracción | 53     |
| 3.12          | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de flexión  | 54     |
| 3.13          | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de impacto  | 54     |
| 3.14          | Grupos de las probetas  | 57     |
| 3.15          | Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de tracción                      | 59     |
| 3.16          | Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de flexión                       | 61     |
| 3.17          | Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de impacto                       | 62     |
| 3.18          | Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos para el guardabarros    | 63     |
| 3.19          | Cantidad de fibra de cabuya suelta para el guardabarros                     | 63     |
| 4.1           | Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo                           | 69     |
| 4.2           | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas a tracción   | 72     |
| 4.3           | Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo                          | 73     |
| 4.4           | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del segundo grupo de probetas a tracción  | 76     |
| 4.5           | Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo                           | 76     |
| 4.6           | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas a tracción   | 79     |
| 4.7           | Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo                            | 80     |
| 4.8           | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas a flexión    | 83     |
| 4.9           | Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo                           | 83     |
| 4.10          | Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo                            | 85     |
| 4.11          | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas a flexión    | 88     |
| 4.12          | Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo                            | 89     |
| 4.13          | Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo                           | 91     |
| 4.14          | Ficha de los ensayos de impacto del tercer grupo                            | 93     |
| 4.15          | Resultados de las probetas a tracción                                       | 95     |
| 4.16          | Resultados de las probetas a flexión  | 96     |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| <b>4.17</b> | Resultados de las probetas a impacto   | 97  |
| <b>4.18</b> | Tabla t-Student para tracción  | 101 |
| <b>4.19</b> | Tabla t-Student para flexión   | 103 |
| <b>4.20</b> | Tabla t-Student para impacto   | 106 |
| <b>4.21</b> | Porcentaje de diferencia   | 111 |
| <b>4.22</b> | Gráfico de los resultados del peso de ambos guardabarros                     | 116 |
| <b>4.23</b> | Gráfico de los resultados del costo de ambos guardabarros                    | 119 |
| <b>4.24</b> | Gráfico de los resultados de la resistencia al impacto de ambos guardabarros | 121 |
| <b>4.25</b> | Gráfico de los resultados de biodegradación de ambos guardabarros            | 124 |
| <b>4.26</b> | Resultados finales   | 125 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

| FIGURA<br>NÚM. | DESCRIPCIÓN  | PÁGINA |
|----------------|--|--------|
| 2.1            | Características de un material compuesto                             | 8      |
| 2.2            | Cadenas de matrices termoplásticas, termoestables y elastoméricas    | 11     |
| 2.3            | Clasificación de los materiales compuestos reforzados por fibras     | 19     |
| 2.4            | Orientación de la fibra  | 20     |
| 2.5            | Deformación de un material compuesto                                 | 21     |
| 2.6            | Ensayo de flexión en 3 o 4 puntos                                    | 23     |
| 2.7            | Morfología de probeta para el ensayo de tracción                     | 24     |
| 2.8            | Máquina de tracción  | 25     |
| 2.9            | Máquina de impacto   | 25     |
| 2.10           | Modelo del capot de la camioneta Mazda BT-50 2010                    | 26     |
| 2.11           | Acabado superficial del retrovisor                                   | 27     |
| 2.12           | Guardabarros delantero del vehículo Volkswagen Golf MK1              | 32     |
| 2.13           | Análisis del guardabarros posterior del vehículo Volkswagen Golf MK1 | 32     |
| 3.1            | Dimensiones de la probeta de tracción                                | 34     |
| 3.2            | Dimensiones de la probeta de flexión                                 | 35     |
| 3.3            | Dimensiones de la probeta de impacto                                 | 35     |
| 3.4            | Fibra de cabuya suelta   | 40     |
| 3.5            | Fibra de cabuya entretejida  | 41     |
| 3.6            | Curado de la resina poliéster  | 42     |
| 3.7            | Plano de tablero de las probetas de tracción                         | 43     |
| 3.8            | Plano de tablero de las probetas de flexión                          | 43     |
| 3.9            | Plano de tablero de las probetas de impacto                          | 44     |
| 3.10           | Tablero de madera para las probetas                                  | 45     |
| 3.11           | Aplicación de la cera desmoldante                                    | 45     |
| 3.12           | Perforación de los agujeros  | 46     |
| 3.13           | Fibra de cabuya suelta   | 47     |
| 3.14           | Sellado de los tableros  | 50     |
| 3.15           | Fibra de cabuya tejida   | 51     |
| 3.16           | Sellado de los tableros  | 55     |
| 3.17           | Desmolde del material compuesto                                      | 56     |
| 3.18           | Probetas de tracción, flexión e impacto                              | 56     |
| 3.19           | Molde del guardabarros   | 64     |
| 3.20           | Aplicación de la cera desmoldante                                    | 64     |
| 3.21           | Aplicación de la resina poliéster                                    | 65     |
| 3.22           | Aplicación de la fibra de cabuya                                     | 65     |
| 3.23           | Secado del prototipo   | 66     |
| 3.24           | Desmolde del prototipo   | 66     |
| 3.25           | Pulido de la pieza   | 67     |
| 3.26           | Pintada del prototipo guardabarros                                   | 67     |
| 4.1            | Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo                    | 69     |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| <b>4.2</b>  | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas a tracción    | 72  |
| <b>4.3</b>  | Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo                           | 73  |
| <b>4.4</b>  | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del segundo grupo de probetas a tracción   | 76  |
| <b>4.5</b>  | Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo                            | 76  |
| <b>4.6</b>  | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas a tracción    | 79  |
| <b>4.7</b>  | Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo                             | 80  |
| <b>4.8</b>  | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas a flexión     | 83  |
| <b>4.9</b>  | Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo                            | 83  |
| <b>4.10</b> | Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo                             | 85  |
| <b>4.11</b> | Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas a flexión     | 88  |
| <b>4.12</b> | Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo                             | 89  |
| <b>4.13</b> | Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo                            | 91  |
| <b>4.14</b> | Ficha de los ensayos de impacto del tercer grupo                             | 93  |
| <b>4.15</b> | Resultados de las probetas a tracción  | 95  |
| <b>4.16</b> | Resultados de las probetas a flexión   | 96  |
| <b>4.17</b> | Resultados de las probetas a impacto   | 97  |
| <b>4.18</b> | Tabla t-Student para tracción  | 101 |
| <b>4.19</b> | Tabla t-Student para flexión   | 103 |
| <b>4.20</b> | Tabla t-Student para impacto   | 106 |
| <b>4.21</b> | Porcentaje de diferencia.  | 111 |
| <b>4.22</b> | Gráfico de los resultados del peso de ambos guardabarros                     | 116 |
| <b>4.23</b> | Gráfico de los resultados del costo de ambos guardabarros                    | 119 |
| <b>4.24</b> | Gráfico de los resultados de la resistencia al impacto de ambos guardabarros | 121 |
| <b>4.25</b> | Gráfico de los resultados de biodegradación de ambos guardabarros            | 124 |
| <b>4.26</b> | Resultados finales   | 125 |

## ÍNDICE DE ECUACIONES

| <b>ECUACIÓN<br/>NÚM.</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>  | <b>PÁGINA</b> |
|--------------------------|---|---------------|
| <b>3.1</b>               | Ecuación de la densidad                                     | 37            |
| <b>3.2</b>               | Ecuación de la masa   | 37            |
| <b>3.3</b>               | Ecuación de la cantidad de Meck Peróxido                    | 47            |
| <b>3.4</b>               | Ecuación de la cantidad de Octoato de Cobalto               | 47            |
| <b>3.5</b>               | Ecuación del esfuerzo máximo a tracción                     | 58            |
| <b>3.6</b>               | Ecuación del porcentaje de elongación                       | 58            |
| <b>3.7</b>               | Ecuación del módulo de elasticidad a tracción               | 58            |
| <b>3.8</b>               | Ecuación del esfuerzo máximo a flexión                      | 59            |
| <b>3.9</b>               | Ecuación de la deformación máxima                           | 60            |
| <b>3.10</b>              | Ecuación del módulo de elasticidad a flexión                | 60            |
| <b>3.11</b>              | Ecuación de la energía media de fallo                       | 62            |
| <b>4.1</b>               | Ecuación del valor estadístico de la distribución t-Student | 100           |
| <b>4.2</b>               | Ecuación de los grados de libertad t-Student                | 101           |
| <b>4.3</b>               | Porcentaje obtenido del guardabarros fabricado              | 114           |
| <b>4.4</b>               | Porcentaje obtenido del guardabarros original               | 114           |

## ÍNDICE DE ANEXOS

| <b>ANEXO<br/>NÚM.</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>   | <b>PÁGINA</b> |
|-----------------------|--|---------------|
| <b>1.</b>             | Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción de materiales compuestos | 138           |
| <b>2.</b>             | Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión de materiales compuestos. | 138           |
| <b>3.</b>             | Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto de materiales compuestos  | 138           |
| <b>4.</b>             | Resultados del ensayo a tracción del material compuesto            | 138           |
| <b>5.</b>             | Resultados del ensayo a flexión del material compuesto             | 138           |
| <b>6.</b>             | Resultados del ensayo a impacto del material compuesto             | 138           |



## RESUMEN

El presente proyecto se enfocó en la “Utilización de la fibra de cabuya para reforzar una matriz polimérica y conseguir un material compuesto para uso automotriz”. Se empezó realizando un estudio de las características que presentan la fibra de cabuya y la resina poliéster para así elaborar el material compuesto, a continuación se designó tres tipos de configuraciones volumétricas: 60% de matriz polimérica con 40% de fibra de cabuya suelta, matriz polimérica con una capa de fibra de cabuya tejida y una matriz polimérica con dos capas de fibra de cabuya tejida. Para la elaboración de las probetas se utilizó el proceso de estratificación por compresión con la finalidad de no presentar imperfecciones en el acabado evitando que se produzcan burbujas de aire ya que esto es muy habitual que al trabajar con resinas se produzcan estos problemas, se obtuvieron tres grupos de probetas que fueron sometidas a ensayos de tracción, flexión e impacto basándose en la Normativa ASTM. Al finalizar los ensayos se realizó un análisis de resultados de los tres grupos de las probetas comparando los datos obtenidos de cada ensayo dándonos a conocer cuál presenta mejores propiedades mecánicas, obteniendo mejores resultado las probetas con 60% matriz polimérica y 40% fibra de cabuya suelta, para poder verificar la hipótesis planteada al inicio del proyecto se realizó un análisis estadístico por medio del método de t-Student tomando en cuenta los resultados de las probetas ya ensayadas. Por último se determinó que el material compuesto puede ser implementado en el vehículo como una autoparte plástica como es el guardabarros de la camioneta Mazda BT-50, se comparó las propiedades mecánicas del material original del guardabarros con las del material compuesto obtenido. Se analizó 4 parámetros de cada pieza como el peso, costo, resistencia al impacto y el tiempo de biodegradación consiguiendo como resultado que el guardabarros fabricado tiene mejores prestaciones que el original.

## ABSTRACT

This project focused on the "Use of cabuya fiber to reinforce a polymeric matrix and achieve a composite material for automotive use". A study about the characteristics of the cabuya fiber and the polyester resin in order to make the composite material, then three types of volumetric configurations were designated: 60% polymeric matrix with 40% loose cabuya fiber, matrix polymeric with one layer of woven cabuya fiber and a polymeric matrix with two layers of woven cabuya fiber. For the elaboration of the test pieces, the compression stratification process was used in order not to present imperfections in the finish, avoiding the production of air bubbles since this is very common when working with resins these problems occur, three groups of specimens that were subjected to tensile, bending and impact tests based on the ASTM Standard. At the end of the tests, an analysis of the results of the three groups of the test pieces was carried out, comparing the data obtained from each test, letting us know which one has the best mechanical properties, with the test pieces with 60% polymeric matrix and 40% loose cabuya fiber obtaining the best results. In order to verify the hypothesis raised at the beginning of the project, a statistical analysis was performed using the t-Student method, taking into account the results of the test pieces already tested. Finally, it was determined that the composite material can be implemented in the vehicle as a plastic auto part such as the fender of the Mazda BT-50 pickup, the mechanical properties of the original fender material were compared with those of the composite material obtained. Four parameters of each piece were analyzed, such as weight, cost, impact resistance and biodegradation time, resulting in the manufactured fender having better performance than the original.

## INTRODUCCIÓN

El sector automotriz es una de las industrias que tiene un gran incremento en su producción y esto a su vez se ve reflejada en el alto índice de contaminación provocado por las emisiones de los vehículos, por este motivo el ingeniero automotriz debe encargarse de analizar los impactos que se tiene con el medio ambiente al fabricar los vehículos y sus componentes.

En la actualidad existen varios estudios e implementaciones de partes del vehículo a base de materiales compuestos que son amigables con el medio ambiente sin dejar atrás sus buenas propiedades mecánicas, su proceso de manufactura, su bajo costo y la fácil accesibilidad de los materiales para su fabricación que a comparación con las piezas originales se tiene más preferencia a los materiales compuestos.

Un material compuesto está conformado por dos elementos, una matriz y un refuerzo por lo que se ha visto la necesidad de utilizar matrices a base de resinas siendo reforzadas con fibras naturales, estos dos componentes conllevan a tener un material con buenas características y a la vez siendo biodegradable esto significa que una vez haya finalizado su vida útil este podría ser enterrado para que con el pasar del tiempo puede descomponerse sin que exista impactos hacia el medioambiente.

En Ecuador existen diferentes tipos de fibras naturales que pueden ser utilizadas en los materiales compuestos obtenidas de las plantas de coco, de tuna, de abacá, de la caña de azúcar, entre otras, por lo que se puede utilizar estas fibras como material de refuerzo sin preocuparse de su extinción debido a que muchas personas se dedican a la producción de estas plantas y a la obtención de sus fibras para realizar otras artesanías.

Al igual que otros países Ecuador se ha enfocado en realizar estudios de cómo controlar o disminuir el índice de contaminación que ocasiona la industria automotriz, uno de ellos es la obtención de nuevos materiales compuestos utilizando los recursos naturales y a la vez poder ser implementados para la fabricación de piezas del vehículo como lo están realizando las grandes industrias de los vehículos como: Mercedes Benz, Ford, Toyota entre otras.

# CAPÍTULO I

## 1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1 TEMA

Utilización de la fibra de cabuya para reforzar una matriz polimérica y conseguir un material compuesto para uso automotriz.

### 1.2 ANTECEDENTES

Un material compuesto presenta dos elementos principales; fibra y matriz, al combinar estos dos componentes permite formar un nuevo material con buenas propiedades mecánicas de las que presenta cada elemento al estar separados. La fibra permite aporta resistencia mecánica y dureza, otorgando las principales propiedades mecánicas (Larrodé, y otros, 2012, pág. 2). En cambio, la matriz se encarga de definir propiedades físicas como químicas, transmitiendo cargas al refuerzo y protegiendo al material (Stupenengo, 2011, págs. 7-8).

La existencia de los materiales compuestos ha sido manejada desde la antigüedad como es el caso de los ladrillos de adobe en la construcción de viviendas, este material compuesto es de matriz arcillosa reforzada con fibras vegetales o paja que ha sido utilizado desde la época de los egipcios (Dávila, y otros, 2011, pág. 46). En la actualidad todavía se sigue utilizando estos ladrillos de adobe debido a su gran resistencia y bajo costo de elaboración.

En la década anterior se ha desarrollado varias técnicas avanzadas para la manufactura de materiales compuestos (Dávila, y otros, 2011, pág. 45). La ventaja al utilizar estos materiales es que son más resistentes, livianos y sobre todo económicos en comparación como se tiene el caso del acero que es un buen material resistente pero su inconveniente es el peso, otra comparación de los material compuesto es con el aluminio que si tienen buenas propiedades mecánicas pero tiene un mayor costo de adquisición.

En el año 2015 se elaboró un material compuesto utilizando una matriz de poliuretano rígido con fibra de cabuya y raquis de palma africana para su refuerzo, en la elaboración del material compuesto se utilizó 3 tipos de concentración de carga en peso de fibra de 5%, 10% y 15%, por la que se realizaron ensayos de flexión y tracción (Proaño Fiallos, 2015, pág. 52). Se determinó que el material compuesto tiene mejores propiedades mecánicas al utilizar un 15% en peso de fibra en comparación al material de poliuretano.

En el año 2018 se obtuvo un material compuesto en base a nano fibra de carbono con el propósito de sustituir el acero en el campo automotriz. En la investigación se tiene los valores de la resistencia a tracción con la del acero, la NFC bidireccional tuvo una resistencia de 488.55 MPa, la NFC unidireccional posee una resistencia de 923.28 MPa a comparación del acero de 384 MPa (Castro Amaguaña & Quiroz Valencia, 2018, pág. 127).

En el año 2018 se desarrolló un material compuesto de matriz polimérica utilizando fibras de hoja de tuna para el refuerzo del material. En este trabajo se realizaron tres tipos de ensayos a tracción, flexión e impacto del material compuesto. Se determinó que al usar un 70% de matriz polimérica y un 30 % de fibra de tuna, se tiene una resistencia a la tracción de 10.94 MPa, una resistencia a la flexión de 24.98 MPa y una energía absorbida de 2.42 J (Vargas Flores, 2018, pág. 135).

### **1.3 SITUACIÓN ACTUAL**

El estudio de las propiedades mecánicas de los materiales compuestos en la industria automotriz nace de la necesidad de obtener nuevos elementos con propiedades distintas a la de un material común. Para ello se han realizado varias investigaciones utilizando los recursos naturales que pueden ser esenciales para la fabricación de nuevos materiales compuestos.

Se han realizado investigaciones similares utilizando distintos tipos de fibras naturales, como es el caso de la Universidad Técnica de Ambato realizó un estudio acerca las propiedades mecánicas de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de hoja de tuna.

Para su fabricación se realizó ensayos bajo las normas ASTM para flexión ASTM D-7264-07, tracción ASTM D-3039-00 e impacto ASTM D-5628-10 (Vargas Flores, 2018, pág. 29).

## **1.4 PROSPECTIVA**

El peso del vehículo es un tema muy importante en el campo automotriz, por lo que se han venido desarrollando varias investigaciones acerca de cómo mejorar o reemplazar a los materiales de las piezas del vehículo, esto tiene como finalidad obtener piezas con mejores características o propiedades mecánicas sin que afecte el rendimiento de los vehículos.

Los estudiantes de las distintas universidades del Ecuador como son la Universidad Técnica de Ambato, la Escuela Politécnica Nacional, la Universidad Técnica del Norte, entre otras; están enfocados en investigar y realizar nuevos materiales compuestos con la ayuda de recursos naturales que dispone el país, con el fin de obtener productos nacionales y así mejorar la economía del país.

Se quiere llegar con este nuevo material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de cabuya, mediante la realización de ensayos de flexión y tracción, analizar las propiedades mecánicas de este material compuesto comparándolo con las propiedades de los materiales habitualmente usados en los vehículos y así poder reemplazarlos por el nuevo material compuesto.

## **1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El problema en el campo automotriz es la fabricación de sus partes en las que están inmersos varios tipos de materiales de muy diversa naturaleza, como los aceros aleados, plásticos reforzados, vidrios, etc., que de alguna manera influyen en el rendimiento y en el diseño del vehículo.

Uno de los problemas que se presenta en el vehículo es el excesivo peso de las partes que lo conforman, esto se debe a los materiales utilizados en la industria automotriz como es el caso del acero que es un material pesado y muy utilizado en la fabricación de vehículos, sin embargo, este problema afecta en tener un menor rendimiento del combustible y un aumento del índice de emisiones contaminantes como NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, HC, etc.

Otro de los problemas que tiene la industria automotriz es la reducción de las propiedades mecánicas que tienen los materiales de aluminio y plástico, debido a que la mayor parte de piezas del vehículo están fabricadas de dichos materiales, la desventaja que tienen estos materiales es su bajo índice de resistencia.

Al utilizar materiales de aluminio tiene un costo elevado, teniendo dificultades en su reparación ya que es compleja y costosa. En el caso de los materiales de plásticos no tienen reparación una vez acabado su ciclo de uso deben ser reemplazados por elementos nuevos.

## **1.6 OBJETIVOS**

### **1.6.1 OBJETIVO GENERAL**

Utilizar la fibra de cabuya para reforzar una matriz polimérica y conseguir un material compuesto para uso automotriz.

### **1.6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar el material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de cabuya.
- Caracterizar el material obtenido.
- Analizar las posibles aplicaciones del material obtenido para utilizarlo en un automóvil, evaluando el requerimiento en cada caso.

## **1.7 ALCANCE**

En la presente investigación se pretende elaborar un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de cabuya, con la finalidad de reemplazar a los materiales que comúnmente se usa para la elaboración de piezas internas del vehículo.

Estudiar las diferentes propiedades físicas y mecánicas de los compuestos fabricados con fibra de cabuya, tomando en cuenta las siguientes variables como son: el porcentaje, la orientación, el tratamiento de las fibras y la densidad de la fibra a temperatura ambiente. Se obtendrá la fibra mediante la estratificación a compresión y de forma manual.

El material compuesto es expuesto a tres tipos de ensayos: ensayo de tracción bajo la norma ASTM D3039-00, ensayo de flexión con la norma ASTM D7264-07 y el ensayo de impacto con la normativa ASTM D5628-10, con estos ensayos se determina las propiedades mecánicas del nuevo material compuesto.

Los resultados obtenidos ante las pruebas realizadas serán analizados para verificar si cuentan con los requisitos necesarios en la industria.

## **1.8 JUSTIFICACIÓN**

Un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras se caracteriza por tener un bajo peso, una alta resistencia y rigidez (Mata Cabrera, 2004, pág. 43). Estas características permiten que los materiales compuestos puedan reemplazar a los materiales convencionales debido a sus buenas propiedades mecánicas, estos tipos de materiales se los utilizan bastante en la industria automotriz para la elaboración de piezas internas del vehículo con el fin de reducir su peso y tener una alta resistencia.

Usar fibras naturales de origen vegetal para fabricar elementos que no afecten al ambiente en la actualidad es muy importante, por ello se han realizado ciertos estudios de materiales



compuestos utilizando este tipo de fibras, debido a que se las puede adquirir a un bajo costo, ya que se les considera como recursos renovables, para ello se ha visto la necesidad de utilizar las fibras de la planta de cabuya para la elaboración del material compuesto.

El cultivo de la planta de cabuya para la obtención de las fibras se da en los climas cálidos por lo tanto se lo puede encontrar en la zona de Intag y Lita en la provincia de Imbabura – Ecuador (Vásquez Vallejo, 2011, pág. 34), debido a que estos lugares son los más cercanos para poder adquirir el producto.

La industria automotriz está encargada de estudiar y mejorar las características de los vehículos, una de ellas es el tipo de material que se utiliza para su fabricación, debido a que este puede influenciar en el peso y el rendimiento del vehículo.

Para ello esta investigación tiene como propósito realizar un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de cabuya estudiando sus propiedades mecánicas, con la finalidad de comparar sus propiedades con las de los materiales convencionales determinando cual material es más eficiente para ser implementado en la elaboración de las piezas del vehículo.

## **1.9 CONTEXTO**

Los materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales ha sido un tema muy relevante en la actualidad ya que se han realizado varios estudios para la obtención de nuevos materiales compuestos con este tipo de fibras, estos materiales compuesto presentan ciertas propiedades mecánicas mejores que los materiales comúnmente utilizados, para poder determinar sus propiedades estos materiales son expuesto a ensayos de tracción y flexión bajo normativas ASTM.

Se ha realizado en la Universidad Técnica de Ambato un estudio para la obtención de un material compuesto de matriz polimérica utilizando fibras de hoja de tuna para reforzar el

material. Para la elaboración del compuesto se tomó tres fracciones volumétricas de la fibra de tuna de 65% de matriz - 35% de fibra, 70% matriz - 30% de fibra y 75 % matriz – 25% de fibra, con tipos de orientación de las fibras como a 0°, 45° y entrecruzada (Vargas Flores, 2018, pág. 39). Se realizaron ensayos bajo las normas ASTM: para flexión ASTM D-7264-07, tracción ASTM D-3039-00 e impacto ASTM D-5628-10, para determinar sus propiedades mecánicas, dando como resultado una buena fracción del 70% de matriz polimérica con un 30% de fibra de tuna.

En el año 2015 se realizó un material compuesto de matriz de poliuretano reforzado con fibras de cabuya y con raquis de palma africana, en esta investigación se puede apreciar la preparación física y química de la fibra de cabuya, en el tratamiento físico se separó las impurezas de la materia prima manualmente y se realizó un tratamiento químico de acetilación a la fibra (Proaño Fiallos, 2015, págs. 30-32). Este tratamiento permite aumentar la naturaleza hidrofóbica y una superficie más lisa de la fibra, con el fin de que tenga una mejor combinación entre las fibras y la matriz. Las concentraciones de las fibras que se utilizaron en la elaboración del material compuesto de matriz poliuretano rígido fueron de 5%, 10% y de 15%, las cuales fueron expuestas a ensayos de flexión y tracción (Proaño Fiallos, 2015, pág. 52). Se tuvo como resultado que los ensayos de flexión poseen mejores propiedades mecánicas utilizando un 10% de fibras, en cambio se obtuvo buenas propiedades mecánicas en el ensayo de tracción utilizando un 5% de fibra.

## CAPÍTULO II

### 2 MARCO TEÓRICO

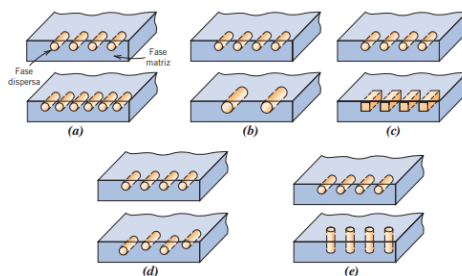
#### 2.1 INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

La ingeniería de materiales se encarga del estudio de la composición y la estructura de los materiales. Principalmente se enfoca en las formas de convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles (Askeland & Wright, 2017, pág. 4). Al momento de modificar las propiedades de los materiales se realiza el cambio en su estructura interna.

#### 2.2 MATERIALES COMPUESTOS

Los materiales compuestos son utilizados en aplicaciones de por su menor peso y su buena resistencia estructural. Se han reemplazado los agentes de refuerzo sintéticos de los materiales compuestos por productos naturales, esto se puede lograr debido a que las propiedades de los materiales compuestos con fibras naturales coinciden con las de los materiales con fibras sintéticas (Anchatuña León & Loachamín Navarrete, 2015, págs. 1-2).

Los materiales compuestos están formados por dos fases: fase matriz y fase dispersa (fibra). Las propiedades de los compuestos están en función de las propiedades de las fases constituyentes, de sus proporciones relativas y de la geometría de la fase dispersa (Callister & Rethwisch, 2016, pág. 540).



**Figura 2.1.** Características de un material compuesto  
(Callister & Rethwisch, 2016, pág. 540)

En la **Figura 2.1**, se muestra los tipos de configuración de la fase dispersa (fibra) en una matriz, tomando en cuenta la concentración, el tamaño, la forma, la distribución y la orientación que puede tener la fibra con respecto a la matriz, teniendo como resultado un material compuesto con distintas propiedades mecánicas.

## **2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS**

Los materiales compuestos se clasifican de acuerdo a la naturaleza de su matriz como son: la matriz polimérica, matriz metálica y matriz cerámica.

### **2.3.1 MATRIZ POLIMÉRICA**

Las matrices poliméricas son utilizadas en el campo automotriz debido a su baja densidad, una alta resistencia mecánica, fácil manipulación y poseen un mejor trabajo a temperaturas ambientales (Vargas Flores, 2018, pág. 10). El costo para obtener este tipo de fibra no es elevado, además para formar un material compuesto con este tipo de matriz se puede realizar utilizando fibras vegetales, fibras de vidrio o de carbono.

### **2.3.2 MATRIZ METÁLICA**

En la elaboración de materiales compuestos generalmente los metales trabajan en aleación ofreciendo alta resistencia mecánica, elevada rigidez trabajando en condiciones diferentes a los que fuesen expuestos (Vargas Flores, 2018, pág. 10).

Pueden contener de refuerzo entre el 20 y 50% de volumen, usadas por lo principal donde se exija dureza, rigidez, resistencia en altas temperaturas, resistencia mecánica y módulo específico alto (Vargas Flores, 2018, pág. 10). El uso de este tipo de matriz se está promoviendo en aplicaciones de ingeniería, ya sea en la aeroespacial y automotriz, dando seguridad al trabajar con altas temperaturas.

### **2.3.3 MATRIZ CERÁMICA**

Las matrices cerámicas tienen buenas propiedades mecánicas y químicas a temperaturas altas con una alta rigidez mecánica. Las propiedades que poseen estos materiales son muy utilizadas en la elaboración de piezas para automóviles, debido a que las piezas que lo conforman son expuestas a trabajos a altas temperaturas, deben tener buenas propiedades mecánicas con el fin de mejorar la resistencia al desgaste y a la oxidación (Mazón Ortiz, 2018, pág. 8).

## **2.4 COMPONENTES DEL MATERIAL COMPUESTO**

Los materiales compuestos están conformados por dos elementos: matriz y material de refuerzo

### **2.4.1 MATRIZ**

La matriz se la denomina fase continua actuando como un ligante, la matriz puede ser metálica, polimérica o cerámica y cumple las siguientes funciones:

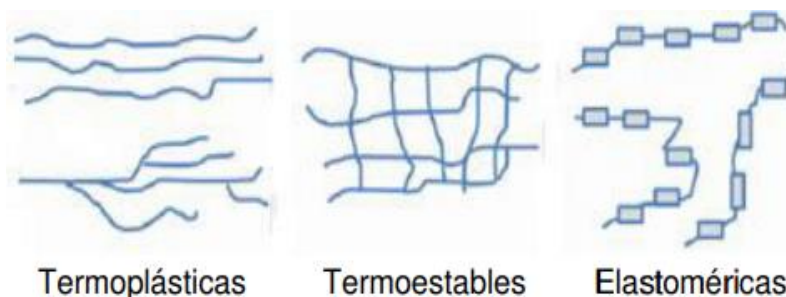
- Brindar cohesión.
- Define propiedades físicas, mecánicas, eléctricas y químicas.
- Tiene una protección en contra la abrasión mecánica.
- Protección durante su manufactura y uso.
- Transmitir las cargas al refuerzo.

### **2.4.2 MATERIAL DE REFUERZO**

El material de refuerzo se denomina fase discontinua agregada a la matriz complementando las propiedades que debe tener un material compuesto, este refuerzo puede ser por fibras o elementos estructurales. El material de refuerzo esta mejor distribuido cuando sus partículas son homogénea y pequeñas o cuando se incrementa la longitud de la fibra (Nieblas, 2015, pág. 16).

## 2.5 MATRICES POLIMÉRICAS

Las matrices poliméricas se clasifican en los siguientes grupos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas.



**Figura 2.2.** Cadenas de matrices termoplásticas, termoestables y elastoméricas  
(Verde Ramirez, 2016, pág. 16)

En la **Figura 2.2**, se puede observar que las matrices termoplásticas que se encuentran constituidas por cadenas independientes sin ningún grado de reticulación, las matrices termoestables tienen múltiples enlaces entrecruzados en una red tridimensional y las matrices elastoméricas están formadas por cadenas con libre movimiento molecular (Verde Ramirez, 2016, pág. 16).

### 2.5.1 MATRIZ TERMOPLÁSTICA

Los materiales termoplásticos se encuentran formados por moléculas lineales incorporadas por enlaces sencillos, que si llegan a su temperatura crítica comenzaran a fluir y si la temperatura es menor a la crítica vuelven a su fase sólida. El procesamiento de los termoestables comienza calentando el material para luego plastificarlo sin que este se funda, facilitar la realización de adiciones, lograr el molde de este y finalmente enfriarlo para endurecerlo (Ramirez Rosas, 2015, pág. 14).

Las matrices termoplásticas tienen las siguientes propiedades:

- Buena resistencia química.

- Buena absorción de humedad.
- Buenas propiedades mecánicas.
- Es un material reciclable.
- Es reparable.

Una de las desventajas que tiene esta matriz es la dificultad de la impregnación de las fibras, ya que para poder obtener las propiedades mecánicas se requiere un alto peso molecular y una alta viscosidad (Ramirez Rosas, 2015, pág. 14).

## **2.5.2 MATRIZ TERMOESTABLE**

Este tipo de matriz tiene una estructura reticular con entrelazamiento transversal de cadenas, creadas por calor o una combinación de presión y calor durante su reacción de polimerización (Mazón Ortiz, 2018, pág. 9).

Las matrices termoestables tienen las siguientes propiedades:

- Buena estabilidad térmica.
- Buena rigidez.
- Es apta como aislante eléctrico.
- Es ligera.

Estas matrices a diferencia de las matrices termoplásticas no pueden ser reciclables, ya que este material no puede ser recalentado, puede estar en forma de dos resinas en forma líquida, una de ellas contiene elementos de relleno inorgánicos y orgánicos que tienen la finalidad de actuar como un refuerzo, en cambio la otra consta de agentes endurecedores y plastificadores que sirven como agentes de curado (Mazón Ortiz, 2018, pág. 9).

En la Tabla 2.1, se puede identificar tres tipos de termoestables: Epoxis, fenólicas y poliéster cada una de ellas con sus respectivas características y aplicaciones:

**Tabla 2.1.** Características y aplicaciones de polímeros termoestables

| <b>TERMOESTABLES</b> | <b>Características</b>   | <b>Aplicaciones típicas</b>   |
|----------------------|--|---|
| <b>Epoxis</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Buenas propiedades mecánicas.</li> <li>- Resistencia a la corrosión.</li> <li>- Dimensiones estables.</li> <li>- Buena adherencia.</li> <li>- Buenas propiedades eléctricas.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recubrimientos protectores.</li> <li>- Enchufes.</li> <li>- Adhesivos.</li> <li>- Láminas reforzadas con fibra de vidrio.</li> </ul> |
| <b>Fenólicas</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estabilidad térmica hasta 150°C.</li> <li>- Susceptible para formar materiales compuestos con varias resinas.</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Accesorios eléctricos.</li> <li>- Teléfonos.</li> <li>- Carcasas de motores.</li> <li>- Partes de vehículos.</li> </ul>              |
| <b>Poliéster</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Buenas propiedades eléctricas.</li> <li>- Utilización a temperatura ambiente.</li> <li>- Pueden ser reforzadas con varios tipos de fibras.</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Paneles de automóviles.</li> <li>- Barcos pequeños.</li> <li>- Ventiladores.</li> <li>- Cascos.</li> </ul>                           |

**Fuente:** (Mazón Ortiz, 2018, pág. 9)

### 2.5.3 MATRIZ ELASTOMÉRICA

La matriz elastomérica proviene de los materiales elastómeros más comúnmente conocidos como cauchos. La característica principal de este material es que tiene una elevada elasticidad que puede soportar deformaciones elásticas más del 1000% y puede regresar a su estado normal (González Jiménez, 2017, pág. 5).

### 2.6 RESINA POLIÉSTER

Las resinas poliéster son fibras sintéticas que tienen buena acogida en reparaciones automotrices, existe una amplia variedad que se utiliza para diferentes usos sean estos generales en la deformación de laminados de las carrocerías para relleno o como capa de acabado. Las resinas de poliéster son producidas a partir de reacciones de policondensación entre dos



monómeros que es el ácido dicarboxílico y diol, por lo que uno de estos debe contener una insaturación (Besendnjak Dietrich, 2005, pág. 27).

### **2.6.1 CURADO DE LA RESINA POLIÉSTER**

Estas resinas son las más aplicadas como material de matrices termoestables debido a las propiedades que presentan. Esta resina se encuentra en estado líquido a temperatura ambiente, mediante un tratamiento se la puede transformar a estado sólido (Carrillo Játiva, 2015, pág. 17).

El proceso de curado consiste en que la resina pasa de su estado líquido a estado sólido por medio de reacciones que realizan los compuestos para la formación de la matriz, que posteriormente al mezclarse empieza el proceso de endurecimiento (Tixe Subina & Vistín Bastidas, 2015, pág. 25). La resina poliéster tiene las siguientes características:

- Baja temperatura de transición vítrea.
- Resistencia y rigidez no son muy elevadas.

Una de las desventajas es el proceso de endurecimiento es su contracción entre un 6 y 10%. Estas pueden ser resinas pre - aceleradas y no pre - aceleradas, esto se realiza utilizando un catalizador y un acelerador. Este tipo de resinas pueden resistir tensiones entre 50 y 500 MPa, y una temperatura de 220°C (Alvarado Castiblanco, 2017, pág. 29).

## **2.7 TIPOS DE FIBRAS**

### **2.7.1 FIBRAS SINTÉTICAS**

En la industria textil las fibras sintéticas son utilizadas por sus buenas propiedades, estas fibras provienen de productos que son derivados del petróleo conocidos como monómeros que forman a cuerpos químicos como los polímeros (Buñay Gualancañay & Morocho León, 2015, pág. 8).

Las fibras sintéticas poseen las siguientes propiedades:

- Sensibilidad térmica.
- Resistencia a microorganismos.
- Resistentes a agentes químicos.
- Peso ligero.
- No se arrugan fácilmente.
- Baja absorción de agua (Buñay Gualancañay & Morocho León, 2015, pág. 8).

### **2.7.2 FIBRAS NATURALES**

En la actualidad se tiene un alto nivel de contaminación, por lo que se han realizado estudios para mejorar su estado; por ello se ha enfocado en el tema del reciclaje para así poder utilizarlo de la mejor manera y no desperdiciarlo. El reciclaje tiene ciertos factores como es la facilidad de separación de los materiales descartados, la conservación de las cualidades intrínsecas, los posibles usos del material reciclado y la tecnología necesaria (Loza Chávez & Pila Espinosa, 2017, pág. 12).

En la actualidad las fibras naturales son una alternativa para la elaboración de materiales compuestos, debido a su facilidad de acceso, peso ligero, son económicas y por ser una materia prima 100% renovable que nos otorga el medio ambiente. Según la directriz de la UE la mayoría de las fibras naturales son utilizables en el campo automotriz (Nieblas, 2015, pág. 20).

Sin embargo, las fibras naturales poseen ciertas desventajas como:

- Carácter hidrofílico de las fibras.
- Baja resistencia microbiana y susceptibilidad a la putrefacción.
- Alta sensibilidad a efectos ambientales como variaciones de temperatura y humedad (Delgado Arcentales, 2012, pág. 14).

En el campo automotriz para la elaboración de materiales compuestos se utilizan matrices poliméricas reforzadas con fibras naturales, debido a que estas fibras son más livianas que las de vidrio o de carbono (Velásquez, Pelaez, & Giraldo, 2016, pág. 82).

### 2.7.2.1 Fibras vegetales

Las fibras vegetales han remplazado a las fibras convencionales que se las utiliza para la elaboración de materiales compuestos con buenas propiedades mecánicas (Vargas Flores, 2018, pág. 21).

En la Tabla 2.2, se puede notar las características de las fibras vegetales más utilizadas en los materiales compuestos.

**Tabla 2.2.** Caracterización de las fibras vegetales

| <b>FIBRA</b> | <b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Diámetro (µm)</b> | <b>Elongación (%)</b> | <b>Esfuerzo de tensión (MPa)</b> | <b>Módulo de Young (GPa)</b> |
|--------------|------------------------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------|
| Algodón      | 1.5-1.6                            | -                    | 7.8-8.0               | 287-800                          | 5.5-12.6                     |
| Jute         | 1.3-1.45                           | 25-200               | 1.16-1.8              | 393-773                          | 13-26.5                      |
| Lino         | 1.5                                | -                    | 2.7-3.2               | 345-1100                         | 27.6                         |
| Cabuya       | 1.45-1.5                           | 50-200               | 3.0-7.0               | 468-635                          | 9.4-22                       |
| Coco         | 1.15-1.12                          | 100-450              | 15-40                 | 131-175                          | 4.0-6.0                      |

**Fuente:** (Loza Chávez & Pila Espinosa, 2017, pág. 14)

Las propiedades físicas y químicas de las fibras naturales dependen del contenido de celulosa, lignina y pectina (Velásquez, Pelaez, & Giraldo, 2016, pág. 7). Estas características dependen del tipo de planta que se va a utilizar.

### 2.7.3 FIBRAS NATURALES EN ECUADOR

Ecuador es un país que posee una gran cantidad y variedad de plantas en América Latina, tiene alrededor de 25 mil especies que son plantas vasculares que pueden darle un buen uso para la obtención de fibras naturales. Se estimaría que Ecuador tiene alrededor de 20 a 25 diferentes

tipos de fibras naturales utilizadas a nivel artesanal o por comunidades campesinas, estas fibras se encuentran en las siguientes plantas como: cabuya, paja toquilla, palma, ortiga, bambú, matapalo, totora, entre otras (Tinajero Moreano, 2018, pág. 40).

## 2.8 FIBRAS DE CABUYA

El nombre de la planta de cabuya generalmente conocida es Agave o Penca, esta planta proviene de las vertientes occidentales andinas, los países que tienen grandes cantidades de esta planta son: Colombia, Perú, Ecuador y Bolivia (Tinajero Moreano, 2018, pág. 43).

### 2.8.1 TIPOS DE CABUYA

Se tiene dos tipos de fibras de cabuya: fibra blanca y fibra negra. La cabuya negra pertenece al género del agave ya que tiene una gran cantidad de pulpa y jugo, por lo que se la puede utilizar como fibra (Betancourt Chávez & Salazar Garcés, 2017, pág. 338). Esta planta es normalmente utilizada para la alimentación del ganado., en cambio la fibra de la planta de cabuya blanca es dura, áspera y durable, por lo que es recomendable utilizar este tipo de fibras para el refuerzo de los materiales compuestos.

### 2.8.2 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DE LA FIBRA DE CABUYA

En la Tabla 2.3, se puede determinar las características morfológicas de la fibra de cabuya:

**Tabla 2.3.** Características morfológicas de la fibra de cabuya

| <b>FIBRA DE CABUYA</b>    |                    |                     |                        |
|---------------------------|--------------------|---------------------|------------------------|
| <b>Nombre científico:</b> | Furcraea Andina    | <b>Extraída de:</b> | La hoja                |
| <b>Familia:</b>           | Agaváceas          | <b>Longitud:</b>    | Entre 1.5 y 2 metros   |
| <b>Cultivada:</b>         | Región Interandina | <b>Diámetro:</b>    | Entre 130 y 258 micras |

Fuente: (Parra Zurita, 2015, pág. 9)

Adicionalmente la fibra de cabuya presenta mejores propiedades de resistencia cuando es cultivada en climas cálidos y si se encuentra totalmente lavada, por otro lado, la fibra de cabuya sucia tiene mejor elongación que la fibra de cabuya lavada (Betancourt Chávez, 2018, pág. 39).

### 2.8.3 PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE LA FIBRA DE CABUYA

Las propiedades mecánicas y químicas de la fibra de cabuya se observan en la Tabla 2.4:

**Tabla 2.4.** Propiedades mecánicas y químicas de la fibra de cabuya

| Propiedades Mecánicas           |           | Propiedades Químicas (%) |         |
|---------------------------------|-----------|--------------------------|---------|
| Densidad (g/cm <sup>3</sup> )   | 1.3       | Celulosa                 | 67 – 78 |
| Módulo de elasticidad (MPa)     | 9.4 – 22  | Hemicelulosa             | 10 – 14 |
| Resistencia a la tracción (MPa) | 511 – 635 | Lignina                  | 8 – 14  |
| Elongación fractura (%)         | 2 – 2.5   |                          |         |

Fuente: (Palacios Acosta, 2017, pág. 23)

La celulosa son miofibrillas cristalinas que se encuentran en la fibra natural, se encarga de que sea resistente a la hidrólisis y a la oxidación, la hemicelulosa es una estructura que permite cubrir a las microfibrillas de la celulosa por lo que su función es enlazar a las fibras de la celulosa con la pectina. La lignina se produce a través de la unión de alcoholes fenilpropílicos brindándole rigidez a la pared celular (Velásquez, Pelaez, & Giraldo, 2016, pág. 79), esto permite que la fibra tenga mayor resistencia al impacto y a la flexión.

### 2.8.4 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA

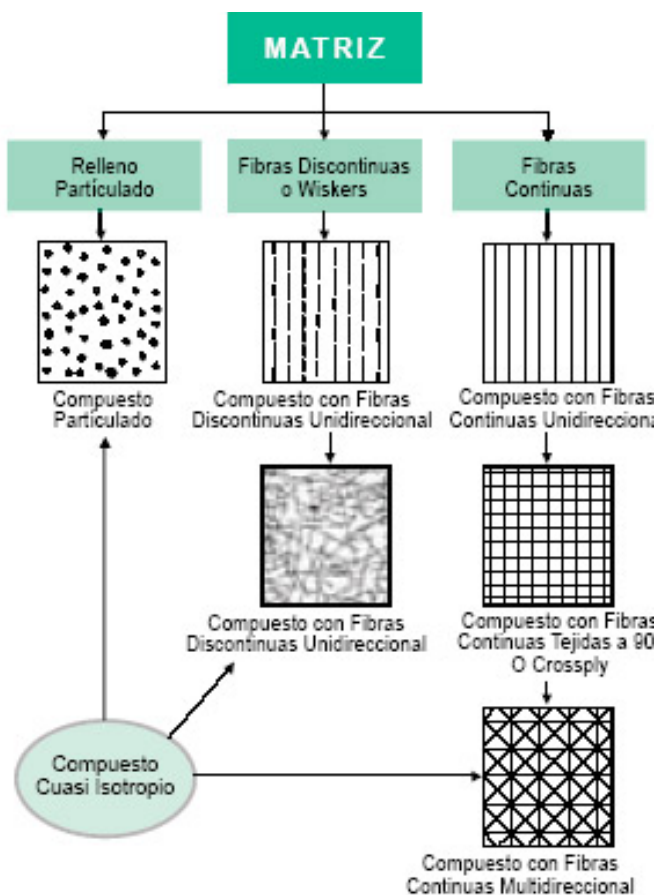
Las fibras de la cabuya son extraídas de las hojas más carnosas de la planta, con la finalidad de obtener una mayor cantidad de fibras y de buena calidad. Para ello se tiene el siguiente procedimiento:

- Se realiza el proceso de ablandamiento y el de rizado para la obtención de la fibra.
- Se lava la fibra con jabón eliminando las impurezas o residuos de bagazo que contiene.

- En el proceso de lavado se debe raspar con una herramienta que tenga filo para de igual manera eliminar impurezas.
- Finalmente, se la deja secar al sol (Pérez Escobar, 2016, pág. 12).

## 2.9 REFUERZO CON FIBRAS

Las fibras que se utilizan para el refuerzo de un material compuesto tienen un diámetro de 2 a 10  $\mu\text{m}$  y una longitud que depende del tamaño de la hoja de la planta.



**Figura 2.3.** Clasificación de los materiales compuestos reforzados por fibras (Tinajero Moreano, 2018, pág. 20)

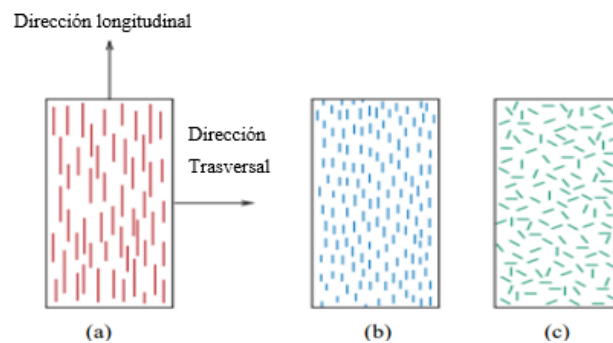
En la **Figura 2.3**, se puede observar la clasificación de matriz mediante el tipo de refuerzo que puede ser de tipo particulado o de fibra, además presenta los tipos de orientación que puede tener una fibra en la matriz.

### 2.9.1 ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS EN MATERIALES COMPUESTOS

Tanto la orientación como la cantidad de las fibras son importantes para poder determinar las características o propiedades que poseerá el material compuesto.

Las fibras se pueden orientar de la siguiente manera:

- Continuas.
- Discontinuas.
- Alineadas al azar.



**Figura 2.4.** Orientación de la fibra  
(Callister & Rethwisch, 2016, pág. 548)

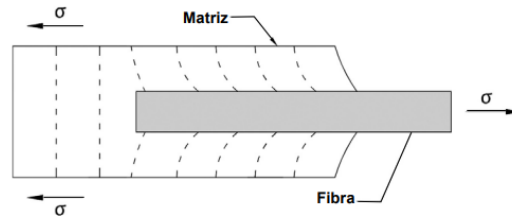
En la **Figura 2.4**, se puede observar el tipo de orientación como en el caso de: a) es continua y alineada, en el caso b) es discontinua y alineada, y en el caso c) es discontinua al azar (Callister & Rethwisch, 2016, pág. 548).

Al utilizar una fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra (Jácome León, 2015, pág. 34).

### 2.9.2 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA

En las propiedades mecánicas de un compuesto también puede influenciar el grado en el que la carga aplicada se transmite a la fibra por medio de la fase matriz, por lo que es importante

conocer la magnitud de la unión en la inter-cara matriz-fibra (Callister & Rethwisch, 2016, pág. 546). Por lo que tanto la matriz y la fibra deben encontrarse unidas. Al existir una transferencia de carga se produce una deformación cortante entre la matriz y la fibra.



**Figura 2.5.** Deformación de un material compuesto  
(Callister & Rethwisch, 2016, pág. 546)

En la **Figura 2.5**, nos indica la deformación del material compuesto al ser sometido a fuerzas de tracción. Debe existir una longitud mínima para la transmisión de carga y esfuerzos para un diámetro de fibra expuesto (Vargas Flores, 2018, pág. 17).

Para tener una longitud mínima ( $\lambda_c$ ) entre la fibra y la matriz, se debe tomar en cuenta los siguientes factores:

- El diámetro de la fibra ( $d_f$ ).
- La resistencia a la tracción ( $\sigma_f$ ).
- El esfuerzo de corte ( $\tau_i$ ).

Las fibras continuas son las que tienen su longitud mayor que la longitud crítica o mínima y las fibras discontinuas o cortas son las de menor longitud. En las fibras discontinuas la matriz se deforma alrededor de la fibra ocasionando transferencia del esfuerzo, y el efecto del rozamiento de la fibra es insignificante (Moral Borque & Nogueira López, 2007, pág. 9).

### 2.9.3 APLICACIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA EN UNA MATRIZ POLIMÉRICA

Actualmente existen bastantes estudios de la elaboración de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibras naturales, estos materiales son expuestos a varios ensayos de



pruebas como es el de tracción, flexión e impacto para poder determinar sus propiedades y así ser usados en la industria.

## 2.10 ENSAYOS

Para determinar las propiedades mecánicas que presenta un material compuesto es sometido a tres tipos de ensayos como son:

- Ensayo de flexión.
- Ensayo de tracción.
- Ensayo de impacto.

Los materiales compuestos se ensayan según las normas ASTM D3039 para el ensayo de flexión, ASTM D764 para el ensayo de tracción y ASTM D5628-10 para el ensayo de impacto, respectivamente (Anchatuña León & Loachamín Navarrete, 2015, pág. 36). En la Tabla 2.5, se muestran las especificaciones de las probetas, las condiciones y puntos críticos que se debe tomar en cuenta para realizar el respectivo ensayo.

**Tabla 2.5.** Especificaciones de las probetas

| ENSAYO   | NORMATIVA     | CONDICIONES  |
|----------|---------------|--|
| Tracción | ASTM D3039-14 | 5 especímenes.<br>Velocidad de ensayo: 2 mm/min.<br>Dimensiones de probetas:<br>- Longitud: 250 mm.<br>- Ancho: 25 +/-1% mm.<br>- Espesor: 2.5 +/-4% mm. |
| Flexión  | ASTM D7264-07 | 5 especímenes.<br>Velocidad de ensayo: 1 mm/min.<br>Dimensiones de probetas:<br>- Longitud: 160 mm.  |

**Fuente:** (Anchatuña León & Loachamín Navarrete, 2015, pág. 37)

**Tabla 2.5.** Especificaciones de las probetas (**Continuación...**)

| ENSAYO  | NORMATIVA     | CONDICIONES   |
|---------|---------------|---|
| Flexión | ASTM D7264-07 | - Ancho: 13 +/-1% mm.<br>- Espesor: 4 +/-4% mm.   |
| Impacto | ASTM D5628-10 | 5 especímenes.<br>Masa dardo: 414.2 g.<br>Dimensiones de probetas:<br>- Longitud: 58 mm.<br>- Ancho: 58 +/-1% mm.<br>- Espesor: 6 +/-4% mm. |

**Fuente:** (Anchatuña León & Loachamín Navarrete, 2015, pág. 37)

### 2.10.1 ENSAYO DE FLEXIÓN

En este tipo de ensayo se puede determinar la resistencia mecánica, rigidez intrínseca y la ductilidad, el ensayo puede ser realizado de dos maneras, en 3 puntos o en 4 puntos.



**Figura 2.6.** Ensayo de flexión en 3 o 4 puntos  
(Izurieta Guerrero, 2017, pág. 15)

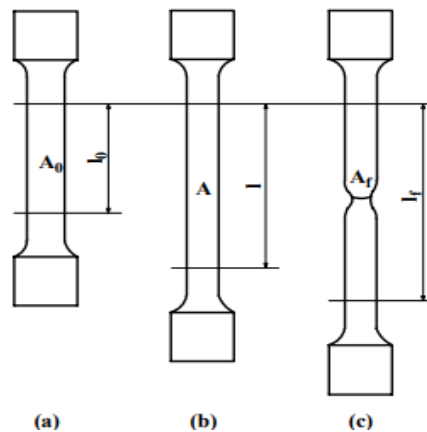
En la **Figura 2.6**, se puede observar los tipos de ensayos de flexión como es el de 3 puntos y el de 4 puntos, el ensayo en 3 puntos consiste en aplicar una carga vertical a la probeta, las cargas que son sometidas en la parte superior se conocen como esfuerzo de compresión y las cargas generadas en la parte inferior se conocen como esfuerzos a tracción (Izurieta Guerrero, 2017, pág. 15).

El ensayo de 4 puntos es similar al de 3 puntos, lo que se diferencia en este ensayo es que tiene 2 esfuerzos de compresión y 2 esfuerzos de tracción. En el ensayo de flexión en 4 puntos el módulo de ruptura es menor que en el de 3 puntos (Izurieta Guerrero, 2017, pág. 15).

Estas propiedades pueden producir variaciones en la superficie de la probeta, debido a que los laminados no son totalmente simétricos, por lo que los resultados serán afectados por la mínima asimetría presente en el laminado (Vargas Flores, 2018, pág. 25).

## 2.10.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Este tipo de ensayo consiste en el estiramiento de una probeta por medio de fuerzas axiales de tracción que es proporcionalmente a sus dimensiones, esto se realiza con la finalidad de identificar sus propiedades mecánicas (Castro Lisintuña, 2018, pág. 24).



**Figura 2.7.** Morfología de probeta para el ensayo de tracción  
(Ñúñez, Roca, & Jorba, 2011, pág. 5)

En la **Figura 2.7**, se observa la morfología y las dimensiones de las probetas de ensayo, en el literal a) se aprecia las dimensiones originales, en el b) las dimensiones durante el ensayo y en el c) las dimensiones finales (Ñúñez, Roca, & Jorba, 2011, pág. 5).

Procedimiento:

- Se coloca la probeta en la máquina.
- Los extremos de la probeta son sujetos mediante mordazas, una es móvil y otra fija.
- Se mide la carga mientras se desplaza la mordaza móvil.
- Identificar la carga aplicada mediante una celda que se encuentra en la mordaza fija.



**Figura 2.8.** Máquina de tracción  
(Castro Lisintuña, 2018, pág. 25)

La **Figura 2.8**, nos indica la ubicación de la probeta en la máquina de tracción, los resultados de las pruebas se presentan en un diagrama carga - desplazamiento que contiene las propiedades y el comportamiento del material.

### 2.10.3 ENSAYO DE IMPACTO

En este ensayo se determina el comportamiento de un material ante velocidades de deformación elevadas proporcionando información sobre la resistencia de un material a la rotura repentina (Peña Tapia, 2015, pág. 57).



**Figura 2.9.** Máquina de impacto  
(Vargas Flores, 2018, pág. 27)

La **Figura 2.9**, nos indica la ubicación de la probeta en la máquina de impacto, consiste en dejar caer el dardo sobre la probeta para luego examinarla y verificar si presenta alguna fisura en las dos caras de la probeta (Vargas Flores, 2018, pág. 27).

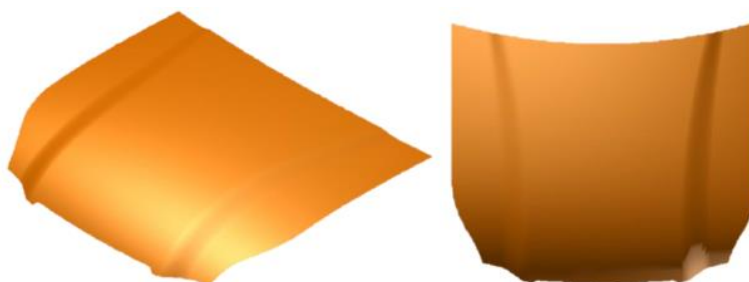
## 2.11 APLICACIONES EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Los materiales compuestos son un tema muy hablado en el campo automotriz, especialmente en el diseño de piezas del vehículo, con la finalidad de reemplazar a los materiales comunes por los materiales compuestos debido a sus mejores propiedades.

Una de las ventajas que se tiene al usar un material compuesto en la industria automotriz es la reducción de peso del vehículo y a la vez un ahorro de combustible. Se estima que al tener un 10% de reducción del peso se obtiene un ahorro de combustible de un 6 a un 8% (Martínez & Verdejo, 2018, pág. 16). Además, se debe tener en cuenta que no solo es importante la reducción de peso del vehículo sino la calidad del material, la seguridad y el precio.

### 2.11.1 PROTOTIPO DE UN CAPOT A BASE DE FIBRAS ORGÁNICAS

Se ha diseñado y caracterizado un material compuesto con base de resina epoxi y fibra de cabuya para ser manufacturado un prototipo de capot de la camioneta Mazda BT-50 2010.



**Figura 2.10.** Modelo del capot de la camioneta Mazda BT-50 2010  
(Pachacama Nasimba, 2015, pág. 68)

En la **Figura 2.10**, se muestra el modelo del capot de la camioneta Mazda BT-50 2010, que se

utilizó para la elaboración de un prototipo capot a base de fibra orgánica (Pachacama Nasimba, 2015, pág. 68).

#### 2.11.1.1 Datos técnicos del material compuesto

El ensayo de tracción se realizó bajo la Norma ASTM D3039-14 obteniendo los siguientes datos:

- Esfuerzo máximo a tracción: 85.92 MPa.
- Esfuerzo máximo a flexión: 18.02 MPa.

#### 2.11.2 FABRICACIÓN DE UN RETROVISOR CON MATERIAL COMPUESTO Y REFUERZO NATURAL

El retrovisor fue fabricado con una matriz polimérica de poliéster y siendo reforzada con la fibra de cabuya, este retrovisor se elaboró para el vehículo Suzuki Forsa.



**Figura 2.11.** Acabado superficial del retrovisor  
(Loza Chávez & Pila Espinosa, 2017, pág. 53)

En la **Figura 2.11**, se observa un retrovisor del vehículo Suzuki Forsa que fue fabricado a base de resina poliéster reforzado con fibra de cabuya (Loza Chávez & Pila Espinosa, 2017, pág. 53).

### **2.11.2.1 Datos técnicos del material compuesto**

El material compuesto a base de resina poliéster reforzado con fibra de cabuya presentó las siguientes propiedades:

- Esfuerzo de máximo de tracción: 4157 MPa.
- Esfuerzo máximo de flexión: 3425 MPa.
- Valoración de impacto: 5.2 J.

## **2.12 ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO**

Para la elaboración de un material compuesto existen algunos procesos para poder llevar a cabo la construcción de una pieza, por lo que se debe escoger el proceso que tenga buenos resultados a un menor costo. Cada proceso debe tener en cuenta los siguientes parámetros: el tipo de matriz, la geometría y tipo de refuerzo, la aplicación del producto, entre otros (Pachacama Nasimba, 2015, pág. 11).

### **2.12.1 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO**

Para la fabricación de todo material compuesto se tiene las siguientes etapas:

#### **2.12.1.1 Impregnación**

En esta etapa se mezcla la fibra y la resina formando una lámina, con la finalidad de que la resina fluya alrededor de todas las fibras.

#### **2.12.1.2 Laminado**

El material pre implementado es llevado al proceso de deformación volumétrica con el fin de obtener el diseño de la pieza.

### **2.12.1.3 Consolidación**

En este proceso se aplica una presión a las capas del material eliminando vacíos y asegurando la mojabilidad de la fibra, permitiendo que el aire no se encuentre entre las capas del material.

### **2.12.1.4 Solidificación**

El proceso de la solidificación puede durar hasta 120 minutos en termoestables (matriz polimérica), esto dependerá de la formulación de la resina y la cinética de curado (Pachacama Nasimba, 2015, págs. 92-93).

## **2.12.2 PLÁSTICOS EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ**

El tipo de material utilizado en la fabricación de los vehículos es muy importante ya que se debe tomar en cuenta ciertos requerimientos como: el costo de producción, la disminución del peso y la seguridad, estos factores son muy importantes para el diseño y selección de los materiales apropiados.

Los materiales plásticos más utilizados en la industria automotriz son: los termoplásticos, termoestables y elastómeros. Los plásticos termoestables son los más adecuados para ser reforzados con cualquier tipo de fibra. Existen algunas piezas del vehículo que se las puede reforzar o mejorar su calidad como: el guardabarros, paragolpes, salpicaderos, entre otros (Ramos Rivero, 2018, pág. 24).

## **2.13 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS PARTES DEL VEHÍCULO**

Para la obtención de las piezas es importante la elaboración del molde con el fin de obtener las formas y medidas deseadas según el estudio y diseño previo realizado, para ello el material es introducido en el molde a presión. Existen algunos tipos de moldeo para la fabricación de piezas



de un vehículo como: estratificación manual, moldeo por aspersión, extrusión, inyección y moldeo por compresión (Pachacama Nasimba, 2015, pág. 11).

### **2.13.1 MOLDES PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS**

En el campo automotriz para la fabricación de piezas de polipropileno con fibras naturales se utilizan moldes de acero, acero inoxidable, aluminio entre otros materiales, con la finalidad de tener mejores acabados (Simbaña Ushiña, 2018, pág. 50).

Para ello se realizó moldeo por contacto (laminado manual) y por compresión. El moldeo por contacto consiste en la aplicación de algunas capas de material de refuerzo sobre el molde para luego impregnar gradualmente la resina, las herramientas que se utiliza para el moldeo por contacto se pueden utilizar un rodillo o una brocha (Taipe Yugcha, 2018, pág. 27).

El moldeo por compresión consiste en intercalar láminas de matriz y refuerzo en forma de pre impregnados en un molde para luego ser prensados (Simbaña Ushiña, 2018, pág. 52). Se realizó el ensayo de impacto del material utilizado para la fabricación del protector del cárter bajo la normativa ASTM D5628-10, obteniendo una resistencia máxima al impacto de 0.6063 J.

### **2.13.2 TIPO DE MOLDES**

El cartón prensado tipo M3G es un material que se utiliza para la elaboración de los moldes por su facilidad de maniobrabilidad, acabado y bajo costo, además facilita el manejo de las diferentes curvas y rectas que posee el diseño de la parte del vehículo (Pauta Solano & Sanchez Ramirez, 2014, pág. 117).

Otro material empleado para elaborar moldes es la fibra de vidrio, para utilizar este material se debe aplicar un desmoldante a la pieza original, con esto se evita que el molde se adhiera a la pieza y pueda presentar fallas en su estructura (Loza Chávez & Pila Espinosa, 2017, págs. 50-51).

### **2.13.3 PROCESO DE ESTRATIFICACIÓN MANUAL**

Según el proceso de estratificación manual cuenta con las siguientes etapas:

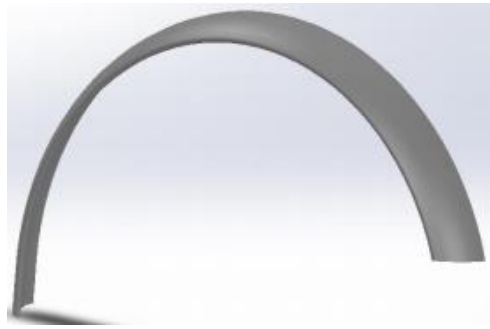
- Se coloca un agente de desmoldeo en el molde para poder retirar con facilidad la pieza final.
- Se aplica la resina gelcoat utilizando una pistola de aspersión o con el empleo de un rodillo o brocha, esto protege al material compuesto de la humedad y permite conseguir un acabado brillante y liso de la pieza.
- Una vez curado el gelcoat se colocan las capas del material de refuerzo y se deposita la resina catalizada sobre cada capa de refuerzo.
- Se pasa un rodillo permitiendo que el refuerzo se impregne del polímero eliminando así el aire atrapado en el laminado.
- Se deja curar la pieza a temperatura ambiente, el tiempo de curado dependerá del porcentaje empleado del iniciador y catalizador.
- Finalmente se extrae la pieza del molde (Pachacama Nasimba, 2015, pág. 12).

### **2.13.4 DISEÑO DE PIEZAS DE UN VEHÍCULO**

Para el diseño de las piezas es necesario estudiar su geometría y el material que se empleará para su fabricación, esto puede influir en el rendimiento, peso y consumo de combustible de un vehículo, por lo que el material empleado debe estar relacionado con el medio ambiente.

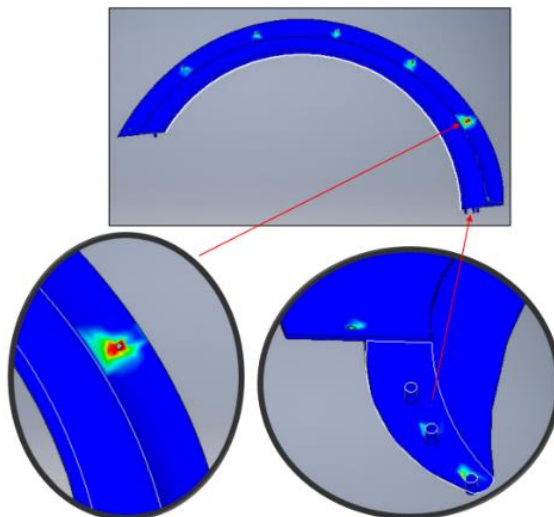
#### **2.13.4.1 Diseño del guardabarros del vehículo**

Los vehículos están equipados con piezas de protección, tanto para el automóvil como para los peatones, el guardabarros debe recubrir todas sus ruedas, el ancho de toda la banda de rodadura y la altura. El guardabarros tiene como función evitar que las piedras, lodo o arena que ingresan al neumático salgan disparadas hacia los peatones o a otros vehículos (Scania, 2017, pág. 1).



**Figura 2.12.** Guardabarros delantero del vehículo Volkswagen Golf MK1  
(Morillo, 2016, pág. 71)

En la **Figura 2.12**, se puede observar el diseño del guardabarros delantero, por lo que debe ser anclado a la parte lateral del vehículo teniendo un fácil montaje. Los guardabarros delantero y posterior del vehículo Volkswagen Golf MK1 serán sujetados utilizando remaches con un diámetro aproximadamente de 4.8 cm. Al realizar los agujeros en el guardabarros para colocar los remaches, estos no deben presentar deformaciones en la pieza, para ello se realiza un análisis de tensiones al momento del diseño de la pieza (Morillo, 2016, pág. 73).



**Figura 2.13.** Análisis del guardabarros posterior del vehículo Volkswagen Golf MK1  
(Morillo, 2016, pág. 81)

En la **Figura 2.13**, se observa los esfuerzos que puede soportar la pieza al momento de realizar los agujeros para ser introducidos los remaches, en uno de los agujeros hay un punto crítico el cual puede ocasionar problemas a largo tiempo por lo que es necesario añadir algún refuerzo y tener una mejor resistencia de la pieza (Morillo, 2016, pág. 81).

## **CAPÍTULO III**

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 MATERIALES**

Los materiales que se utilizó para la elaboración del material compuesto se detallan a continuación.

##### **3.1.1 FIBRA DE CABUYA**

Es el refuerzo del material compuesto que se utilizará junto a la matriz polimérica, se utilizó dos tipos de presentación de la fibra: entretejida y suelta.

##### **3.1.2 RESINA POLIÉSTER**

La resina de poliéster es líquida a temperatura ambiente y puede ser llevada a estado sólido utilizando ciertos complementos como: catalizador y acelerador, además puede combinarse con cualquier tipo de refuerzo.

##### **3.1.3 CERA DESMOLDANTE**

Se utilizó con la finalidad de separar las probetas de los moldes de una manera más sencilla, evitando que las probetas presenten fallas o imperfecciones al momento de desmontarlas.

##### **3.1.4 ESTIRENO**

Es un agente químico utilizado para disminuir la densidad de la resina poliéster, este producto se lo utiliza al 20% máximo de la cantidad de resina a utilizar.

### 3.1.5 CATALIZADOR

El catalizador al ser mezclado con la resina poliéster produce una reacción química transformando de estado líquido a estado sólido conformando así la matriz del material compuesto.

### 3.1.6 ACELERADOR

El acelerador o más bien conocido como octoato de cobalto permite acelerar el proceso de curado de la resina.

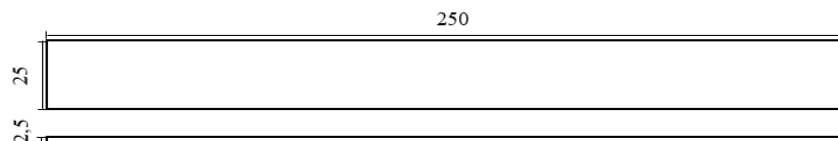
## 3.2 DISEÑO DE LAS PROBETAS

Se elaboró probetas de tracción, flexión e impacto bajo la normativa ASTM con sus respectivas condiciones para cada tipo de ensayo.

### 3.2.1 PROBETAS DE TRACCIÓN

Las probetas de tracción deben tener las siguientes dimensiones:

- Longitud: 250 mm.
- Ancho: 25 +/- 1% mm.
- Espesor: 2.5 +/- 4% mm.



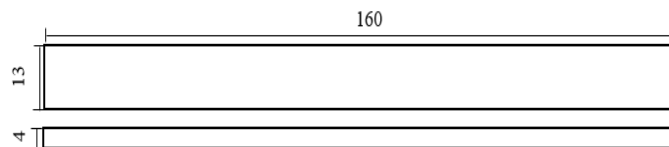
**Figura 3.1.** Dimensiones de la probeta de tracción

En la **Figura 3.1**, se observa las dimensiones de las probetas de tracción como lo indica la normativa ASTM D3039-00.

### 3.2.2 PROBETAS DE FLEXIÓN

Las probetas de flexión deben tener las siguientes dimensiones:

- Longitud: 160 mm.
- Ancho: 13 +/- 1% mm.
- Espesor: 4 +/- 4% mm.



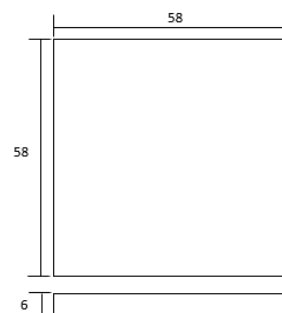
**Figura 3.2.** Dimensiones de la probeta de flexión

En la **Figura 3.2**, se observa las dimensiones de las probetas de flexión como lo indica la normativa D7264-07.

### 3.2.3 PROBETAS DE IMPACTO

Las probetas de impacto deben tener las siguientes dimensiones:

- Longitud: 58 mm.
- Ancho: 58 +/- 1% mm.
- Espesor: 6 +/- 4% mm.



**Figura 3.3.** Dimensiones de la probeta de impacto

En la **Figura 3.3**, se observa las dimensiones de las probetas de impacto como lo indica la normativa D5628-10.

Se consideró necesario 15 probetas para el ensayo de tracción con la norma ASTM D3039-00, 15 probetas para el ensayo de flexión con la norma ASTM D7264-07 y 15 probetas para el ensayo de impacto con la norma ASTM D5628-10, cada probeta tiene diferente fracción volumétrica con su respectiva orientación. En la Tabla 3.1, se muestra las probetas con su respectiva fracción volumétrica, su orientación y la cantidad de probetas que se elaborarán.

**Tabla 3.1.** Probetas, fracción volumétrica y orientación de la fibra de cabuya

| <b>PROBETAS</b> | <b>NORMA<br/>ASTM</b> | <b>FRACCIÓN<br/>VOLUMÉTRICA</b>                                | <b>ORIENTACIÓN<br/>DE LA FIBRA</b> | <b>CANTIDAD</b> |
|-----------------|-----------------------|--|------------------------------------|-----------------|
| Tracción 1      | D3039-00              | Con 60% de matriz polimérica y 40% de la fibra de cabuya.      | 90°-0°-90°                         | 5               |
| Tracción 2      | D3039-00              | Con 85% de matriz polimérica y 15% de cabuya tejida (1 capa).  | Entretejada                        | 5               |
| Tracción 3      | D3039-00              | Con 75% de matriz polimérica y 25% de cabuya tejida (2 capas). |                                    | 5               |
| Flexión 1       | D7264-07              | Con 60% de matriz polimérica y 40% de la fibra de cabuya.      | 90°-0°-90°                         | 5               |
| Flexión 2       | D7264-07              | Con 85% de matriz polimérica y 15% de cabuya tejida (1 capa).  | Entretejada                        | 5               |
| Flexión 3       | D7264-07              | Con 75% de matriz polimérica y 25% de cabuya tejida (2 capas). |                                    | 5               |
| Impacto 1       | D5628-10              | Con 60% de matriz polimérica y 40% de la fibra de cabuya.      | 90°-0°-90°                         | 5               |
| Impacto 2       | D5628-10              | Con 85% de matriz polimérica y 15% de cabuya tejida (1 capa).  | Entretejada                        | 5               |
| Impacto 3       | D5628-10              | Con 75% de matriz polimérica y 25% de cabuya tejida (2 capas). |                                    | 5               |
| <b>TOTAL</b>    |                       |  |                                    | <b>45</b>       |

**Fuente:** (Propia)

### 3.3 CÁLCULOS

Para poder calcular la cantidad de masa de la fibra de cabuya como de la resina se tomó en cuenta la ecuación de la densidad que se detalla a continuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad [3.1]$$

A continuación, se despejó la masa de la ecuación 3.1 y se obtuvo:

$$m = \rho * v \quad [3.2]$$

Donde:

- $\rho$ : densidad del material.
- $m$ : cantidad de masa.
- $v$ : volumen de la fracción volumétrica.

#### 3.3.1 CÁLCULOS UTILIZANDO LA FIBRA SUELTA

Se calculó la cantidad de masa de fibra de cabuya que se utilizará en cada probeta tomando en cuenta la densidad de la fibra de cabuya que es de 1.3 g/cm<sup>3</sup>.

##### 3.3.1.1 Probetas de tracción

El volumen total de la probeta de tracción fue de 15.63 cm<sup>3</sup> por lo que el volumen de fracción volumétrica a 40% fue de 6.25 cm<sup>3</sup>.

Datos:

$$\rho = 1.3 \text{ g/cm}^3$$

$$v = 6.25 \text{ cm}^3$$



Para el cálculo de la cantidad de masa de la fibra suelta para una probeta de tracción se utilizó la Ecuación [3.2].

$$m=1.3 \text{ g/cm}^3 * 6.25 \text{ cm}^3$$

$$\mathbf{m=8.125 \text{ g}}$$

Cálculo de la cantidad de la fibra suelta para cinco probetas de tracción.

$$m_1=8.125 \text{ g} * 5$$

$$\mathbf{m_1=40.625 \text{ g}}$$

Se requirió un volumen total de 40.625 g de fibra suelta para las probetas de tracción.

### 3.3.1.2 Probetas de flexión

El volumen total de la probeta de flexión fue de 8.32 cm<sup>3</sup> por lo que el volumen de fracción volumétrica a 40% fue de 3.328 cm<sup>3</sup>.

Datos:

$$\rho=1.3 \text{ g/cm}^3$$

$$v=3.328 \text{ cm}^3$$

Para el cálculo de la cantidad de masa de la fibra suelta para una probeta de flexión se utilizó la Ecuación [3.2].

$$m=1.3 \text{ g/cm}^3 * 3.328 \text{ cm}^3$$

$$m=4.326 \text{ g}$$

Cálculo de la cantidad de la fibra suelta para cinco probetas de flexión.

$$m_2=4.326 \text{ g} * 5$$

$$m_2=21.632 \text{ g}$$

Se requirió un volumen total de 21.632 g de fibra suelta para las probetas de flexión.

### 3.3.1.3 Probetas de impacto

El volumen total de la probeta de impacto fue de 20.184 cm<sup>3</sup> por lo que el volumen de fracción volumétrica a 40% fue 8.074 cm<sup>3</sup>.

Datos:

$$\rho=1.3 \text{ g/cm}^3$$

$$v=8.074 \text{ cm}^3$$

Para el cálculo de la cantidad de masa de la fibra suelta para una probeta de impacto se utilizó la Ecuación [3.2].

$$m=1.3 \text{ g/cm}^3 * 8.074 \text{ cm}^3$$

$$m=10.496 \text{ g}$$

Cálculo de la cantidad de la fibra suelta para cinco probetas de impacto.

$$m_3=10.496 \text{ g} * 5$$

$$m_3=56.478 \text{ g}$$

Se requirió un volumen total de 56,478 g de fibra suelta para las probetas de impacto.

$$m_{\text{total}}=m_1+m_2+m_3$$

$$m_{\text{total}}=40.625 \text{ g}+21.632 \text{ g}+56.478 \text{ g}$$

$$m_{\text{total}}=118.735 \text{ g}$$

Se requirió un volumen total de 118,735 g de fibra suelta para la elaboración de las 15 probetas.

## **3.4 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA**

### **3.4.1 FIBRA DE CABUYA SUELTA**

La fibra de cabuya se obtuvo directamente de los comerciantes de cabuya, esta viene enredada por lo que se realizó un cepillo en un banco de clavos con la finalidad de que la fibra de cabuya se desenrede y pueda manipularse de mejor manera.



**Figura 3.4.** Fibra de cabuya suelta

En la Figura 3.4, se observa la fibra de cabuya suelta que se utilizó en la elaboración del material compuesto, esta fibra para ser utilizada no se sometió a ningún tratamiento químico dando como resultado una mejor manipulación.

### **3.4.2 FIBRA DE CABUYA ENTRETEJIDA**

La cabuya entretejida se obtuvo igualmente de los comerciantes ya que ellos se encargaban de realizar manualidades con la fibra de cabuya, además ellos tenían las máquinas necesarias para realizar el entretejido que tenían de distintas dimensiones dependiendo del grosor de los hilos de cabuya.

Se tomó en cuenta el tejido de cabuya que tenga las hebras más delgadas y un espacio entre hilos más estrecho con la finalidad de que la fibra de cabuya entretejida sirva para la elaboración de probetas, al tener un entretejido más estrecho nos permite tener una mejor adherencia entre la resina y la fibra.



**Figura 3.5.** Fibra de cabuya entretejida

En la **Figura 3.5**, se observa la fibra de cabuya entretejida, para su elaboración se utilizó una máquina tejedora de cabuya, la fibra de cabuya debe ir trenzada formando hilos con un espesor de 1 mm, estos hilos son colocados en la máquina tejedora formando así la fibra de cabuya tejida con un espacio entre los hilos de 3 o 4 mm.

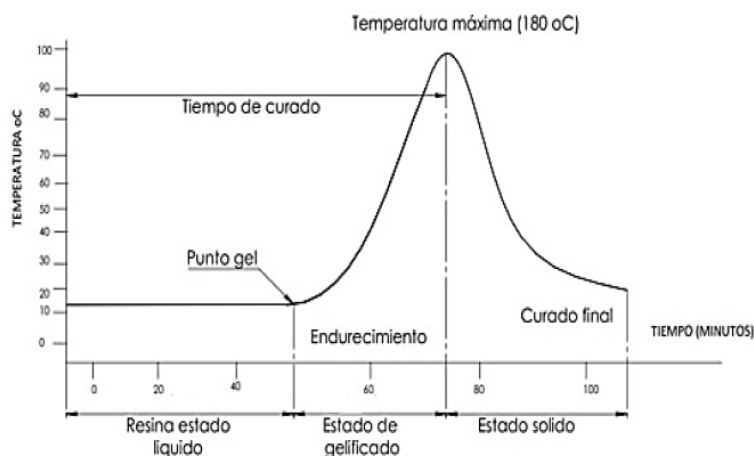
Una vez tejida la fibra de cabuya se realiza el proceso de engomado que consiste en introducir la fibra entretejida en una mezcla de agua con goma, la relación entre estas dos sustancias es de 50% de cada una, este tipo de proceso nos permite obtener un entretejido más angosto y pueda empaparse de mejor manera la fibra con la resina poliéster.

Posteriormente a la fibra entretejida engomada se la deja secar durante “3h” a una temperatura ambiente de 25.7°C, para luego ser utilizada.

### **3.5 CURADO DE LA RESINA POLIÉSTER**

El proceso de curado de la resina poliéster consiste en pasar de un estado líquido a un estado sólido, para ello se necesita de otros complementos un acelerador (octoato de cobalto) y el catalizador mek peróxido, la cantidad de estas sustancias dependerá de la cantidad de resina poliéster que se va a utilizar en el material compuesto.

Durante el proceso de curado se forma una reacción exotérmica liberando el calor por reacción de sus componentes llegando a una temperatura hasta los 150°C en un corto tiempo (Tixe Subina & Vistín Bastidas, 2015, pág. 26).



**Figura 3.6.** Curado de la resina poliéster  
(Tixe Subina & Vistín Bastidas, 2015, pág. 26)

En la **Figura 3.6**, se muestra la curva de curado de la resina poliéster en función de la temperatura vs tiempo, se tiene tres estados de la resina: líquida, gelificada y sólida.

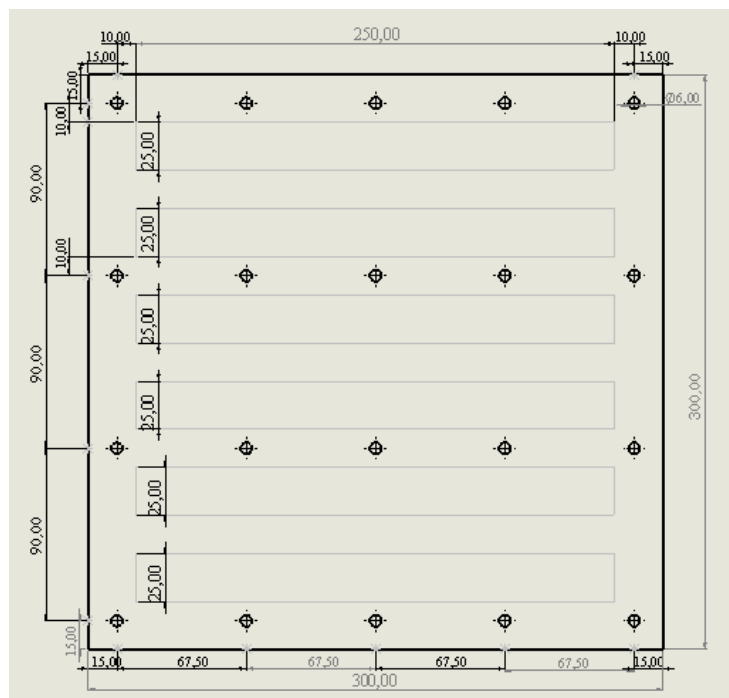
## 3.6 FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

### 3.6.1 ELABORACIÓN DE LOS PLANOS DE LOS MOLDES

En la fabricación de las probetas del material compuesto se utilizó tableros de madera como material de molde, este material es adecuado debido a su bajo coste y a su resistencia a temperaturas de 150°C que es la máxima temperatura que puede llegar durante el curado de la resina poliéster y sus agentes químicos.

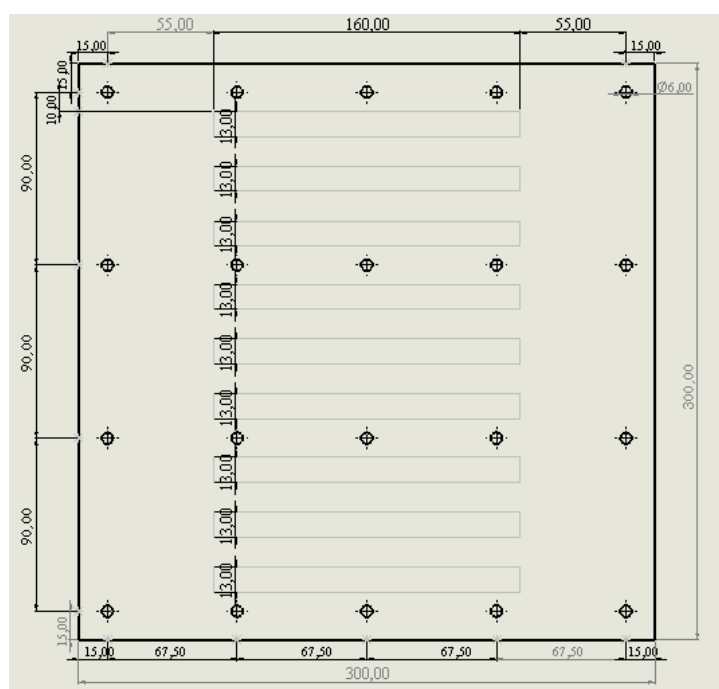
Para poder determinar la cantidad de probetas que se obtendría de cada tablero se realizó tres planos para las probetas de tracción, flexión e impacto, estos planos fueron diseñados en el programa SolidWorks debido a su forma rápida y eficiente en el desarrollo de los planos.

A continuación, se muestran los planos de los tableros con sus respectivas dimensiones, en cada uno de ellos está diseñado la cantidad de probetas, las divisiones de las perforaciones que se van a realizar, estas perforaciones nos van a permitir comprimir el material compuesto de manera uniforme.



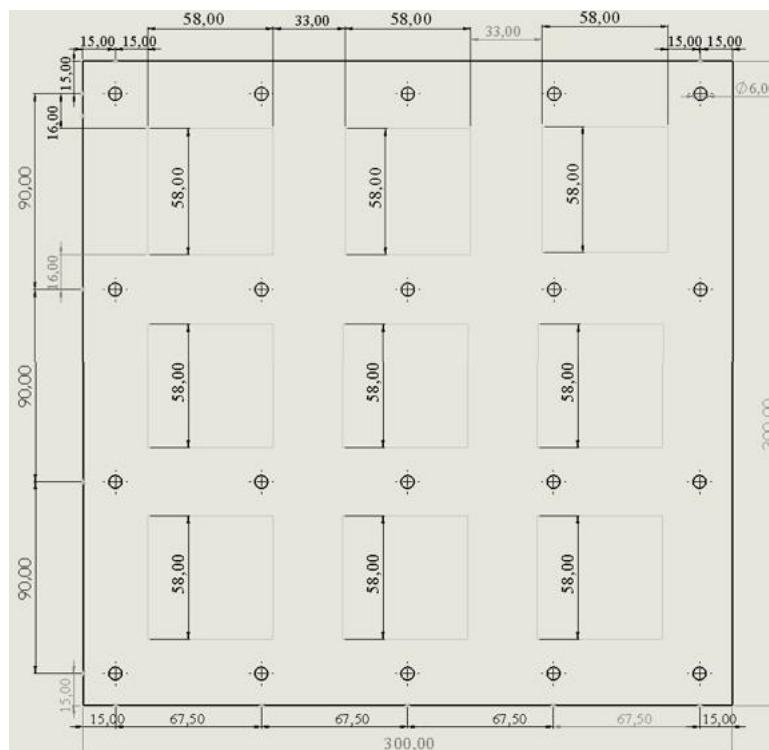
**Figura 3.7.** Plano de tablero de las probetas de tracción

En la **Figura 3.7**, se puede observar el plano del tablero de las probetas de tracción con sus respectivas dimensiones en milímetros, en este tablero se pudo obtener seis probetas de tracción.



**Figura 3.8.** Plano de tablero de las probetas de flexión

En la **Figura 3.8**, se puede observar el plano del tablero de las probetas de flexión con sus respectivas mediciones en milímetros, en este tablero se pudo obtener nueve probetas de flexión.



**Figura 3.9.** Plano de tablero de las probetas de impacto

En la **Figura 3.9**, se puede observar el plano del tablero de las probetas de impacto con sus respectivas mediciones en milímetros, en este tablero se pudo obtener nueve probetas de impacto.

Según la normativa ASTM se debe tener 5 probetas para cada ensayo (tracción, flexión e impacto), por lo que se seleccionó las 5 mejores probetas obtenidas de los tableros de cada tipo de composición volumétrica, en total se tendría 45 probetas para poder realizar los ensayos.

### 3.6.2 ELABORACIÓN DE LOS MOLDES

Con los datos obtenidos de los planos se requirió nueve tableros de madera, cada tablero está conformado por dos láminas de madera con dimensiones de 300x300 mm, estos tableros tienen

un espesor de 12 mm, cada uno está designado para diferentes composiciones volumétricas y tipos de probetas.



**Figura 3.10.** Tablero de madera para las probetas

En la **Figura 3.10**, se observa el tablero de madera que se utilizó en la elaboración de las probetas. A cada tablero se realizó 20 perforaciones con un diámetro de 6 mm, en dichas perforaciones se colocó pernos para que las dos hojas del tablero puedan ejercer una correcta presión hacia las probetas evitando que se produzcan burbujas de aire.

### **3.6.3 APLICACIÓN DE LA CERA DESMOLDANTE**

Antes de aplicar la cera desmoldante se realizó un cepillado de la superficie de los tableros eliminando todas las imperfecciones y tener un buen acabado superficial para poder aplicar la cera desmoldante. Con el uso de trapos se aplicó la cera desmoldante en cada tablero con la finalidad de que quede bien lustrado, luego se deja secar aproximadamente 3 horas.



**Figura 3.11.** Aplicación de la cera desmoldante



En la **Figura 3.11**, se observa la aplicación de la cera desmoldante y fue aplicada en todas las superficies de los tableros.

### **3.6.4 PERFORACIÓN DE LOS TABLEROS**

Una vez que se haya secado la cera desmoldante se realizó las 20 perforaciones en los tableros utilizando un taladro con una broca de 6 mm de diámetro.



**Figura 3.12.** Perforación de los agujeros

En la **Figura 3.12**, se realizó perforaciones en los tableros con el fin de poder comprimir el material compuesto utilizando pernos con un diámetro de 6 mm. En seguida se utilizó trapos limpios para limpiar las superficies de los tableros eliminando cualquier polvo o suciedad que esté presente.

### **3.6.5 COMPOSICIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO EN LOS TABLEROS**

Se calculó la cantidad de resina poliéster y de fibra de cabuya que se necesitó para cada tablero de madera.

Antes de aplicar la resina poliéster en los tableros de madera se preparó la mezcla de la resina con el estireno, con el acelerador (octoato de cobalto) y con el catalizador meck peróxido. Se utilizó el 10% de estireno respecto a la cantidad de resina que se utilizó en los tableros, esto se

realizó con la finalidad de disminuir la viscosidad de la resina poliéster teniendo una mejor fluidez en la fibra de cabuya. Para determinar las cantidades correctas de los agentes químicos se utilizó las Ecuaciones [3.3] y [3.4]:

$$\text{MEK} = C \cdot 0,3 \cdot 0,05 \quad [3.3]$$

$$\text{Co} = C \cdot 0,04 \cdot 0,05 \quad [3.4]$$

Donde:

- C = Cantidad de resina.
- Pe = Cantidad de Meck Peróxido.
- Co = Cantidad de Octoato de Cobalto

### 3.6.6 PROBETAS CON FIBRA DE CABUYA SUELTA Y RESINA POLIÉSTER

Una vez seca la cera desmoldante de los tableros se prepara la mezcla de la resina poliéster con sus agentes calculando la cantidad que se necesita para cada capa. Para los tableros de 40% de fibra de cabuya y 60% de resina poliéster, se aplicó cuatro capas de resina poliéster y tres capas de fibra suelta con diferente orientación.



**Figura 3.13.** Fibra de cabuya suelta

En la **Figura 3.13**, se observa la colocación de fibra de cabuya suelta en los tableros con su respectiva orientación.

### 3.6.6.1 Probetas de tracción con fibra de cabuya suelta

Se calculó la cantidad de resina poliéster y de fibra de cabuya suelta que se necesitó en este tipo de tablero, por lo que se tuvo un volumen de 225 cm<sup>3</sup>. La cantidad de resina poliéster que se necesitó en el tablero de las probetas de tracción fue de 162 gramos y la cantidad de fibra de cabuya suelta fue de 117 gramos, en total se tendría 279 gramos de los materiales que ocuparía todo el tablero de las probetas de tracción.

En la Tabla 3.2, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de tracción.

**Tabla 3.2.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de tracción

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 40.5 g             | 4 g          | 0.61 g            | 0.1 g      |
| 2     | 40.5 g             | 4 g          | 0.61 g            | 0.1 g      |
| 3     | 40.5 g             | 4 g          | 0.61 g            | 0.1 g      |
| 4     | 40.5 g             | 4 g          | 0.61 g            | 0.1 g      |

Fuente: (Propia)

En la Tabla 3.3, se muestra las capas, la cantidad y la orientación de la fibra de cabuya suelta en la que deben ir colocadas en el tablero de las probetas de tracción.

**Tabla 3.3.** Cantidad de fibra suelta y su orientación en probetas de tracción

| Capas | Cantidad de fibra suelta | Orientación de la fibra |
|-------|--------------------------|-------------------------|
| 1     | 39 g                     | 90°                     |
| 2     | 39 g                     | 0°                      |
| 3     | 39 g                     | 90°                     |

Fuente: (Propia)

### 3.6.6.2 Probetas de flexión con fibra de cabuya suelta

Para el tablero de las probetas de flexión se tuvo un volumen de 360 cm<sup>3</sup>. La cantidad de resina poliéster que se necesitó en el tablero de las probetas de flexión fue de 259.2 gramos y la

cantidad de fibra de cabuya suelta fue de 187.2 gramos, en total se tendría 446,4 gramos de los materiales que ocuparía todo el tablero de las probetas de flexión.

En la Tabla 3.4, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de flexión.

**Tabla 3.4.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de flexión

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 64.8 g             | 6.48 g       | 0.97 g            | 0.1 g      |
| 2     | 64.8 g             | 6.48 g       | 0.97 g            | 0.1 g      |
| 3     | 64.8 g             | 6.48 g       | 0.97 g            | 0.1 g      |
| 4     | 64.8 g             | 6.48 g       | 0.97 g            | 0.1 g      |

Fuente: (Propia)

En la Tabla 3.5, se muestra las capas, la cantidad y la orientación de la fibra de cabuya suelta en la que deben ir colocadas en el tablero de las probetas de flexión.

**Tabla 3.5.** Cantidad de fibra suelta y su orientación en probetas de flexión

| Capas | Cantidad de fibra suelta | Orientación de la fibra |
|-------|--------------------------|-------------------------|
| 1     | 62.4 g                   | 90°                     |
| 2     | 62.4 g                   | 0°                      |
| 3     | 62.4 g                   | 90°                     |

Fuente: (Propia)

### 3.6.6.3 Probetas de impacto con fibra de cabuya suelta

Para el tablero de las probetas de impacto se tuvo un volumen de 540 cm<sup>3</sup>. La cantidad de resina poliéster que se necesitó en el tablero de las probetas de impacto fue de 388.8 gramos y la cantidad de fibra de cabuya suelta fue de 280.8 gramos, en total se tendría 669,6 gramos de los materiales que ocuparía todo el tablero de las probetas de impacto.

En la Tabla 3.6, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de impacto.

**Tabla 3.6.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de impacto

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 70.2 g             | 7.02 g       | 1.05 g            | 0.14 g     |
| 2     | 70.2 g             | 7.02 g       | 1.05 g            | 0.14 g     |
| 3     | 70.2 g             | 7.02 g       | 1.05 g            | 0.14 g     |
| 4     | 70.2 g             | 7.02 g       | 1.05 g            | 0.14 g     |

Fuente: (Propia)

En la Tabla 3.7, se muestra las capas, la cantidad y la orientación de la fibra de cabuya suelta en la que deben ir colocadas en el tablero de las probetas de impacto.

**Tabla 3.7.** Cantidad de fibra suelta y su orientación en probetas de impacto

| Capas | Cantidad de fibra suelta | Orientación de la fibra |
|-------|--------------------------|-------------------------|
| 1     | 93.6 g                   | 90°                     |
| 2     | 93.6 g                   | 0°                      |
| 3     | 93.6 g                   | 90°                     |

Fuente: (Propia)

Una vez determinado la cantidad de fibra de cabuya y de resina poliéster para cada tablero, se coloca sobre un recipiente la cantidad de resina poliéster que se utilizará en la primera capa para luego con una brocha esparcir la resina por todo el tablero cubriendo totalmente su superficie.

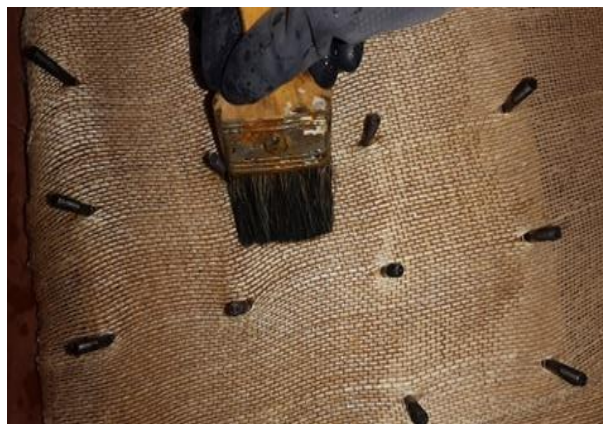
Inmediatamente se colocó la primera capa de fibra de cabuya suelta a 90° de igual manera cubriendo toda la superficie del tablero, para luego aplicar las capas restantes de la resina y de la fibra, por último, se colocó el otro tablero encima de la última capa de la resina poliéster.

**Figura 3.14.** Sellado de los tableros

En la **Figura 3.14**, se observa el sellado de los tableros, para poder presionar estos dos tableros se utilizó pernos con un diámetro de 6 mm, se realizó un correcto ajuste de los pernos ejerciendo una correcta presión hacia el material compuesto impidiendo que se creen burbujas de aire.

### **3.6.7 PROBETAS CON FIBRA DE CABUYA TEJIDA Y RESINA POLIÉSTER**

Para la elaboración de las probetas con la fibra de cabuya tejida se pesó la fibra tejida con las mediciones de los tableros de madera que fue de 300x300 mm dando como resultado un peso de 35 g, con el fin de determinar la cantidad de resina poliéster que se necesita para complementar el material compuesto.



**Figura 3.15.** Fibra de cabuya tejida

En la **Figura 3.15**, se observa la fibra de cabuya tejida colocada en el tablero y se está aplicando una capa de resina poliéster, con la brocha se empapa toda su superficie de la fibra tejida de una manera rápida ya que esta resina tiene un corto tiempo de secado.

#### **3.6.7.1 Probetas con una capa de fibra de cabuya tejida y resina poliéster**

Para el tablero de una capa de fibra de cabuya entretejida se colocó una capa de resina poliéster, luego una capa de fibra entretejida y otra capa de resina poliéster, en seguida se cubrió con el otro tablero.

### 3.6.7.1.1 Probetas de tracción con una capa de fibra de cabuya tejida

Para esta composición se tomó en cuenta el contenido que tienen los tableros de las probetas de tracción que fue de 279 gramos de ambos materiales, por lo que en este tablero se ocuparía 244 gramos de resina poliéster y los 35 gramos de la capa de fibra de cabuya tejida. En la Tabla 3.8, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de tracción.

**Tabla 3.8.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de tracción

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 122 g              | 12.2 g       | 1.83 g            | 0.24 g     |
| 2     | 122 g              | 12.2 g       | 1.83 g            | 0.24 g     |

Fuente: (Propia)

### 3.6.7.1.2 Probetas de flexión con una capa de fibra de cabuya tejida

Para esta composición se tomó en cuenta el contenido que tienen los tableros de las probetas de flexión que fue de 446.4 gramos de ambos materiales, por lo que en este tablero se ocuparía 411.4 gramos de resina poliéster y los 35 gramos de la capa de fibra de cabuya tejida. En la Tabla 3.9, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de flexión.

**Tabla 3.9.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de flexión

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 205.7 g            | 20.57 g      | 3.09 g            | 0.4 g      |
| 2     | 205.7 g            | 20.57 g      | 3.09 g            | 0.4 g      |

Fuente: (Propia)

### 3.6.7.1.3 Probetas de impacto con una capa de fibra de cabuya tejida

Para esta composición se tomó en cuenta el contenido que tienen los tableros de las probetas de impacto que fue de 669.6 gramos de ambos materiales, por lo que en este tablero se ocuparía

634.6 gramos de resina poliéster y los 35 gramos de la capa de fibra de cabuya tejida. En la Tabla 3.10, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de impacto.

**Tabla 3.10.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de impacto

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 317.3 g            | 31.73 g      | 4.76 g            | 0.63 g     |
| 2     | 317.3 g            | 31.73 g      | 4.76 g            | 0.63 g     |

Fuente: (Propia)

### 3.6.7.2 Probetas con dos capas de fibra de cabuya tejida y resina poliéster

Para el tablero de dos capas de fibra de cabuya entretejida se colocó la resina y la fibra en el siguiente orden: una capa de resina poliéster, una capa de fibra de cabuya entretejida, una capa de resina poliéster, otra capa de fibra de cabuya entretejida y una última capa de resina poliéster, para luego cubrirla con un tablero y sellarlo.

#### 3.6.7.2.1 Probetas de tracción con dos capas de fibra de cabuya tejida

Para esta composición se tomó en cuenta el contenido que tienen los tableros de las probetas de tracción que fue de 279 gramos de ambos materiales, por lo que en este tablero se ocuparía 209 gramos de resina poliéster y los 70 gramos de las dos capas de fibra de cabuya tejida. En la Tabla 3.11, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de tracción.

**Tabla 3.11.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de tracción

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 69.67 g            | 6.97 g       | 1 g               | 0.1 g      |
| 2     | 69.67 g            | 6.97 g       | 1 g               | 0.1 g      |
| 3     | 69.67 g            | 6.97 g       | 1 g               | 0.1 g      |

Fuente: (Propia)



### 3.6.7.2.2 Probetas de flexión con dos capas de fibra de cabuya tejida

Para esta composición se tomó en cuenta el contenido que tienen los tableros de las probetas de flexión que fue de 446.4 gramos de ambos materiales, por lo que en este tablero se ocuparía 376.4 gramos de resina poliéster y los 70 gramos de las dos capas de fibra de cabuya tejida. En la Tabla 3.12, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de flexión.

**Tabla 3.12.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de flexión

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 125.47 g           | 12.55 g      | 1.88 g            | 0.25 g     |
| 2     | 125.47 g           | 12.55 g      | 1.88 g            | 0.25 g     |
| 3     | 125.47 g           | 12.55 g      | 1.88 g            | 0.25 g     |

Fuente: (Propia)

### 3.6.7.2.3 Probetas de impacto con dos capas de fibra de cabuya tejida

Para esta composición se tomó en cuenta el contenido que tienen los tableros de las probetas de impacto que fue de 669.6 gramos de ambos materiales, por lo que en este tablero se ocuparía 599.6 gramos de resina poliéster y los 70 gramos de las dos capas de fibra de cabuya tejida. En la Tabla 3.13, se muestra el número de capas y la cantidad de resina poliéster con sus respectivos agentes químicos para el tablero de las probetas de impacto.

**Tabla 3.13.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos en probetas de impacto

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 199.87 g           | 19.98 g      | 2.99 g            | 0.4 g      |
| 2     | 199.87 g           | 19.98 g      | 2.99 g            | 0.4 g      |
| 3     | 199.87 g           | 19.98 g      | 2.99 g            | 0.4 g      |

Fuente: (Propia)

Al finalizar la colocación de las capas de resina y de las fibras de cabuya se sellan los tableros ajustando los pernos de 6 mm de diámetro, con el fin de comprimir correctamente el material

compuesto evitando que se produzcan burbujas de aire y dando como resultado un material con buena calidad.



**Figura 3.16.** Sellado de los tableros

En la **Figura 3.16**, se observa el ajuste de los pernos de los tableros de madera que se realizó de manera uniforme en todos los pernos, el apriete se realizó hasta que la resina apenas este saliendo de los extremos de los tableros.

### **3.5.8 TIEMPO DE CURADO**

Para el tiempo de curado del material compuesto de los tableros se los dejó durante 15 días aproximadamente a temperatura ambiente debido a que es la temperatura ideal para el curado de este tipo de resina, para posteriormente realizar el proceso del desmolde.

### **3.5.9 DESMOLDE**

Una vez que se haya culminado el tiempo de curado se separó el material compuesto de los tableros, para ello primero se utilizó una amoladora para pulir todos los extremos del tablero eliminando los residuos de los materiales, luego se aflojó los pernos de los tableros, con el uso de una espátula y unos golpes suaves separando así el material compuesto de los tableros de madera.



**Figura 3.17.** Desmolde del material compuesto

En la **Figura 3.17**, se observa el desmolde del material compuesto de la composición de resina poliéster y una capa de fibra de cabuya tejida, se puede notar que se tiene un buen acabado superficial.

### 3.5.10 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS

Una vez desmoldado el material compuesto se realizó el corte de las probetas de tracción, flexión e impacto de cada composición volumétrica con sus respectivas mediciones, para luego ser enviadas a las pruebas de ensayo.



**Figura 3.18.** Probetas de tracción, flexión e impacto

En la **Figura 3.18**, se observa las probetas obtenidas, en el caso de las probetas de tracción se adicionó en sus extremos pedazos de lija, esto se realizó con la finalidad de que exista mayor precisión durante el ensayo.

### 3.6 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

El material compuesto fue expuesto a tres tipos de ensayos a tracción, flexión e impacto, los ensayos a tracción y flexión se realizaron en los laboratorios del Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero de la provincia de Tungurahua, mientras que el ensayo de impacto se realizó en el laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato.

En la Tabla 3.14, se detalla los grupos de probetas con su respectiva composición volumétrica.

**Tabla 3.14.** Grupos de las probetas

| <b>GRUPO</b> | <b>COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA</b>                           |
|--------------|--|
| 1            | Una capa de fibra de cabuya tejida + resina poliéster.   |
| 2            | Dos capas de fibra de cabuya tejida + resina poliéster.  |
| 3            | 40% de fibra de cabuya suelta + 60% de resina poliéster. |

**Fuente:** (Propia)

#### 3.6.8 ENSAYO DE LAS PROBETAS DE TRACCIÓN

Los ensayos de las probetas de tracción se realizaron en la máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN, para ello se necesitó cinco probetas con dimensiones de (250x25x2.5) mm que es lo que designa la normativa ASTM D3039-00.

Para determinar las propiedades mecánicas de las 5 probetas expuestas a tracción se analizó el esfuerzo máximo, el porcentaje de elongación y el módulo de elasticidad con los datos obtenidos del equipo.

##### 3.6.8.1 Esfuerzo máximo de tracción

Para calcular el esfuerzo máximo de tracción de las cinco probetas ensayadas se utilizó la Ecuación [3.5].

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F}{A} \quad [3.5]$$

Donde:

- $\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo Máximo (MPa).
- $F$  = Carga máxima (N).
- $A$  = Área en la sección transversal ( $\text{mm}^2$ ).

### 3.6.8.2 Porcentaje de elongación

Para calcular el porcentaje de elongación a tracción del material compuesto se utilizó la Ecuación [3.6].

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L_g} \quad [3.6]$$

Donde:

- $\varepsilon$  = Porcentaje de deformación.
- $\delta$  = Desplazamiento por parte del extensómetro (mm).
- $L_g$  = Longitud del extensómetro (mm).

### 3.6.8.3 Módulo de elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad del material compuesto se utilizó la Ecuación [3.7].

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [3.7]$$

Donde:

- $E$  = Módulo de elasticidad o módulo de Young (MPa).
- $\sigma$  = Esfuerzo Máximo (MPa).
- $\varepsilon$  = Porcentaje de deformación.

### 3.6.8.4 Tipo de falla

Se determinó el tipo de falla que tienen las probetas de tracción a través de los criterios de la normativa ASTM D3039-00. En la Tabla 3.15, se observa la nomenclatura de los tipos de fallo de las probetas a tracción.

**Tabla 3.15.** Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de tracción  
**NOMENCLATURA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM 3039-00**

| Primer carácter |               | Segundo carácter |                   | Tercer carácter |                |
|-----------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|----------------|
| Símbolo         | Tipo de falla | Símbolo          | Tipo de falla     | Símbolo         | Tipo de falla  |
| L               | Lateral       | A                | En el agarre      | T               | Parte superior |
| X               | Explosiva     | I                | Dentro del agarre | B               | Parte inferior |
| A               | Angular       | G                | Zona calibrada    | M               | Medio          |

Fuente: (Normativas ASTM)

### 3.6.9 ENSAYO DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN

Los ensayos de las probetas de flexión se realizaron en la máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 1500KN, para ello se necesitó cinco probetas con las dimensiones de (160x13x4) mm que es lo que designa la normativa ASTM D7264-07.

Para determinar las propiedades mecánicas de las 5 probetas expuestas a flexión se analizó el esfuerzo máximo, la deformación máxima y el módulo de elasticidad con los datos obtenidos del equipo.

#### 3.6.9.1 Esfuerzo máximo a flexión

Para calcular el esfuerzo máximo de flexión de las cinco probetas ensayadas se utilizó la Ecuación [3.8] del esfuerzo de flexión de 3 puntos.

$$\sigma_{\text{máxf}} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad [3.8]$$

Donde:

- $\sigma_{\text{máxf}}$  = Esfuerzo Máximo (MPa).
- $P$  = Fuerza aplicada (N).
- $L$  = Longitud entre los apoyos (mm).
- $b$  = ancho de probeta (mm).
- $h$  = espesor de la probeta (mm).

### 3.6.9.2 Deformación máxima

Para calcular la deformación máxima a flexión de las cinco probetas ensayadas se utilizó la Ecuación [3.9].

$$\epsilon = \frac{68h}{L^2} \quad [3.9]$$

Donde:

- $\epsilon$  = Deformación máxima (%).
- $h$  = Espesor de la probeta (mm).
- $L$  = Longitud entre los apoyos (mm).

### 3.6.9.3 Módulo de elasticidad

Para poder determinar el módulo de elasticidad del material compuesto a flexión se utilizó la siguiente ecuación [3.10].

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta} \quad [3.10]$$

Donde:

- $E_f$  = Módulo de elasticidad (MPa).
- $L$  = Longitud entre apoyos (mm).
- $F$  = Fuerza aplicada (N).
- $b$  = Ancho de probeta (mm).
- $h$  = Espesor de probetas (mm).
- $\delta$  = Deflexión de la probeta (mm).

### 3.6.9.4 Tipo de falla

Se determinó el tipo de falla que tienen las probetas de flexión a través de los criterios de la normativa ASTM D7264-00.

En la Tabla 3.16, se observa la nomenclatura de los tipos de fallo de las probetas a flexión.

**Tabla 3.16.** Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de flexión  
**NOMENCLATURA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM 7264-00**

| Primer carácter |               | Segundo carácter |                                    | Tercer carácter |               |
|-----------------|---------------|------------------|------------------------------------|-----------------|---------------|
| Símbolo         | Tipo de falla | Símbolo          | Tipo de falla                      | Símbolo         | Tipo de falla |
| 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               | Mitad         |

Fuente: (Normativa ASTM)

### 3.6.10 ENSAYO DE LAS PROBETAS DE IMPACTO

Los ensayos de las probetas de impacto se realizaron en la máquina tipo caída de masas de impacto, para ello se necesitó cinco probetas con las dimensiones de (58x58x6) mm que es lo que designa la normativa ASTM D5628-10.



### 3.6.10.1 Energía media de fallo

Para determinar la energía absorbida de las probetas de impacto se utilizó la siguiente Ecuación [3.11].

$$\text{MEF} = h * w * f \quad [3.11]$$

Donde:

- MEF = Efecto producido por el impacto.
- h = Altura del que se realiza el ensayo (mm).
- w = Masa.
- f = factor de conversión  $9.80665 * 10^{-3}$ .

### 3.6.10.2 Tipo de falla

En la Tabla 3.17, se observa el tipo de falla de cada probeta de impacto para ello se basó en la nomenclatura de normativa ASTM D5628-10, que nos indica el código y su respectivo carácter para determinar si la probeta falla o no.

**Tabla 3.17.** Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de impacto  
**NOMENCLATURA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM D5628-10**

| CÓDIGO | CARÁCTER  | CONCLUSIÓN |
|--------|---|------------|
| A      | Grieta en una sola superficie, la probeta puede todavía sostener el agua. | NO FALLA   |
| B      | El agua probablemente penetrará a través de la probeta.                   | NO FALLA   |
| C      | La probeta está fracturada en varias partes de la superficie.             | FALLA      |
| D      | Ruptura total atravesando el espesor de la probeta.                       | FALLA      |

**Fuente:** (Normativa ASTM)

### 3.7 ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO

#### 3.7.1 CANTIDAD DE RESINA POLIÉSTER Y FIBRA DE CABUYA SUELTA

Para la fabricación de este tipo de pieza se realizó 4 capas de resina poliéster y 3 capas de fibra de cabuya suelta respetando la fracción volumétrica de 60% de resina poliéster y 40% de fibra de cabuya.

En la Tabla 3.18, se puede observar la cantidad de resina poliéster y sus aditivos que se utilizó en las 4 capas.

**Tabla 3.18.** Cantidad de resina poliéster y sus agentes químicos para el guardabarros

| Capas | Cantidad de resina | 10% estireno | 1.5 % Catalizador | Acelerador |
|-------|--------------------|--------------|-------------------|------------|
| 1     | 360 g              | 36 g         | 5.4 g             | 0.72 g     |
| 2     | 360 g              | 36 g         | 5.4 g             | 0.72 g     |
| 3     | 360 g              | 36 g         | 5.4 g             | 0.72 g     |
| 4     | 360 g              | 36 g         | 5.4 g             | 0.72 g     |

Fuente: (Propia)

En la Tabla 3.19, se puede observar la cantidad de fibra de cabuya suelta que se necesitó en las 3 capas.

**Tabla 3.19.** Cantidad de fibra de cabuya suelta para el guardabarros

| Capas | Cantidad de fibra suelta | Orientación de la fibra |
|-------|--------------------------|-------------------------|
| 1     | 320 g                    | 90°                     |
| 2     | 320 g                    | 0°                      |
| 3     | 320 g                    | 90°                     |

Fuente: (Propia)

#### 3.7.2 MOLDE DEL PROTOTIPO GUARDABARROS

Para la fabricación del prototipo del guardabarros se requirió un molde a base de resina poliéster con fibra de vidrio.



**Figura 3.19.** Molde del guardabarros

En la **Figura 3.19**, se observa el molde del guardabarros de la camioneta Mazda BT-50 compuesto por 3 kg de resina poliéster y 1 kg de fibra de vidrio. Una vez obtenido el molde del guardabarros de la camioneta Mazda BT-50 se procede a realizar el prototipo con la resina poliéster y la fibra de cabuya suelta.

### 3.7.3 APLICACIÓN DE LA CERA DESMOLDANTE

Antes de aplicar la cera desmoldante se debe limpiar la superficie del molde eliminando cualquier impureza con el fin de obtener un buen acabado superficial del guardabarros.



**Figura 3.20.** Aplicación de la cera desmoldante

En la **Figura 3.20**, se observa la aplicación de la cera desmoldante en el molde del guardabarros cubriendo totalmente toda su superficie para que al momento de desmoldarla no se pegue la pieza con el molde, se deja secar alrededor de una hora debido a que la superficie del molde es de resina poliéster y no necesita mucho tiempo para el secado de la cera desmoldante.

### 3.7.4 APLICACIÓN DE LA RESINA POLIÉSTER

La resina poliéster con el estireno, con el acelerador y con el catalizador deben de mezclarse hasta obtener una mezcla homogénea. Una vez que la mezcla de la primera capa de resina está completamente homogénea se coloca con una brocha sobre el molde de manera inmediata antes de que la mezcla se pase al estado gel.



**Figura 3.21.** Aplicación de la resina poliéster

En la **Figura 3.21**, se observa la aplicación de la primera capa de resina poliéster en el molde del guardabarros cubriendo toda la superficie de manera uniforme, para luego colocar la fibra de cabuya suelta. Este procedimiento se repite en las 3 capas de resina restantes.

### 3.7.5 APLICACIÓN DE LA FIBRA DE CABUYA SUELTA



**Figura 3.22.** Aplicación de la fibra de cabuya

En la **Figura 3.22**, se observa la colocación de la fibra de cabuya suelta entrecruzada en toda la superficie de la primera capa de resina poliéster.

Este procedimiento de igual manera se repite para las 2 capas de fibra de cabuya restantes. Al aplicar la resina poliéster encima de la capa de fibra de cabuya suelta se debe empapar completamente la fibra de cabuya para que pueda adherirse de la mejor manera con la resina.

### 3.7.6 SECADO DE LA PIEZA



**Figura 3.23.** Secado del prototipo

En la **Figura 3.23**, se muestra la pieza siendo expuesta al sol aproximadamente 25°C para que se pueda obtener un buen secado de la misma, el tiempo de secado fue de alrededor de 1 hora para luego ser desmoldada.

### 3.7.7 DESMOLDE DE LA PIEZA

Una vez que la pieza este completamente seca se posterga a su desmolde que se realizó de la manera más precavida para que no pueda existir fallas en su acabado superficial.



**Figura 3.24.** Desmolde del prototipo

En la **Figura 3.24**, se muestra el prototipo del guardabarros siendo desmoldado. Para darle un acabado se utilizó una pulidora para poder perfeccionar la superficie de la pieza, además se utilizó masilla para vehículo corrigiendo cualquier falla que se haya producido durante su desmolde.

### 3.7.8 PULIDO DE LA PIEZA



**Figura 3.25.** Pulido de la pieza

En la figura 3.25, se muestra el pulido que se le dio a la parte interna de la pieza con la finalidad de tener un buen acabado superficial tanto en la parte externa como en la parte interna.

### 3.7.9 PINTADO DE LA PIEZA



**Figura 3.26.** Pintada del prototipo guardabarros

En la **Figura 3.26**, se observa finalmente la pieza pintada, para este proceso primero se utilizó masilla de relleno para vehículos con el fin de cubrir cualquier imperfección de la pieza, a continuación se aplicó un fondo/laca gris, una pintura base negro para posteriormente aplicar la pintura Glasurit gris y el brillante Glasurit para darle una mejor presentación al guardabarros.

## CAPÍTULO IV

### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Capítulo IV contiene los resultados que se obtuvieron de las probetas de tracción, flexión e impacto que fueron ensayadas con el fin de analizar los valores obtenidos y poder identificar sus propiedades mecánicas para ser aplicadas en la industria automotriz.

#### 4.1 FICHAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

##### 4.1.1 FICHAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A TRACCIÓN

A continuación, se tiene las fichas de recolección de datos del grupo de probetas de tracción con su respectiva denominación de la matriz y del material de refuerzo.

| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |   |         |            |                       |                             |                |                         |
|--------------------------------------|---|---------|------------|-----------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|
| <b>ENSAYO DE TRACCIÓN I</b>          |   |         |            |                       |                             |                |                         |
| Lugar:                               | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero. |         |            |                       |                             |                |                         |
| Fecha:                               | 04 de febrero del 2020.                               |         |            |                       |                             |                |                         |
| Máquina:                             | Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.        |         |            |                       |                             |                |                         |
| Normativa:                           | ASTM D3039-2017                                       |         |            |                       |                             |                |                         |
| Elaborado por:                       | Valencia Bryan<br>Pozo William.                       |         |            | Aprobado por:         |                             |                |                         |
| <b>DATOS DEL ENSAYO:</b>             |   |         |            |                       |                             |                |                         |
| Matriz:                              | Resina poliéster.                                     |         |            | Temperatura:          | 22.8 °C                     |                |                         |
| Refuerzo:                            | 1 capa de fibra de cabuya tejida.                     |         |            | Humedad relativa:     | 61.3 %                      |                |                         |
| Cantidad:                            | 6   |         |            | Velocidad de ensayo:  | 02 mm/min                   |                |                         |
| Dimensiones (mm):                    | 250x25  |         |            | Espesor:              | 2.21 aprox.                 |                |                         |
| <b>TABULACIÓN DE DATOS:</b>          |   |         |            |                       |                             |                |                         |
| N°                                   | Ancho   | Espesor | Fuerza (N) | Esfuerzo máximo (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | Elongación (%) | Tipo de falla evaluado. |

**Figura 4.1.** Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo

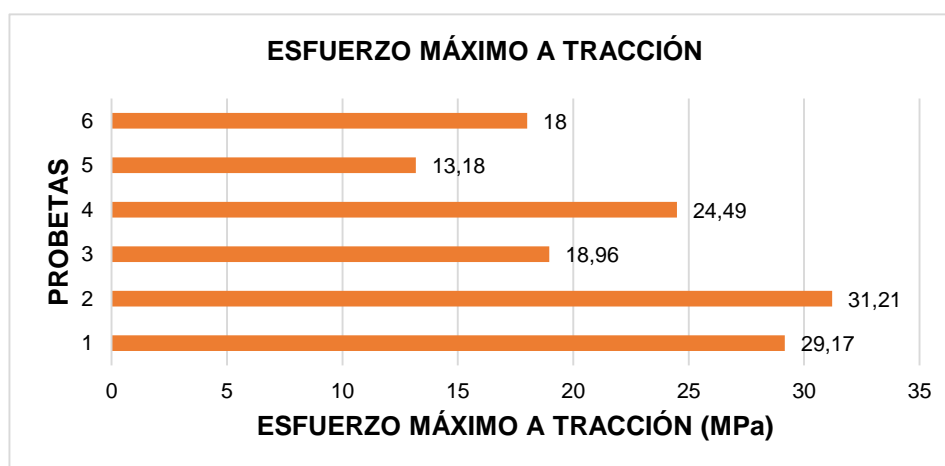


|                                |       |      |          |        |           |        |     |
|--------------------------------|-------|------|----------|--------|-----------|--------|-----|
| 1                              | 24.98 | 1.99 | 1450     | 29.17  | 1 686.43  | 1.730  | LGM |
| 2                              | 24.75 | 2.33 | 1800     | 31.21  | 2 788.76  | 1.119  | LGT |
| 3                              | 25.11 | 2.10 | 1000     | 18.96  | 1 208.76  | 1.569  | LGM |
| 4                              | 24.64 | 2.32 | 1400     | 24.49  | 1 453.29  | 1.685  | LGT |
| 5                              | 24.25 | 2.66 | 850      | 13.18  | 1 356.93  | 0.971  | LGB |
| 6                              | 24.99 | 1.89 | 850      | 18.00  | 1 590.02  | 1.132  | LGB |
| $\bar{x}$ Promedio:            |       |      | 1225.000 | 22.502 | 1 680.698 | 1.368  |     |
| $S_{n-1}$ Desviación estándar: |       |      | 385.681  | 6.987  | 568.386   | 0.331  |     |
| CV Promedio:                   |       |      | 31.484   | 31.049 | 33.818    | 24.182 |     |

#### PROBETAS ENSAYADAS:



#### RESULTADOS:



**Figura 4.1.** Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo (**Continuación...**)

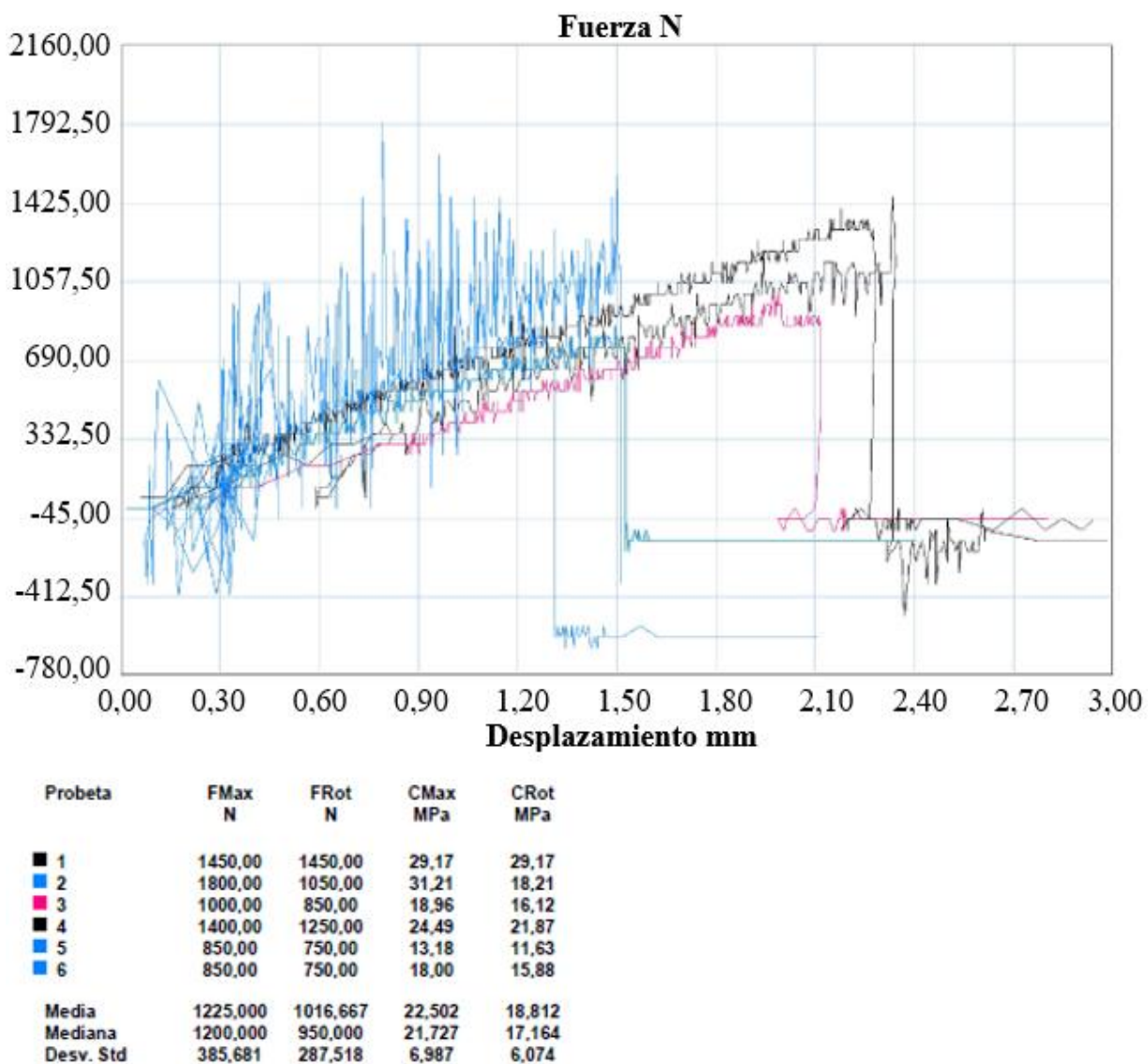
| <b>RESULTADOS:</b>   |  |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
|--|--|--------|----------|-----------------------------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|---|---------|
| <p><b>MÓDULO DE ELASTICIDAD</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PROBETAS</th> <th>MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>1590,02</td></tr> <tr><td>5</td><td>1356,93</td></tr> <tr><td>4</td><td>1453,29</td></tr> <tr><td>3</td><td>1208,76</td></tr> <tr><td>2</td><td>2788,76</td></tr> <tr><td>1</td><td>1686,43</td></tr> </tbody> </table>    |  |        | PROBETAS | MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa) | 6 | 1590,02 | 5 | 1356,93 | 4 | 1453,29 | 3 | 1208,76 | 2 | 2788,76 | 1 | 1686,43 |
| PROBETAS   | MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)                |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 6  | 1590,02                                    |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 5  | 1356,93                                    |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 4  | 1453,29                                    |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 3  | 1208,76                                    |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 2  | 2788,76                                    |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 1  | 1686,43                                    |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| <p><b>ELONGACIÓN</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>PROBETAS</th> <th>ELONGACIÓN (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>6</td><td>1,132</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,971</td></tr> <tr><td>4</td><td>1,685</td></tr> <tr><td>3</td><td>1,569</td></tr> <tr><td>2</td><td>1,119</td></tr> <tr><td>1</td><td>1,73</td></tr> </tbody> </table>   |  |        | PROBETAS | ELONGACIÓN (%)              | 6 | 1,132   | 5 | 0,971   | 4 | 1,685   | 3 | 1,569   | 2 | 1,119   | 1 | 1,73    |
| PROBETAS   | ELONGACIÓN (%)                             |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 6  | 1,132                                      |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 5  | 0,971                                      |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 4  | 1,685                                      |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 3  | 1,569                                      |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 2  | 1,119                                      |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| 1  | 1,73                                       |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |  |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las probetas 1 y 3 presentaron fallos laterales en la zona calibrada en la parte media de las probetas.</li> <li>• Las probetas 2 y 4 presentaron fallos laterales en la zona calibrada en la parte superior de las probetas.</li> <li>• Las probetas 5 y 6 presentaron fallos laterales en la zona calibrada en el fondo de las probetas.</li> </ul> |  |        |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |
| <b>EVALUACIÓN:</b>   | Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa): | 22.502 |          |                             |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |   |         |

**Figura 4.1.** Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo (**Continuación...**)

|                    |                                       |           |
|--------------------|---------------------------------------|-----------|
| <b>EVALUACIÓN:</b> | Módulo de elasticidad promedio (MPa): | 1 680.698 |
|                    | Elongación promedio (%):              | 1.368     |

**Figura 4.1.** Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.1**, se detallaron la ficha de recolección de datos del primer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de tracción, compuesta por una capa de fibra de cabuya tejida como refuerzo y una matriz de resina poliéster. Al final de la ficha de datos se observa la evaluación de las probetas otorgándonos los valores promedios del esfuerzo máximo a tracción, el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación.



**Figura 4.2.** Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas a tracción

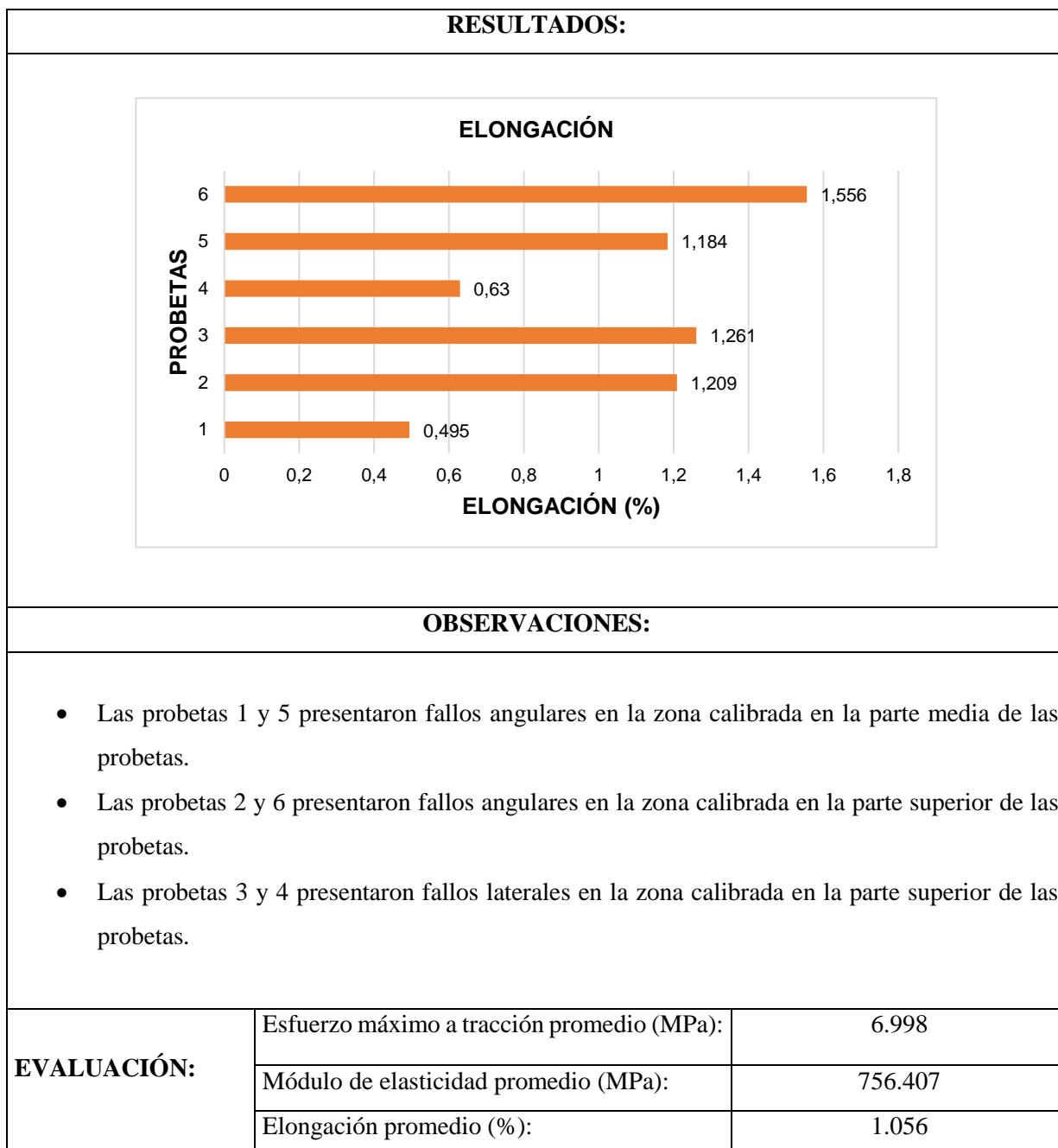
En la **Figura 4.2**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a tracción y el comportamiento de cada una de las seis probetas ensayadas de la primera composición volumétrica: una capa de fibra de cabuya tejida con resina poliéster, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |   |         |            |                       |                             |              |                        |
|--------------------------------------|---|---------|------------|-----------------------|-----------------------------|--------------|------------------------|
| <b>ENSAYO DE TRACCIÓN II</b>         |   |         |            |                       |                             |              |                        |
| Lugar:                               | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero. |         |            |                       |                             |              |                        |
| Fecha:                               | 04 de febrero del 2020.                               |         |            |                       |                             |              |                        |
| Máquina:                             | Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.        |         |            |                       |                             |              |                        |
| Normativa:                           | ASTM D3039-2017                                       |         |            |                       |                             |              |                        |
| Elaborado por:                       | Valencia Bryan<br>Pozo William.                       |         |            | Aprobado por:         |                             |              |                        |
| <b>DATOS DEL ENSAYO</b>              |   |         |            |                       |                             |              |                        |
| Matriz:                              | Resina poliéster.                                     |         |            | Temperatura:          | 23.2 °C                     |              |                        |
| Refuerzo:                            | 2 capas de fibra de cabuya tejida.                    |         |            | Humedad relativa:     | 60.6 %                      |              |                        |
| Cantidad:                            | 6   |         |            | Velocidad de ensayo:  | 02 mm/min                   |              |                        |
| Dimensiones (mm):                    | 250x25  |         |            | Espesor:              | 2.84 aprox.                 |              |                        |
| <b>TABULACIÓN DE DATOS:</b>          |   |         |            |                       |                             |              |                        |
| Nº                                   | Ancho   | Espesor | Fuerza (N) | Esfuerzo máximo (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Elongación | Tipo de falla evaluado |
| 1                                    | 24.89   | 3.14    | 650        | 8.32                  | 1 680.80                    | 0.495        | AGM                    |
| 2                                    | 25.09   | 2.20    | 400        | 7.25                  | 599.45                      | 1.209        | AGT                    |
| 3                                    | 25.18   | 3.26    | 750        | 9.14                  | 724.71                      | 1.261        | LGT                    |
| 4                                    | 24.47   | 3.29    | 250        | 3.11                  | 493.20                      | 0.630        | LGT                    |
| 5                                    | 24.40   | 2.57    | 400        | 6.38                  | 538.88                      | 1.184        | AGM                    |
| 6                                    | 24.55   | 2.61    | 500        | 7.80                  | 501.40                      | 1.556        | AGT                    |
| $\bar{x}$ Promedio:                  |   |         | 491.667    | 6.998                 | 756.407                     | 1.056        |                        |
| $S_{n-1}$ Desviación estándar:       |   |         | 182.802    | 2.124                 | 460.818                     | 0.407        |                        |
| CV Promedio:                         |   |         | 37.180     | 30.354                | 60.922                      | 38.562       |                        |

**Figura 4.3.** Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo

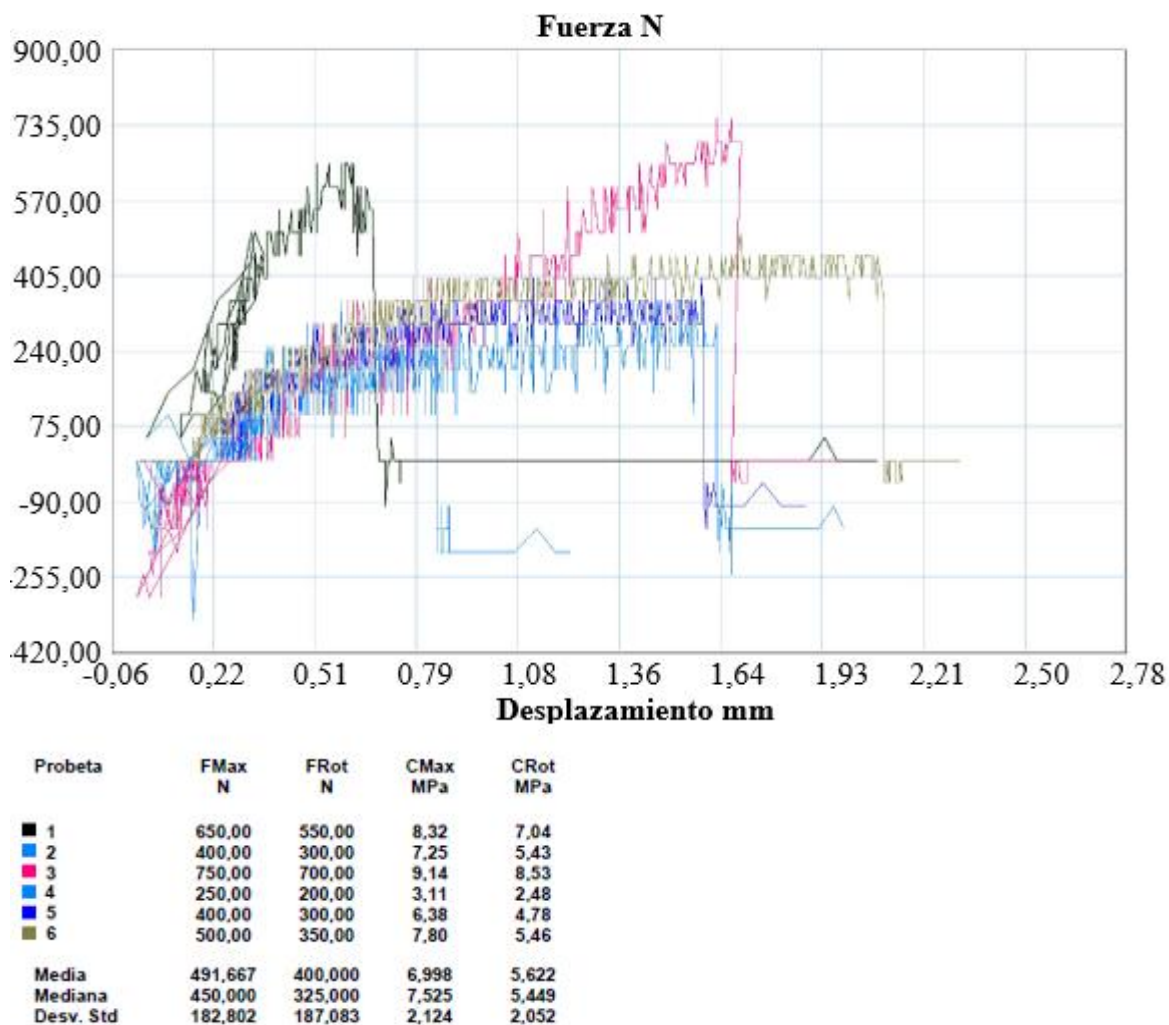


**Figura 4.3.** Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo (Continuación...)



**Figura 4.3.** Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.3**, se detallaron la ficha de recolección de datos del segundo grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de tracción, compuesta por dos capas de fibra de cabuya tejida como refuerzo y una matriz de resina poliéster. Al final de la ficha de datos se observa la evaluación de las probetas otorgándonos los valores promedios del esfuerzo máximo a tracción, el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación.




**Figura 4. 4.** Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del segundo grupo de probetas a tracción

En la **Figura 4.4**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a tracción y el comportamiento de cada una de las seis probetas ensayadas de la segunda composición volumétrica: dos capas de fibra de cabuya tejida con resina poliéster, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

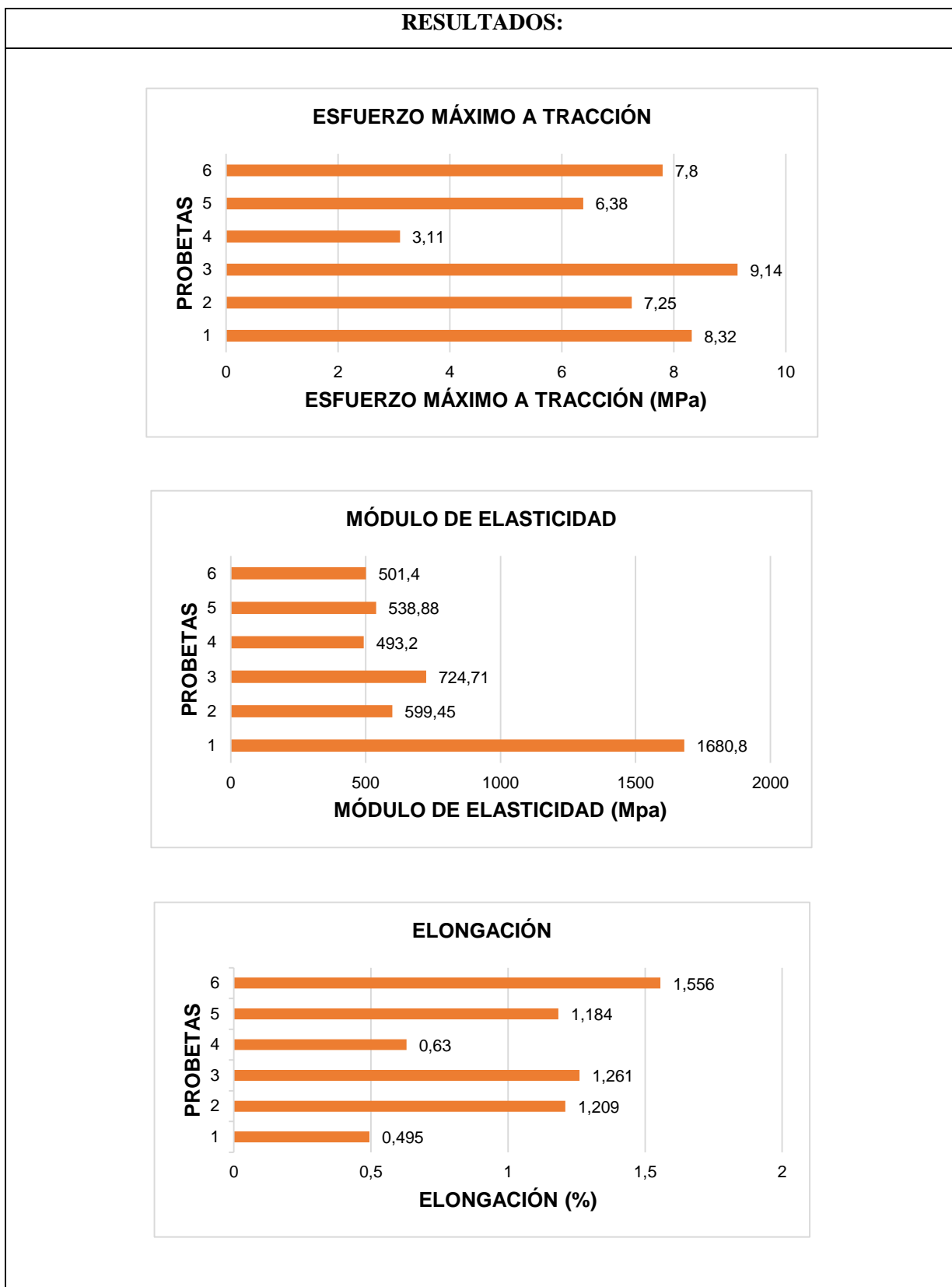
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |  |
|--------------------------------------|--|
| <b>ENSAYO DE TRACCIÓN III</b>        |  |
| Lugar:                               | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros. |
| Fecha:                               | 04 de febrero del 2020.                                |
| Máquina:                             | Máquina de ensayos Universal Metrottest 1500KN.        |

**Figura 4.5.** Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo

| Normativa:   | ASTM D3039-2017                 |         |            |                       |                             |              |                        |
|--|---------------------------------|---------|------------|-----------------------|-----------------------------|--------------|------------------------|
| Elaborado por:   | Valencia Bryan<br>Pozo William. |         |            | Aprobado por:         |                             |              |                        |
| <b>DATOS DEL ENSAYO</b>  |                                 |         |            |                       |                             |              |                        |
| Matriz:  | 60% Resina poliéster.           |         |            | Temperatura:          | 22.8 °C                     |              |                        |
| Refuerzo:  | 40% Fibra de cabuya suelta.     |         |            | Humedad relativa:     | 61.3 %                      |              |                        |
| Cantidad:  | 6                               |         |            | Velocidad de ensayo:  | 02 mm/min                   |              |                        |
| Dimensiones (mm):  | 250x25                          |         |            | Espesor:              | 2.9 aprox.                  |              |                        |
| <b>TABULACIÓN DE DATOS:</b>  |                                 |         |            |                       |                             |              |                        |
| Nº   | Ancho                           | Espesor | Fuerza (N) | Esfuerzo máximo (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Elongación | Tipo de falla evaluado |
| 1  | 24.76                           | 2.98    | 2 900      | 39.30                 | 2 085.68                    | 1.884        | AGT                    |
| 2  | 24.76                           | 3.23    | 3 250      | 40.64                 | 1 969.17                    | 2.064        | AGM                    |
| 3  | 24.93                           | 2.73    | 4 450      | 65.38                 | 2 244.89                    | 2.913        | LAT                    |
| 4  | 25.47                           | 2.83    | 2 400      | 33.30                 | 2 038.55                    | 1.633        | AGM                    |
| 5  | 24.84                           | 2.89    | 5 450      | 75.92                 | 2 202.66                    | 3.447        | LGM                    |
| 6  | 24.7                            | 2.79    | 3 450      | 50.06                 | 2 569.78                    | 1.948        | LGM                    |
| $\bar{x}$ Promedio:  |                                 |         | 3 650.000  | 50.767                | 2 185.122                   | 2.315        |                        |
| $S_{n-1}$ Desviación estándar:   |                                 |         | 1 114.002  | 16.649                | 214.406                     | 0.705        |                        |
| CV Promedio:   |                                 |         | 30.521     | 32.795                | 9.812                       | 30.459       |                        |
| <b>PROBETAS ENSAYADAS:</b>   |                                 |         |            |                       |                             |              |                        |
|  |                                 |         |            |                       |                             |              |                        |

**Figura 4.5.** Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo (Continuación...)



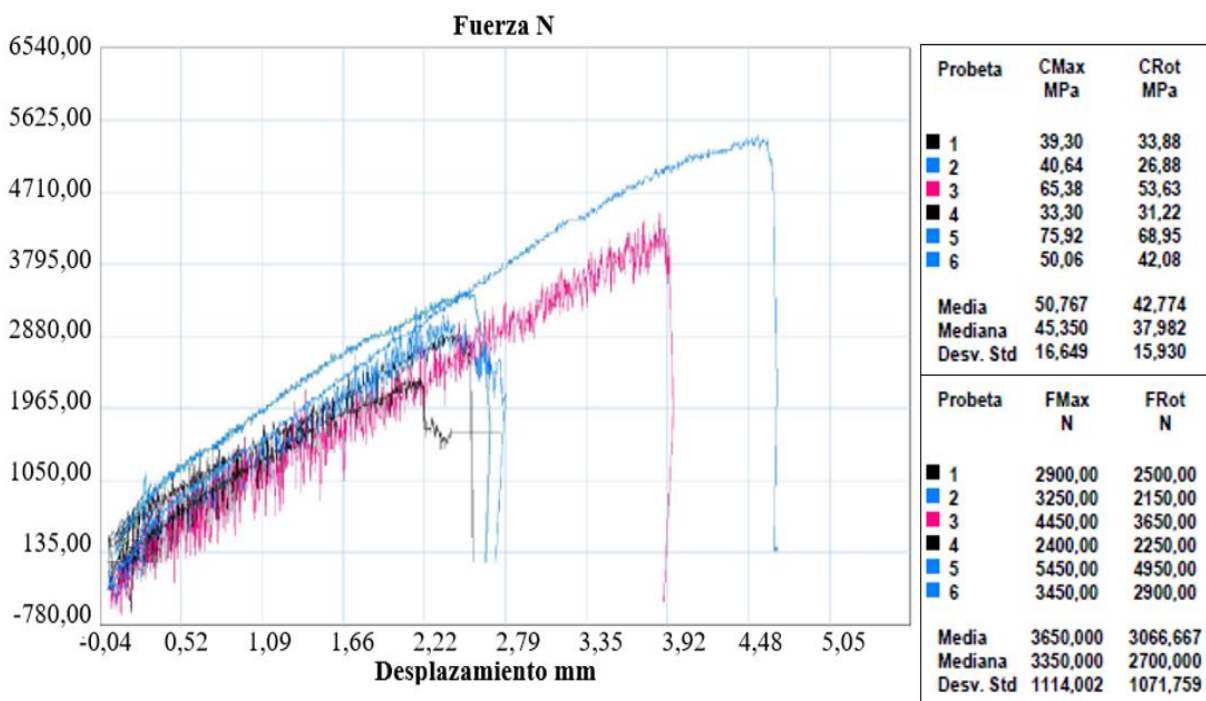


**Figura 4.5.** Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo (Continuación...)

| <b>OBSERVACIONES:</b>   |  |           |
|---|--|-----------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• La probeta 1 presentó fallos angulares en la zona calibrada en la parte superior de la probeta.</li> <li>• Las probetas 2 y 4 presentaron fallos angulares en la zona calibrada en la parte media de las probetas.</li> <li>• La probeta 3 presentó fallos laterales en la zona de agarre en la parte superior de la probeta.</li> <li>• La probeta 6 presentó fallos laterales en la zona calibrada en la parte media de la probeta.</li> </ul> |  |           |
| <b>EVALUACIÓN:</b>  | Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa): | 50.767    |
|   | Módulo de elasticidad promedio (MPa):      | 2 185.122 |
|   | Elongación promedio (%):                   | 2.31      |

**Figura 4.5.** Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.5**, se detallaron la ficha de recolección de datos del tercer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de tracción, con la composición de 40% de fibra de cabuya suelta como refuerzo y un 60% de resina poliéster. Al final de la ficha de datos se observa la evaluación de las probetas otorgándonos los valores promedios del esfuerzo máximo a tracción, el módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación.



**Figura 4.6.** Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas a tracción

En la **Figura 4.6**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de fuerza máxima a tracción y el comportamiento de cada una de las seis probetas ensayadas de la tercera composición volumétrica: 40% de fibra de cabuya suelta como refuerzo y un 60% de resina poliéster, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

#### 4.1.2 FICHAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN

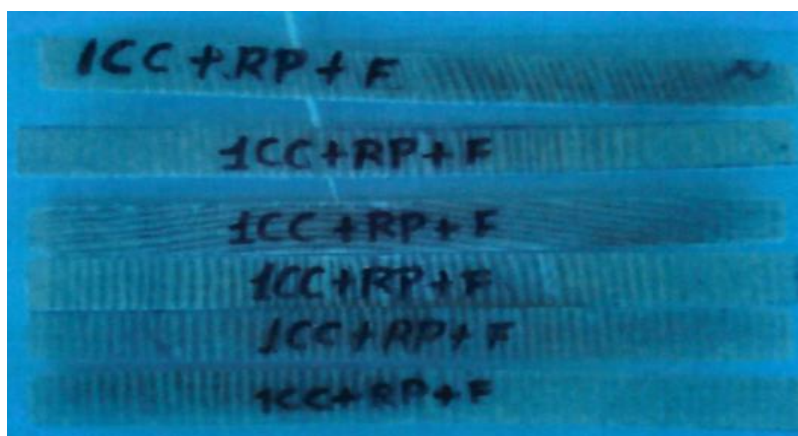
A continuación, se tiene las fichas de recolección de datos del grupo de probetas de flexión con su respectiva denominación de la matriz y del material de refuerzo.

| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |  |         |            |                                  |                             |                      |                        |
|--------------------------------------|--|---------|------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| <b>ENSAYO DE FLEXIÓN I</b>           |  |         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Lugar:                               | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.    |         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Fecha:                               | 04 de febrero del 2020.                                  |         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Máquina:                             | Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 1500KN. |         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Normativa:                           | ASTM D7264-07  |         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Elaborado por:                       | Valencia Bryan<br>Pozo William.                          |         |            | Aprobado por:                    |                             |                      |                        |
| <b>DATOS DEL ENSAYO</b>              |  |         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Matriz:                              | Resina poliéster.  |         |            | Temperatura:                     | 23.8 °C                     |                      |                        |
| Refuerzo:                            | 1 Capa de fibra de cabuya tejida.                        |         |            | Humedad relativa:                | 64.2 %                      |                      |                        |
| Cantidad:                            | 6  |         |            | Distancia entre apoyos:          | 40 mm.                      |                      |                        |
| Dimensiones (mm):                    | 160x13   |         |            | Velocidad de ensayo:             | 5 mm/min.                   |                      |                        |
| Espesor:                             | 3.25 aprox.  |         |            | Precarga:                        | 0.01 N.                     |                      |                        |
| <b>TABULACIÓN DE DATOS:</b>          |  |         |            |                                  |                             |                      |                        |
| N°                                   | Ancho  | Espesor | Fuerza (N) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Deformación máxima | Tipo de falla evaluado |
| 1                                    | 14.52  | 2.80    | 100.00     | 52.71                            | 1 291.08                    | 4.08                 | OAB                    |
| 2                                    | 15.90  | 1.65    | 50.00      | 69.30                            | 6 328.02                    | 1.10                 | OAB                    |
| 3                                    | 15.24  | 2.18    | 100.00     | 82.84                            | 5 725.22                    | 1.45                 | OAB                    |

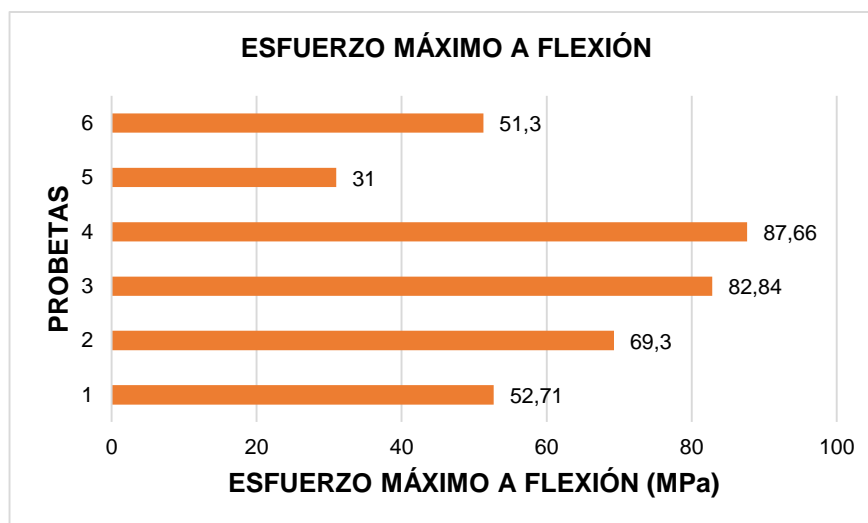
**Figura 4.7.** Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo

|                                |       |      |        |        |           |        |     |
|--------------------------------|-------|------|--------|--------|-----------|--------|-----|
| 4                              | 15.01 | 1.51 | 50.00  | 87.66  | 5 422.16  | 1.62   | OAB |
| 5                              | 15.80 | 3.50 | 100.00 | 31.00  | 2 805.09  | 1.11   | OAM |
| 6                              | 15.70 | 1.93 | 50.00  | 51.30  | 6 431.86  | 0.80   | OAB |
| $\bar{x}$ Promedio:            |       |      | 75.00  | 62.468 | 4 667.239 | 1.691  |     |
| $S_{n-1}$ Desviación estándar: |       |      | 27.386 | 36.221 | 3 014.215 | 1.493  |     |
| CV Promedio:                   |       |      | 36.515 | 57.983 | 64.582    | 88.315 |     |

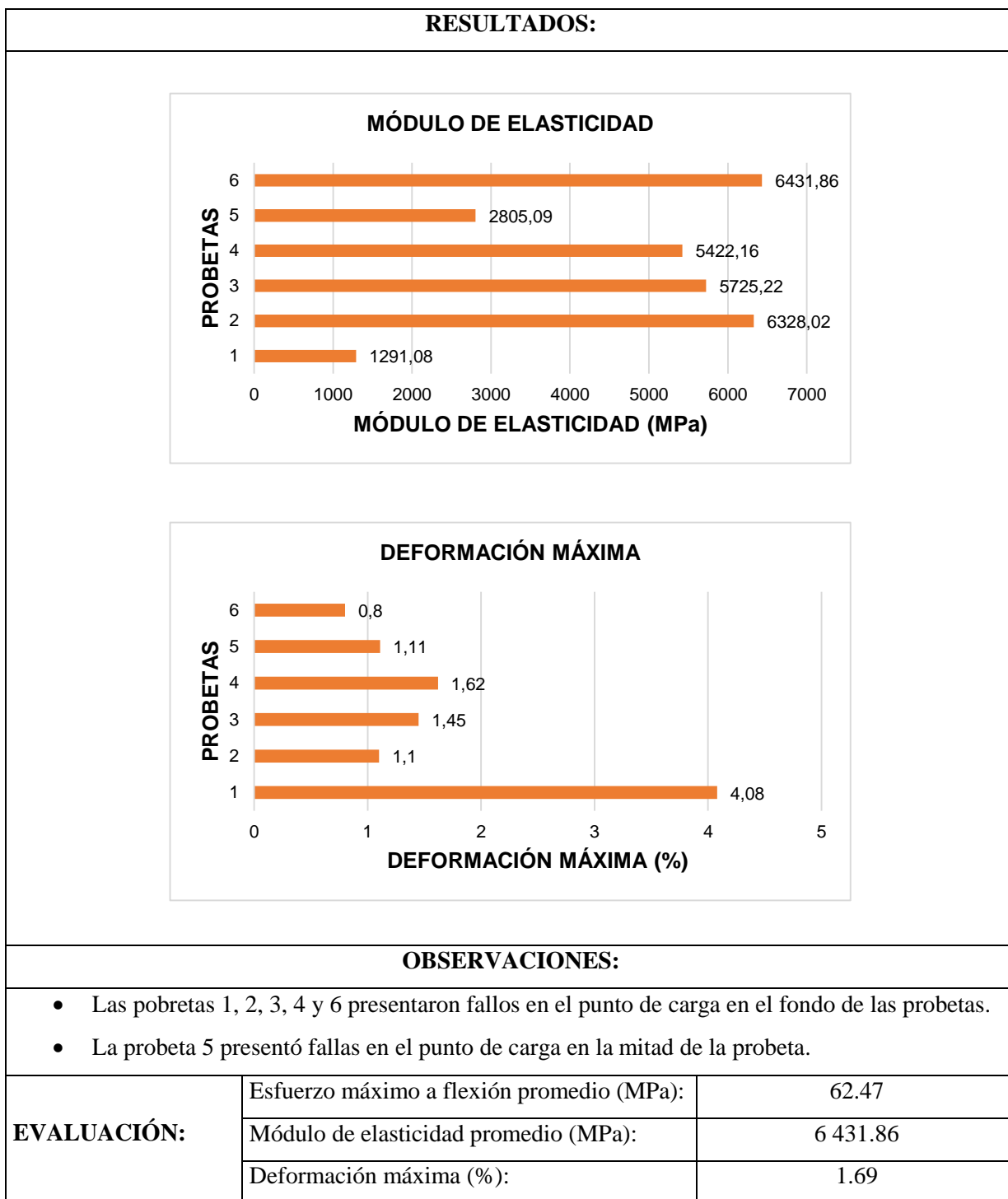
**PROBETAS ENSAYADAS:**



**RESULTADOS:**

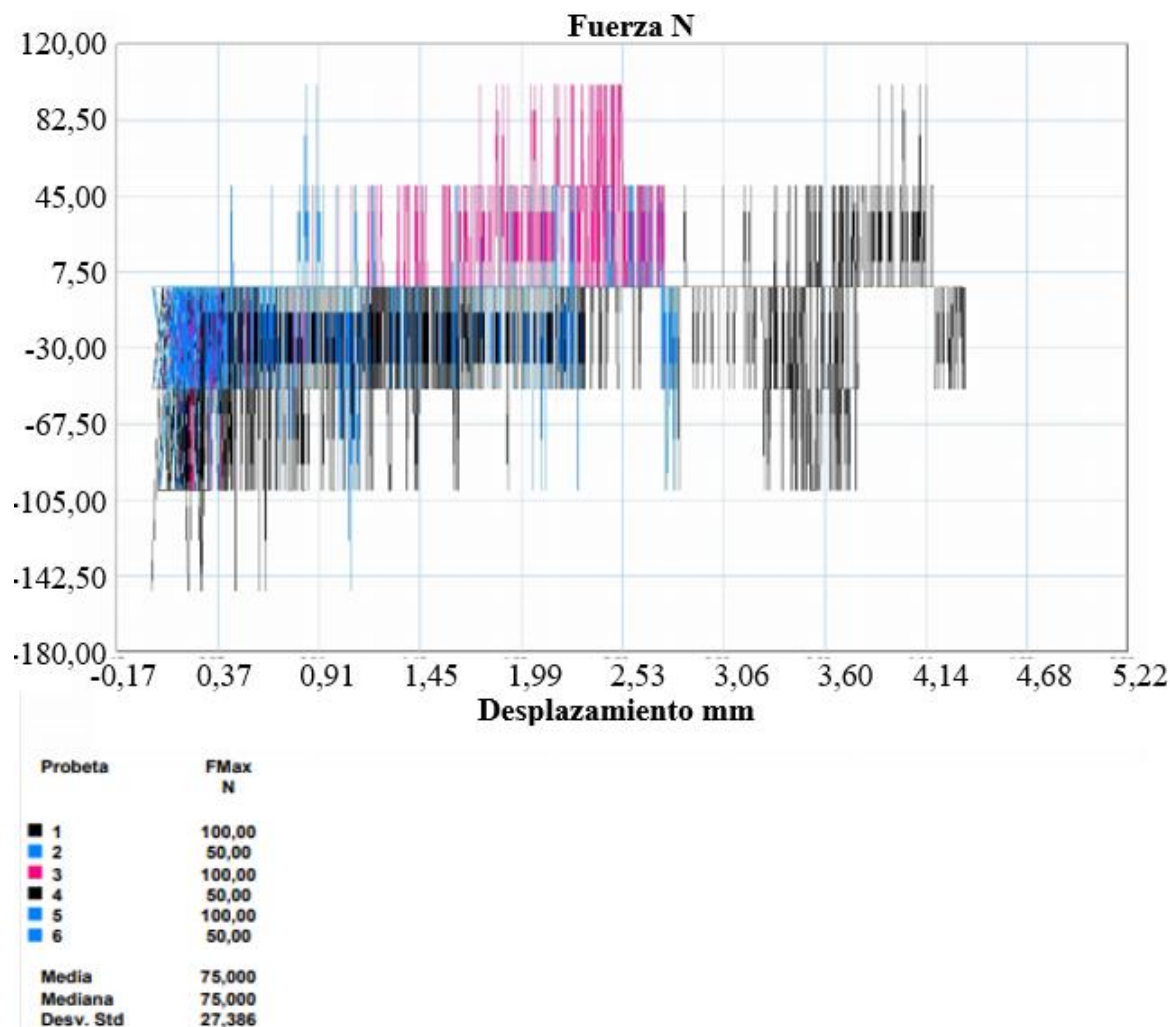


**Figura 4.7.** Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo (**Continuación...**)



**Figura 4.7.** Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.7**, se detallaron la ficha de recolección de datos del primer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de flexión, compuesta por una capa de fibra de cabuya tejida como refuerzo y una matriz de resina poliéster.

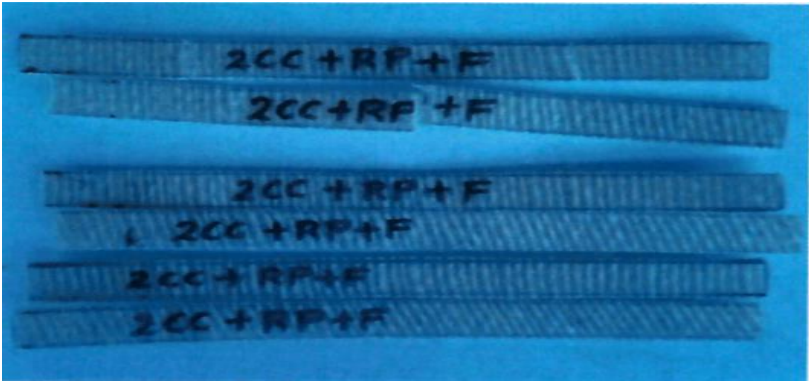


**Figura 4.8.** Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas a flexión

En la **Figura 4.8**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a flexión y el comportamiento de cada una de las seis probetas ensayadas de la primera composición volumétrica: una capa de fibra de cabuya tejida con resina poliéster, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS |  |
|-------------------------------|--|
| ENSAYO DE FLEXIÓN II          |  |
| Lugar:                        | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros.   |
| Fecha:                        | 04 de febrero del 2020.                                  |
| Máquina:                      | Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 1500KN. |

**Figura 4.9.** Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo

| Normativa:   | ASTM D7264-07                      |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
|--|------------------------------------|-------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| Elaborado por:   | Valencia Bryan y Pozo William.     | Aprobado por:           |            |                                  |                             |                      |                        |
| <b>DATOS DEL ENSAYO</b>  |                                    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Matriz:  | Resina poliéster.                  | Temperatura:            | 23.9 °C    |                                  |                             |                      |                        |
| Refuerzo:  | 2 Capas de fibra de cabuya tejida. | Humedad relativa:       | 54.8 %     |                                  |                             |                      |                        |
| Cantidad:  | 6                                  | Distancia entre apoyos: | 40 mm.     |                                  |                             |                      |                        |
| Dimensiones (mm):  | 160x13                             | Velocidad de ensayo:    | 5 mm/min.  |                                  |                             |                      |                        |
| Espesor:   | 3.25 aprox.                        | Precarga:               | 0.01 N.    |                                  |                             |                      |                        |
| <b>TABULACIÓN DE DATOS:</b>  |                                    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| N°   | Ancho                              | Espesor                 | Fuerza (N) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Deformación máxima | Tipo de falla evaluado |
| 1  | 14.39                              | 2.92                    |            |                                  |                             |                      | OBB                    |
| 2  | 14.49                              | 3.26                    |            |                                  |                             |                      | OAB                    |
| 3  | 15.13                              | 3.12                    |            |                                  |                             |                      | OAB                    |
| 4  | 14.35                              | 2.93                    |            |                                  |                             |                      | OAB                    |
| 5  | 14.30                              | 3.90                    |            |                                  |                             |                      | OAB                    |
| 6  | 14.20                              | 2.78                    |            |                                  |                             |                      | OAM                    |
| $\bar{x}$ Promedio:  |                                    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| $S_{n-1}$ Desviación estándar:   |                                    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| $CV$ Promedio:   |                                    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| <b>PROBETAS ENSAYADAS:</b>   |                                    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
|  |                                    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |

**Figura 4.9.** Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo (**Continuación...**)

| <b>OBSERVACIONES:</b>  |   |  |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Las 6 probetas ensayadas presentaron baja resistencia mecánica a flexión por lo que no se pudo obtener ningún valor durante el ensayo.</li> </ul> |   |  |
| <b>EVALUACIÓN:</b>   | Esfuerzo máximo a flexión promedio (MPa): |  |
|  | Módulo de elasticidad promedio (MPa):     |  |
|  | Deformación máxima (%):                   |  |

**Figura 4.9.** Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.9**, se detallaron la ficha de recolección de datos del segundo grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de flexión, compuesta por dos capas de fibra de cabuya tejida como refuerzo y una matriz de resina poliéster.

| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> |  |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
|--------------------------------------|--|-------------------------|------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| <b>ENSAYO DE FLEXIÓN III</b>         |  |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Lugar:                               | Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.    |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Fecha:                               | 04 de febrero del 2020.                                  |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Máquina:                             | Máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 1500KN. |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Normativa:                           | ASTM D7264-07  |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Elaborado por:                       | Valencia Bryan<br>Pozo William.                          | Aprobado por:           |            |                                  |                             |                      |                        |
| <b>DATOS DEL ENSAYO</b>              |  |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| Matriz:                              | 60% Resina poliéster.                                    | Temperatura:            | 23.9 °C    |                                  |                             |                      |                        |
| Refuerzo:                            | 40% Fibra de cabuya suelta.                              | Humedad relativa:       | 54.8 %     |                                  |                             |                      |                        |
| Cantidad:                            | 6  | Distancia entre apoyos: | 40 mm.     |                                  |                             |                      |                        |
| Dimensiones (mm):                    | 160x13   | Velocidad de ensayo:    | 5 mm/min.  |                                  |                             |                      |                        |
| Espesor:                             | 3.25 aprox.  | Precarga:               | 0.01 N.    |                                  |                             |                      |                        |
| <b>TABULACIÓN DE DATOS:</b>          |  |                         |            |                                  |                             |                      |                        |
| N°                                   | Ancho  | Espesor                 | Fuerza (N) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Deformación máxima | Tipo de falla evaluado |
| 1                                    | 15.47  | 3.30                    | 250.00     | 89.04                            | 3 439.27                    | 2.59                 | OAM                    |

**Figura 4. 10.** Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo

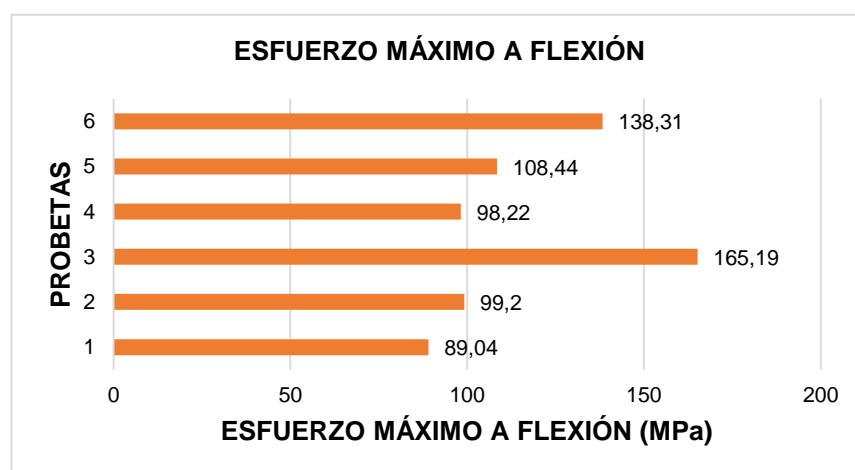


| N°                             | Ancho | Espesor | Fuerza (N) | Esfuerzo máximo de flexión (MPa) | Módulo de elasticidad (MPa) | % Deformación máxima | Tipo de falla evaluado |
|--------------------------------|-------|---------|------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------|------------------------|
| 2                              | 14.86 | 3.19    | 250.00     | 99.20                            | 2 296.37                    | 4.32                 | OAM                    |
| 3                              | 15.10 | 3.29    | 450.00     | 165.19                           | 5 110.54                    | 3.23                 | OAM                    |
| 4                              | 15.79 | 3.11    | 250.00     | 98.22                            | 2 923.17                    | 3.36                 | OAM                    |
| 5                              | 15.91 | 3.23    | 300.00     | 108.44                           | 2 881.52                    | 3.76                 | OAM                    |
| 6                              | 15.37 | 3.36    | 400.00     | 138.31                           | 2 948.46                    | 4.69                 | OAM                    |
| $\bar{x}$ Promedio:            |       |         | 316.667    | 116.400                          | 3 266.554                   | 3.659                |                        |
| $S_{n-1}$ Desviación estándar: |       |         | 87.560     | 29.331                           | 973.521                     | 0.993                |                        |
| CV Promedio:                   |       |         | 27.650     | 25.199                           | 29.803                      | 27.133               |                        |

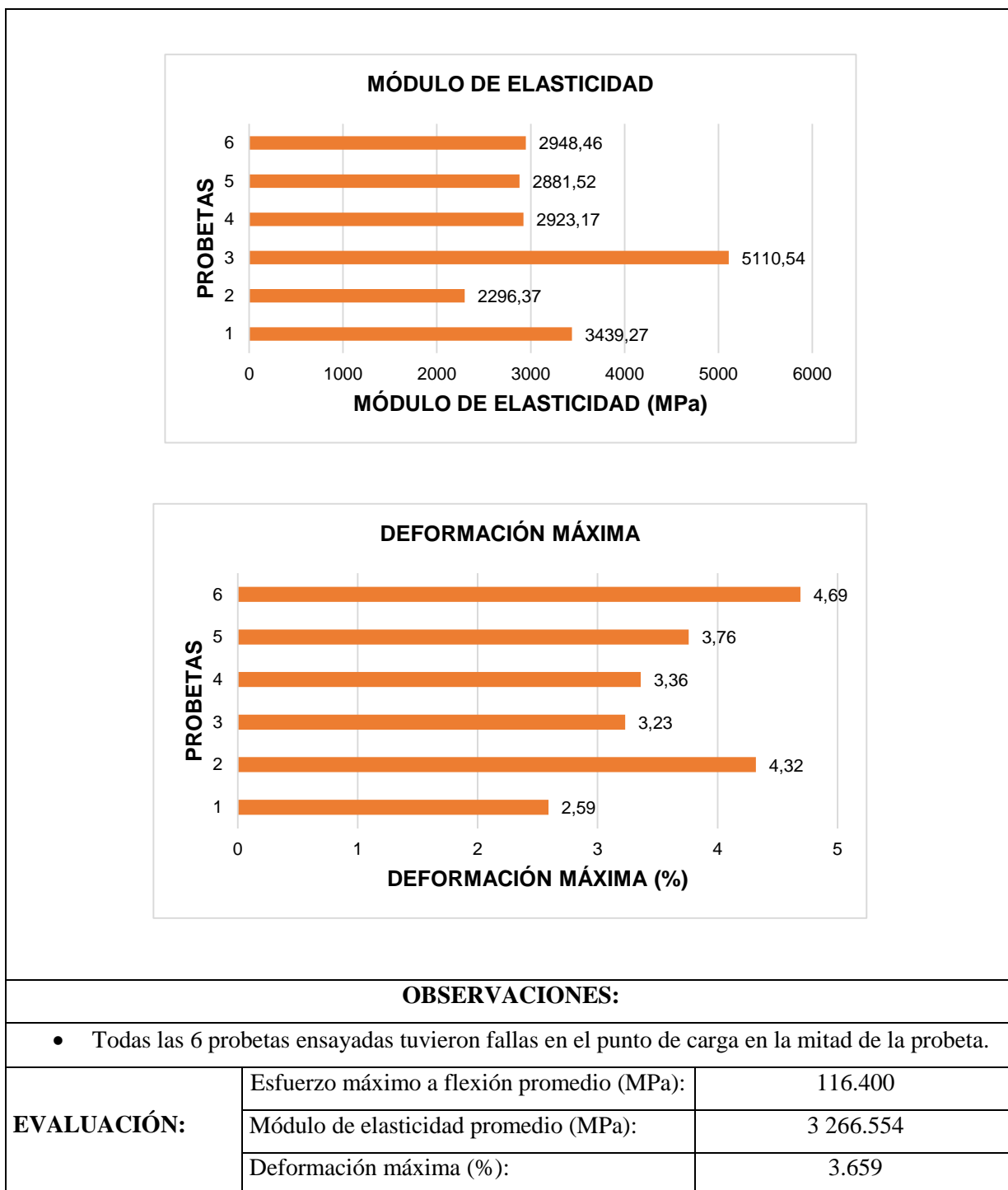
**PROBETAS ENSAYADAS:**



**RESULTADOS:**

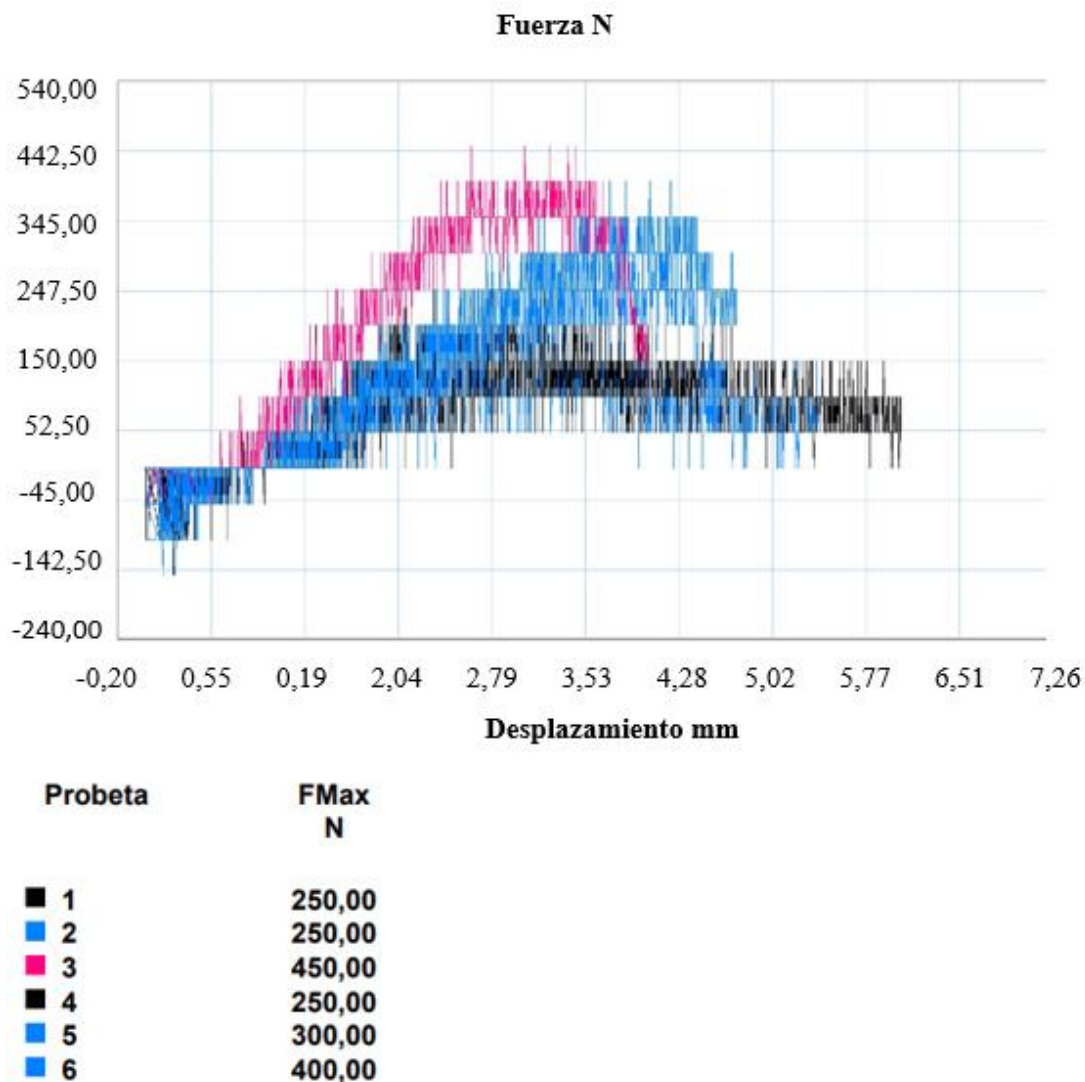


**Figura 4.10.** Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo (Continuación...)



**Figura 4.10.** Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.10**, se detallaron la ficha de recolección de datos del tercer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de flexión, con la composición de 40% de fibra de cabuya suelta como refuerzo y un 60% de resina poliéster.



**Figura 4.11.** Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas a flexión

En la **Figura 4.11**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a flexión y el comportamiento de cada una de las seis probetas ensayadas de la tercera composición volumétrica: 40% de fibra de cabuya suelta como refuerzo y un 60% de resina poliéster, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

### 4.1.3 FICHAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A IMPACTO

A continuación, se tiene las fichas de recolección de datos del grupo de probetas de impacto con su respectiva denominación de la matriz y del material de refuerzo.



| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
|--|---|---------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| ENSAYO DE IMPACTO I  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Lugar:   | Universidad Técnica de Ambato.          |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Fecha:   | 05 de febrero del 2020.                 |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Máquina:   | Máquina tipo caída de masas de Impacto. |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Normativa:   | ASTM D5628-10                           |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Elaborado por:   | Valencia Bryan y Pozo William.          | Aprobado por: |              |                       |                            |                            |                        |
| DATOS DEL ENSAYO   |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Matriz:  | Resina poliéster.                       |               |              | Tipo de medición (J): | Energía Media de Impacto   |                            |                        |
| Refuerzo:  | 1 Capas de fibra de cabuya tejida.      |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Cantidad:  | 8                                       |               |              | Dimensiones (mm):     | 58x58                      |                            |                        |
| Espesor:   | 3.62 aprox.                             |               |              |                       |                            |                            |                        |
| TABULACIÓN DE DATOS:   |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| N°   | Ancho (mm)                              | Largo (mm)    | Espesor (mm) | Masa aplicada (kg)    | Altura media de fallo (mm) | Energía media de fallo (J) | Tipo de falla evaluado |
| 1  | 58.00                                   | 57.75         | 3.55         | 0.232                 | 150                        | 0.34                       | A                      |
| 2  | 57.40                                   | 58.00         | 3.60         | 0.232                 | 150                        | 0.34                       | A                      |
| 3  | 59.00                                   | 56.15         | 3.70         | 0.232                 | 200                        | 0.46                       | B                      |
| 4  | 58.10                                   | 57.90         | 3.60         | 0.232                 | 200                        | 0.46                       | B                      |
| 5  | 57.50                                   | 58.05         | 3.65         | 0.232                 | 300                        | 0.68                       | C                      |
| 6  | 57.90                                   | 58.10         | 3.75         | 0.232                 | 300                        | 0.68                       | C                      |
| 7  | 57.90                                   | 58.10         | 3.65         | 0.232                 | 600                        | 1.37                       | C                      |
| 8  | 58.40                                   | 57.90         | 3.45         | 0.232                 | 800                        | 1.82                       | D                      |
| PROBETAS ENSAYADAS:  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
|  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |

Figura 4.12. Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo

| <b>RESULTADOS:</b>  |                                      |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
|---|--------------------------------------|------|---------|-----------------------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|
| <table border="1" style="margin: auto;"> <caption>ENERGÍA MEDIA DE FALLO</caption> <thead> <tr> <th>PROBETA</th> <th>ENERGÍA ABSORVIDA (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8</td><td>1,82</td></tr> <tr><td>7</td><td>1,37</td></tr> <tr><td>6</td><td>0,68</td></tr> <tr><td>5</td><td>0,68</td></tr> <tr><td>4</td><td>0,46</td></tr> <tr><td>3</td><td>0,46</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,34</td></tr> <tr><td>1</td><td>0,34</td></tr> </tbody> </table>  |                                      |      | PROBETA | ENERGÍA ABSORVIDA (J) | 8 | 1,82 | 7 | 1,37 | 6 | 0,68 | 5 | 0,68 | 4 | 0,46 | 3 | 0,46 | 2 | 0,34 | 1 | 0,34 |
| PROBETA   | ENERGÍA ABSORVIDA (J)                |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 8   | 1,82                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 7   | 1,37                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 6   | 0,68                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 5   | 0,68                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 4   | 0,46                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 3   | 0,46                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 2   | 0,34                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 1   | 0,34                                 |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| <b>OBSERVACIONES:</b>   |                                      |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Las probetas 1 y 2 presentaron el código A, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que se presentó grietas en una sola superficie por lo que la probeta puede todavía sostener el agua.</li> <li>Las probetas 3 y 4 presentaron el código B, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que el agua probablemente puede penetrar a través de la probeta.</li> <li>Las probetas 5, 6 y 7 presentaron el código C, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que la probeta está fracturada en toda la superficie.</li> <li>La probeta 8 presentó el código D, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que se produjo una ruptura total atravesando el espesor de la probeta.</li> </ul> |                                      |      |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| <b>EVALUACIÓN:</b>  | Promedio de la energía de fallo (J): | 0.77 |         |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |

**Figura 4.12.** Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.12**, se detallaron la ficha de recolección de datos del primer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de impacto, compuesta por una capa de fibra de cabuya tejida como refuerzo y una matriz de resina poliéster, se puede observar el estado de falla que presentaron cada probeta con su respectiva evaluación.


| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
|--|---|---------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| ENSAYO DE IMPACTO II   |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Lugar:   | Universidad Técnica de Ambato.          |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Fecha:   | 05 de febrero del 2020.                 |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Máquina:   | Máquina tipo caída de masas de Impacto. |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Normativa:   | ASTM D5628-10                           |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Elaborado por:   | Valencia Bryan y Pozo William.          | Aprobado por: |              |                       |                            |                            |                        |
| DATOS DEL ENSAYO   |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Matriz:  | Resina poliéster.                       |               |              | Tipo de medición (J): |                            | Energía Media de Impacto   |                        |
| Refuerzo:  | 2 Capas de fibra de cabuya tejida.      |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Cantidad:  | 8                                       |               |              | Dimensiones (mm):     |                            | 58x58                      |                        |
| Espesor:   | 3.62 aprox.                             |               |              |                       |                            |                            |                        |
| TABULACIÓN DE DATOS:   |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| N°   | Ancho (mm)                              | Largo (mm)    | Espesor (mm) | Masa aplicada (kg)    | Altura media de fallo (mm) | Energía media de fallo (J) | Tipo de falla evaluado |
| 1  | 57.8                                    | 58.2          | 2.5          | 0.232                 | 400                        | 0.91                       | A                      |
| 2  | 57.9                                    | 58.2          | 2.2          | 0.232                 | 400                        | 0.91                       | A                      |
| 3  | 57.8                                    | 57.4          | 2.2          | 0.232                 | 600                        | 1.37                       | B                      |
| 4  | 57.9                                    | 57.9          | 2.6          | 0.232                 | 600                        | 1.37                       | B                      |
| 5  | 58.5                                    | 58.1          | 2.2          | 0.232                 | 800                        | 1.82                       | B                      |
| 6  | 57.8                                    | 57.5          | 2.4          | 0.232                 | 800                        | 1.82                       | B                      |
| 7  | 58.1                                    | 58            | 2.3          | 0.232                 | 1000                       | 2.28                       | C                      |
| 8  | 58                                      | 58.1          | 2.2          | 0.232                 | 1100                       | 2.50                       | C                      |
| PROBETAS ENSAYADAS:  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
|  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |

**Figura 4.13.** Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo

| <b>RESULTADOS:</b>   |                                      |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
|--|--------------------------------------|------|----------|-----------------------|---|-----|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|
| <table border="1"> <caption>ENERGÍA MEDIA DE FALLO</caption> <thead> <tr> <th>PROBETAS</th> <th>ENERGÍA ABSORVIDA (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8</td><td>2,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>2,28</td></tr> <tr><td>6</td><td>1,82</td></tr> <tr><td>5</td><td>1,82</td></tr> <tr><td>4</td><td>1,37</td></tr> <tr><td>3</td><td>1,37</td></tr> <tr><td>2</td><td>0,91</td></tr> <tr><td>1</td><td>0,91</td></tr> </tbody> </table>   |                                      |      | PROBETAS | ENERGÍA ABSORVIDA (J) | 8 | 2,5 | 7 | 2,28 | 6 | 1,82 | 5 | 1,82 | 4 | 1,37 | 3 | 1,37 | 2 | 0,91 | 1 | 0,91 |
| PROBETAS   | ENERGÍA ABSORVIDA (J)                |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 8  | 2,5                                  |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 7  | 2,28                                 |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 6  | 1,82                                 |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 5  | 1,82                                 |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 4  | 1,37                                 |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 3  | 1,37                                 |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 2  | 0,91                                 |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| 1  | 0,91                                 |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |                                      |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las probetas 1 y 2 presentaron el código A, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que se presentó grietas en una sola superficie por lo que la probeta puede todavía sostener el agua.</li> <li>• Las probetas 3, 4, 5 y 6 presentaron el código B, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que el agua probablemente puede penetrar a través de la probeta.</li> <li>• Las probetas 7 y 8 presentaron el código C, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que la probeta está fracturada en toda la superficie.</li> </ul> |                                      |      |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |
| <b>EVALUACIÓN:</b>   | Promedio de la energía de fallo (J): | 1.62 |          |                       |   |     |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |

**Figura 4.13.** Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.13**, se detallaron la ficha de recolección de datos del segundo grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de impacto, compuesta por dos capas de fibra de cabuya tejida como refuerzo y una matriz de resina poliéster, se puede observar el estado de falla que presentó cada probeta con su respectiva evaluación del promedio de la energía de fallo de las ocho probetas ensayadas.

| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
|--|---|---------------|--------------|-----------------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| ENSAYO DE IMPACTO III  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Lugar:   | Universidad Técnica de Ambato.          |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Fecha:   | 05 de febrero del 2020.                 |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Máquina:   | Máquina tipo caída de masas de Impacto. |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Normativa:   | ASTM D5628-10                           |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Elaborado por:   | Valencia Bryan y Pozo William.          | Aprobado por: |              |                       |                            |                            |                        |
| DATOS DEL ENSAYO   |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Matriz:  | 60% Resina poliéster.                   |               |              | Tipo de medición (J): |                            | Energía Media de Impacto   |                        |
| Refuerzo:  | 40% Fibra de cabuya suelta.             |               |              |                       |                            |                            |                        |
| Cantidad:  | 8                                       |               |              | Dimensiones (mm):     |                            | 58x58                      |                        |
| Espesor:   | 3.25 aprox.                             |               |              |                       |                            |                            |                        |
| TABULACIÓN DE DATOS:   |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
| N°   | Ancho (mm)                              | Largo (mm)    | Espesor (mm) | Masa aplicada (kg)    | Altura media de fallo (mm) | Energía media de fallo (J) | Tipo de falla evaluado |
| 1  | 57.7                                    | 58.2          | 3.2          | 0.587                 | 400                        | 2.30                       | A                      |
| 2  | 57.5                                    | 58.2          | 3.1          | 0.587                 | 400                        | 2.30                       | A                      |
| 3  | 58.1                                    | 58.3          | 3.2          | 0.587                 | 700                        | 4.03                       | B                      |
| 4  | 58.15                                   | 57.2          | 3.65         | 0.587                 | 700                        | 4.03                       | A                      |
| 5  | 58.3                                    | 58.15         | 3.35         | 0.587                 | 1 000                      | 5.76                       | D                      |
| 6  | 55.9                                    | 58.2          | 2.7          | 0.587                 | 1 000                      | 5.76                       | D                      |
| 7  | 57.8                                    | 58.1          | 3            | 0.587                 | 1 100                      | 6.33                       | D                      |
| 8  | 57.6                                    | 57.75         | 3.1          | 0.587                 | 1 200                      | 6.91                       | D                      |
| PROBETAS ENSAYADAS:  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |
|  |   |               |              |                       |                            |                            |                        |

**Figura 4.14.** Ficha de los ensayos de impacto del tercer grupo



| <b>RESULTADOS:</b>   |                                      |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
|--|--------------------------------------|------|----------|-----------------------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|------|---|-----|---|-----|
| <table border="1" style="margin: auto;"> <caption>ENERGÍA MEDIA DE FALLO</caption> <thead> <tr> <th>PROBETAS</th> <th>ENERGÍA ABSORVIDA (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>8</td><td>6,91</td></tr> <tr><td>7</td><td>6,33</td></tr> <tr><td>6</td><td>5,76</td></tr> <tr><td>5</td><td>5,76</td></tr> <tr><td>4</td><td>4,03</td></tr> <tr><td>3</td><td>4,03</td></tr> <tr><td>2</td><td>2,3</td></tr> <tr><td>1</td><td>2,3</td></tr> </tbody> </table>  |                                      |      | PROBETAS | ENERGÍA ABSORVIDA (J) | 8 | 6,91 | 7 | 6,33 | 6 | 5,76 | 5 | 5,76 | 4 | 4,03 | 3 | 4,03 | 2 | 2,3 | 1 | 2,3 |
| PROBETAS   | ENERGÍA ABSORVIDA (J)                |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 8  | 6,91                                 |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 7  | 6,33                                 |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 6  | 5,76                                 |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 5  | 5,76                                 |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 4  | 4,03                                 |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 3  | 4,03                                 |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 2  | 2,3                                  |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| 1  | 2,3                                  |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| <b>OBSERVACIONES:</b>  |                                      |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las probetas 1, 2 y 4 presentaron el código A, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que se presentó grietas en una sola superficie por lo que la probeta puede todavía sostener el agua.</li> <li>• La probeta 3 presentó el código B, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que el agua probablemente puede penetrar a través de la probeta.</li> <li>• Las probetas 5, 6, 7, y 8 presentaron el código D, según la nomenclatura de la normativa ASTM D5628-10 que indica que se produjo una ruptura total atravesando el espesor de la probeta.</li> </ul> |                                      |      |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |
| <b>EVALUACIÓN:</b>   | Promedio de la energía de fallo (J): | 4.68 |          |                       |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |      |   |     |   |     |

**Figura 4.14.** Ficha de los ensayos de impacto del tercer grupo (**Continuación...**)

En la **Figura 4.14**, se detallaron la ficha de recolección de datos del tercer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de impacto, con la composición de 40% de fibra de cabuya suelta como refuerzo y un 60% de resina poliéster, se puede observar el estado de falla que presentaron cada probeta con su respectiva evaluación del promedio de la energía de fallo de las ocho probetas ensayadas.

## 4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se tomó en cuenta todos los valores promedios de cada grupo de las probetas ensayadas a tracción, flexión e impacto. A continuación, se detalla los resultados de los ensayos que fueron expuestos de cada grupo de las probetas.

### 4.2.1 RESULTADOS DE LAS PROBETAS DE TRACCIÓN

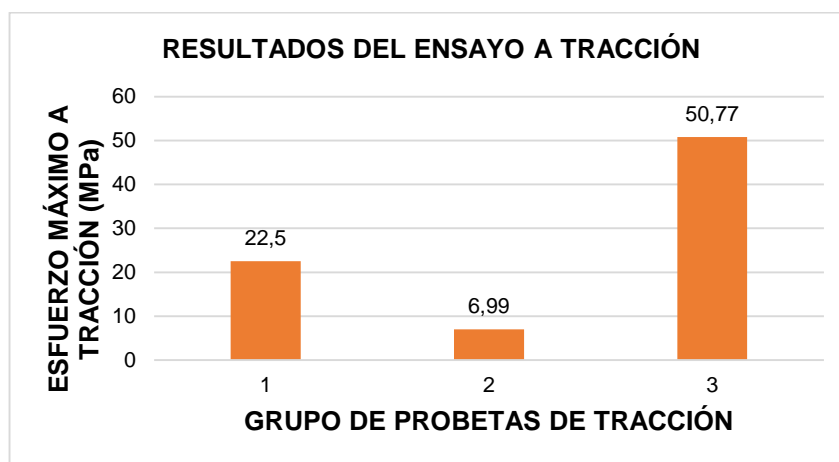
En la Tabla 4.1, se muestra los valores de los esfuerzos máximos a tracción y los módulos de elasticidad que soportaron las probetas durante los ensayos.

**Tabla 4.1.** Esfuerzos máximos a tracción y módulos de elasticidad

| GRUPO | ESFUERZO MÁXIMO (MPa) | MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa) |
|-------|-----------------------|-----------------------------|
| 1     | 22.50                 | 1 680.69                    |
| 2     | 6.99                  | 756.407                     |
| 3     | 50.77                 | 2 185.12                    |

Fuente: (Propia)

A continuación se detalla los resultados de las probetas de tracción.



**Figura 4.15.** Resultados de las probetas a tracción

En la **Figura 4.15**, se puede observar la representación de los resultados de los ensayos a tracción de las tres composiciones volumétricas de las probetas de tracción, de lo cual se obtuvo

buenos resultados principalmente las probetas de composición 40% de fibra de cabuya suelta y de 60% de resina poliéster obteniendo los mejores resultados en las pruebas con un valor promedio de esfuerzo máximo a tracción de 50.77 MPa con un módulo de elasticidad promedio de 2 185.12 MPa.

#### 4.2.2 RESULTADOS DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN

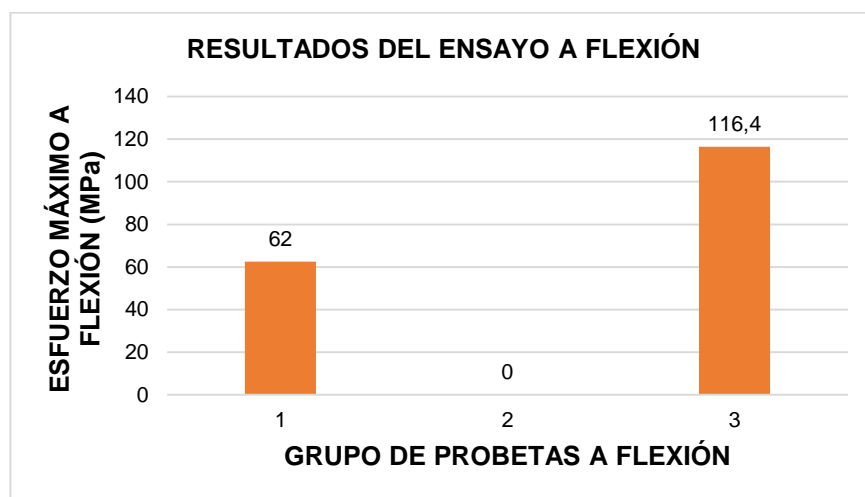
En la Tabla 4.2, se muestra los valores de los esfuerzos máximos a flexión y los módulos de elasticidad que soportaron las probetas durante los ensayos.

**Tabla 4.2.** Esfuerzos máximos a flexión y módulos de elasticidad

| GRUPO | ESFUERZO MÁXIMO (MPa) | MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa) |
|-------|-----------------------|-----------------------------|
| 1     | 62.468                | 4 667.239                   |
| 2     | 0                     | 0                           |
| 3     | 116.4                 | 3 266.554                   |

Fuente: (Propia)

A continuación se detalla los resultados de las probetas de flexión.



**Figura 4.16.** Resultados de las probetas a flexión

En la **Figura 4.16**, se puede observar la representación de los resultados de los ensayos a flexión de las tres composiciones volumétricas de las probetas de flexión, de lo cual se obtuvo buenos

resultados en las probetas de composición 40% de fibra de cabuya suelta y de 60% de resina poliéster obteniendo los mejores resultados en las pruebas con un valor promedio de esfuerzo máximo a flexión de 116.4 MPa con un módulo de elasticidad promedio de 3 266.55 MPa. Sin embargo, las probetas de la composición 2 capas de cabuya tejida con resina poliéster no obtuvieron ningún valor debido a su baja resistencia mecánica a flexión.

### 4.2.3 RESULTADOS DE LAS PROBETAS DE IMPACTO

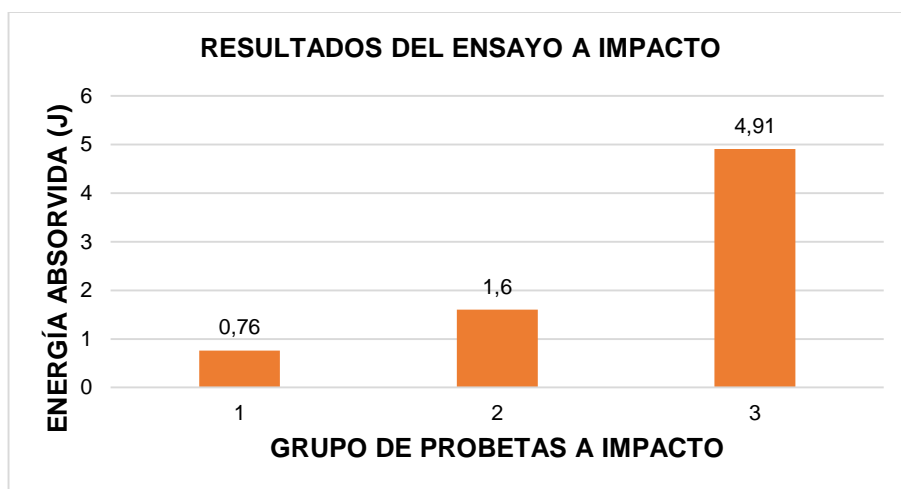
En la Tabla 4.3, se muestra los valores de la energía absorbida que soportaron estas probetas durante los ensayos.

**Tabla 4.3.** Energía absorbida de las probetas de impacto

| GRUPO | ENERGÍA ABSORVIDA (J) |
|-------|-----------------------|
| 1     | 0.76                  |
| 2     | 1.6                   |
| 3     | 4.91                  |

Fuente: (Propia)

A continuación se detalla los resultados de las probetas de impacto.



**Figura 4.17.** Resultados de las probetas a impacto

En la **Figura 4.17**, se puede observar la representación de los resultados del ensayo a impacto de las tres composiciones volumétricas de las probetas de impacto, de lo cual se obtuvo buenos resultados en las probetas de composición 40% de fibra de cabuya suelta y de 60% de resina

poliéster obteniendo los mejores resultados en las pruebas con un valor promedio de energía absorbida de 4.91 MPa.

### **4.3 VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Para poder corroborar el estudio realizado del material compuesto conformado por matriz polimérica reforzado con fibra de cabuya, se comprueba la hipótesis planteada a través de un análisis estadístico por medio del método de t-Student, tomando en cuenta los resultados de los esfuerzos máximos a tracción, flexión y el valor máximo de los resultados de impacto que se obtuvieron de cada grupo de las probetas, con el fin de determinar cuál presta las mejores propiedades mecánicas.

#### **4.3.1 HIPÓTESIS NULA (H<sub>0</sub>)**

El material compuesto de resina poliéster con fibra de cabuya suelta utilizada como material de refuerzo no presta mejores propiedades mecánicas que el refuerzo con fibra de cabuya tejida en los distintos ensayos.

#### **4.3.2 HIPÓTESIS ALTERNATIVA (H<sub>A</sub>)**

El material compuesto de resina poliéster con fibra de cabuya suelta utilizada como material de refuerzo presta mejores propiedades mecánicas que el refuerzo con fibra de cabuya tejida en los distintos ensayos.

#### **4.3.3 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS**

$H_0 = X \leq Y$

$H_a = X > Y$

Donde:

X = Resultados de la primera variable (Grupo tres).

$\bar{X}$  = Promedio de la primera variable (Grupo tres).

Y = Resultados de la segunda variable (Grupo uno).

$\bar{Y}$  = Promedio de la segunda variable (Grupo uno).

#### 4.3.3.1 Módulo matemático

Nivel de confianza = 95%

Nivel de significancia:

$$\alpha = 5\% = \frac{5}{100} = 0.05$$

#### 4.3.3.2 Verificación de la hipótesis con las probetas de tracción

En la Tabla 4.4, se muestra los valores de las variables del tercer y primer grupo de las probetas ensayadas a tracción.

**Tabla 4.4.** Variables de las probetas de tracción "X" - "Y"

| <b>PROBETAS</b> | <b>PRIMERA VARIABLE X<br/>(GRUPO TRES)</b> | <b>SEGUNDA VARIABLE Y<br/>(GRUPO UNO)</b> |
|-----------------|--|---|
| 1               | 39.30                                      | 29.17                                     |
| 2               | 40.64                                      | 31.21                                     |
| 3               | 65.38                                      | 18.96                                     |
| 4               | 33.30                                      | 24.49                                     |
| 5               | 75.92                                      | 13.18                                     |
| 6               | 50.06                                      | 18.00                                     |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>50.76</b>                               | <b>22.502</b>                             |

**Fuente:** (Propia)

Desviación estándar =  $S_x = 16.649$  de los resultados de la primera variable (Grupo tres).

Desviación estándar =  $S_y = 6.987$  de los resultados de la segunda variable (Grupo uno).

#### 4.3.3.2.1 Método de distribución t-Student

Para determinar el valor estadístico de la distribución t-Student se utilizó la siguiente Ecuación [4.1].

$$t_c = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2}} \sqrt{\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y}}} \quad [4.1]$$

Donde:

$t_c$  = valor estadístico calculado.

$$t_c = \frac{50.76 - 22.502}{\sqrt{\frac{(6-1)16.649^2 + (6-1)6.987^2}{6+6-2}} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}$$

$$t_c = 2.913$$

Por lo tanto:

Si  $t_c < t_\alpha$  se acepta la hipótesis nula.

Si  $t_c > t_\alpha$  se acepta la hipótesis alternativa.

#### 4.3.3.2.2 Grados de libertad

Para determinar los grados de libertad se utilizó la ecuación [4.2].

$$n = n_1 + n_2 - 2$$

[4.2]

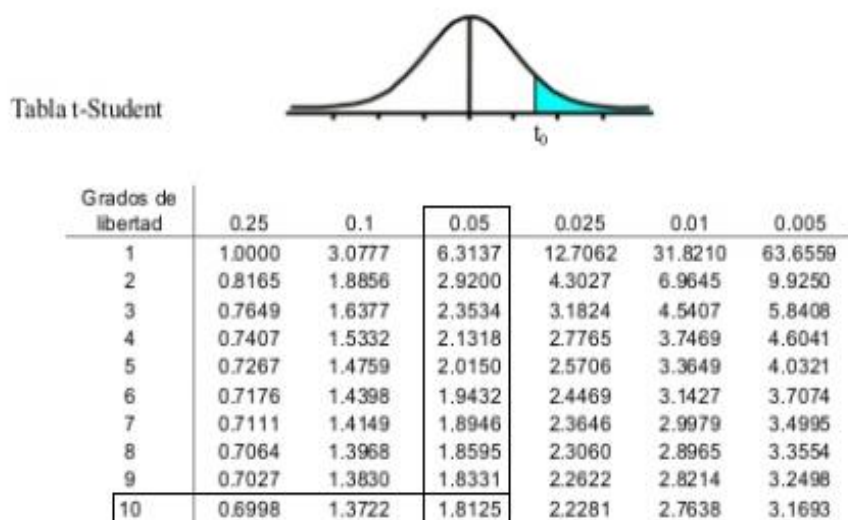
Donde:

$n_1$  = tamaño de la muestra de la primera variable (Grupo tres).

$n_2$  = tamaño de la muestra de la segunda variable (Grupo uno).

$$n = 6 + 6 - 2$$

$$n = 10$$



**Figura 4.18.** Tabla t-Student para tracción

En la **Figura 4.18**, se determina el valor de distribución t-Student con el tamaño de la muestra y el nivel de significancia para las probetas de tracción. Según la tabla t-Student se tiene:

$$t_{\alpha} = 1.8125$$

#### 4.3.3.2.3 Comprobación

$$t_{\alpha} = 1.8125$$

$$t_c = 2.913$$

$$t_c > t_{\alpha} = 2.913 > 1.8125$$



Ante los resultados se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que nos dice que “El material compuesto de resina poliéster con fibra de cabuya suelta utilizada como material de refuerzo presta mejores propiedades mecánicas a tracción que el refuerzo con fibra de cabuya tejida”.

#### 4.3.3.3 Verificación de la hipótesis con las probetas de flexión

En la Tabla 4.5, se muestra los valores de las variables del tercer y primer grupo de las probetas ensayadas a flexión.

**Tabla 4.5.** Variables de las probetas de flexión "X" - "Y".

| <b>PROBETAS</b> | <b>PRIMERA VARIABLE X<br/>(GRUPO TRES)</b> | <b>SEGUNDA VARIABLE Y<br/>(GRUPO UNO)</b> |
|-----------------|--|---|
| 1               | 89.04                                      | 52.71                                     |
| 2               | 99.20                                      | 69.30                                     |
| 3               | 165.19                                     | 82.84                                     |
| 4               | 98.22                                      | 87.66                                     |
| 5               | 108.44                                     | 31.00                                     |
| 6               | 138.31                                     | 51.30                                     |
| <b>PROMEDIO</b> | <b>116.400</b>                             | <b>62.468</b>                             |

Fuente: (Propia)

Desviación estándar =  $S_x = 29.331$  de los resultados de la primera variable (Grupo tres).

Desviación estándar =  $S_y = 36.221$  de los resultados de la segunda variable (Grupo uno).

##### 4.3.3.3.1 Método de distribución t-Student

Para determinar el valor estadístico de la distribución t-Student se utilizó la Ecuación [4.1].

$$t_c = \frac{116.4 - 62.468}{\sqrt{\frac{(6-1)29.331^2 + (6-1)36.221^2}{6+6-2} \sqrt{\frac{1}{6} + \frac{1}{6}}}}$$

$$t_c = 2.154$$

Por lo tanto:

Si  $t_c < t_\alpha$  se acepta la hipótesis nula.

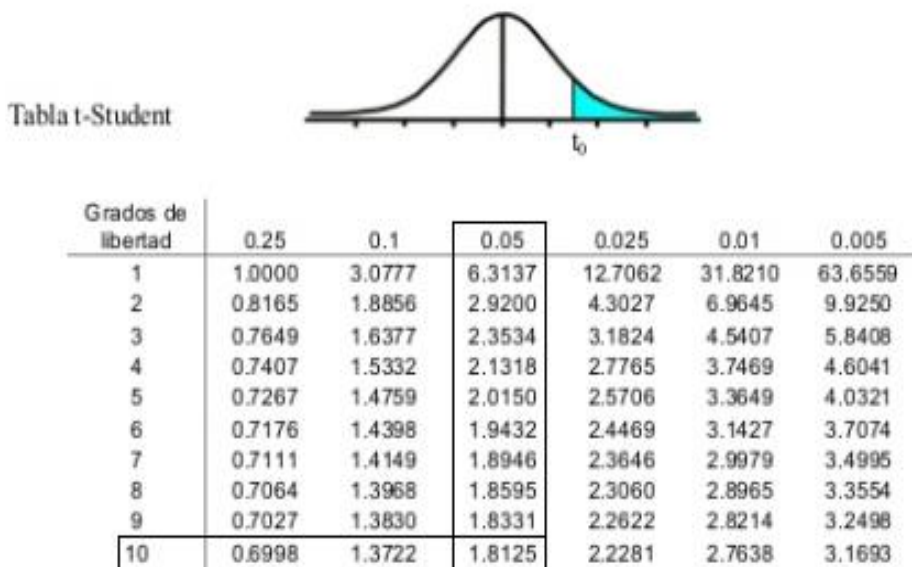
Si  $t_c > t_\alpha$  se acepta la hipótesis alternativa.

#### 4.3.3.3.2 Grados de libertad

Para determinar los grados de libertad se utilizó la Ecuación [4.2].

$$n = 6+6-2$$

$$n = 10$$



**Figura 4.19.** Tabla t-Student para flexión

En la **Figura 4.19**, se determina el valor de distribución t-Student con el tamaño de la muestra y el nivel de significancia para las probetas de flexión.

Según la tabla t-Student se tiene:

$$t_\alpha = 1.8125$$

#### 4.3.3.3.3 Comprobación

$$t_{\alpha} = 1.8125$$

$$t_c = 2.154$$

$$t_c > t_{\alpha}$$

$$2.154 > 1.8125$$

Ante los resultados se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que nos dice que “El material compuesto de resina poliéster con fibra de cabuya suelta utilizada como material de refuerzo presta mejores propiedades mecánicas a flexión que el refuerzo con fibra de cabuya tejida”.

#### 4.3.3.4 Verificación de la hipótesis con las probetas de impacto

En la Tabla 4.6, se muestra los valores de las variables del tercer y primer grupo de las probetas ensayadas a impacto.

**Tabla 4.6.** Variables de las probetas de impacto "X" - "Y"

| <b>PROBETAS</b>            | <b>PRIMERA VARIABLE X<br/>(GRUPO TRES)</b> | <b>SEGUNDA VARIABLE Y<br/>(GRUPO UNO)</b> |
|----------------------------|--|---|
| 1                          | 2.30                                       | 0.34                                      |
| 2                          | 2.30                                       | 0.34                                      |
| 3                          | 4.03                                       | 0.46                                      |
| 4                          | 4.03                                       | 0.46                                      |
| 5                          | 5.76                                       | 0.68                                      |
| 6                          | 5.76                                       | 0.68                                      |
| 7                          | 6.33                                       | 1.37                                      |
| 8                          | 6.91                                       | 1.82                                      |
| <b>PROMEDIO</b>            | <b>4.677</b>                               | <b>0.768</b>                              |
| <b>Desviación estándar</b> | <b>1.78</b>                                | <b>0.54</b>                               |

Fuente: (Propia)

Desviación estándar =  $S_x = 1,78$  de los resultados de la primera variable (Grupo tres).

Desviación estándar =  $S_y = 0,54$  de los resultados de la segunda variable (Grupo uno).

#### 4.3.3.4.1 Método de distribución t-Student

Para determinar el valor estadístico de la distribución t-Student se utilizó la siguiente Ecuación [4.1].

$$t_c = \frac{4.677 - 0.768}{\sqrt{\frac{(8-1)1.78^2 + (8-1)0.54^2}{8+8-2}} \sqrt{\frac{1}{8} + \frac{1}{8}}}$$

$$t_c = 4.203$$

Por lo tanto:

Si  $t_c < t_\alpha$  se acepta la hipótesis nula.

Si  $t_c > t_\alpha$  se acepta la hipótesis alternativa.

#### 4.3.3.4.2 Grados de libertad

$$n = n_1 + n_2 - 2$$

Donde:

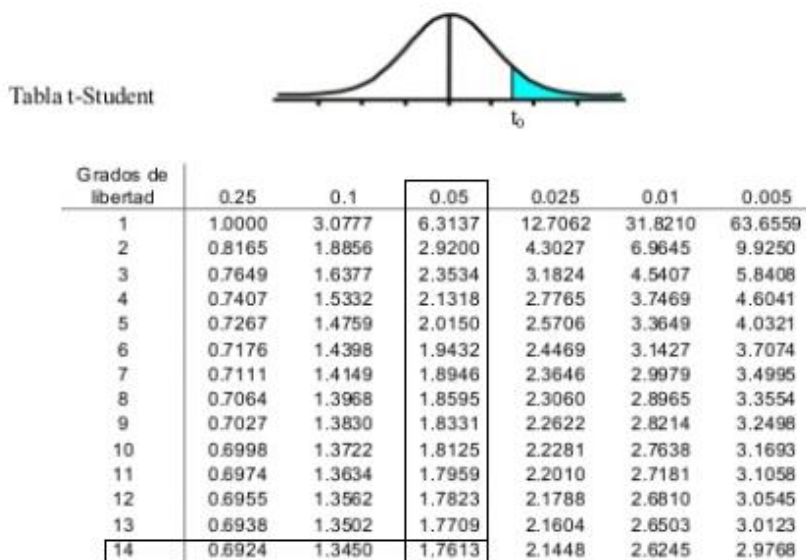
$n_1$  = tamaño de la muestra de la primera variable (Grupo tres).

$n_2$  = tamaño de la muestra de la segunda variable (Grupo uno).

$$n = 8 + 8 - 2$$

$$n = 14$$

Con los valores del tamaño de la muestra y el nivel de significancia se determina el valor de distribución t-Student.



**Figura 4.20.** Tabla t-Student para impacto

En la **Figura 4.20**, se determina el valor de distribución t-Student con el tamaño de la muestra y el nivel de significancia para las probetas de impacto. Según la tabla t-Student se tiene:

$$t_{\alpha} = 1.7613$$

#### 4.3.3.4.3 Comprobación

$$t_{\alpha} = 1.7613$$

$$t_c = 4.203$$

$$t_c > t_{\alpha} = 4.203 > 1.7613$$

Ante los resultados se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa que nos dice que “El material compuesto de resina poliéster con fibra de cabuya suelta utilizada como material de refuerzo presta mejores propiedades mecánica a impacto que el refuerzo con fibra de cabuya tejida”.

Como resultado del análisis estadístico t-Student se determinó que el material compuesto de 60% de resina poliéster y 40% de fibra de cabuya suelta presentó mejores resultados que los dos grupos restantes.

#### 4.4 ANÁLISIS DEL PROTOTIPO

Se realizó una comparación entre el guardabarros original de la camioneta Mazda BT-50 con el prototipo fabricado. Por lo que se tomó en cuenta las características mecánicas del material original que viene a ser de polipropileno que es un material comúnmente utilizado en los plásticos de los vehículos para ser comparadas con las características mecánicas del material compuesto obtenido a base del 60% de resina poliéster y 40% de fibra de cabuya.

##### 4.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL ORIGINAL DEL GUARDABARROS DE LA CAMIONETA MAZDA BT-50

Para poder identificar las propiedades mecánicas que tiene el polipropileno se tomó resultados de un estudio que consistió en someter a este material a ensayos de pruebas de tracción, flexión e impacto.

En la Tabla 4.7, se detalla los resultados del polipropileno que fue sometido a los ensayos ya mencionados.

**Tabla 4.7.** Propiedades mecánicas del material polipropileno  
**PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO**

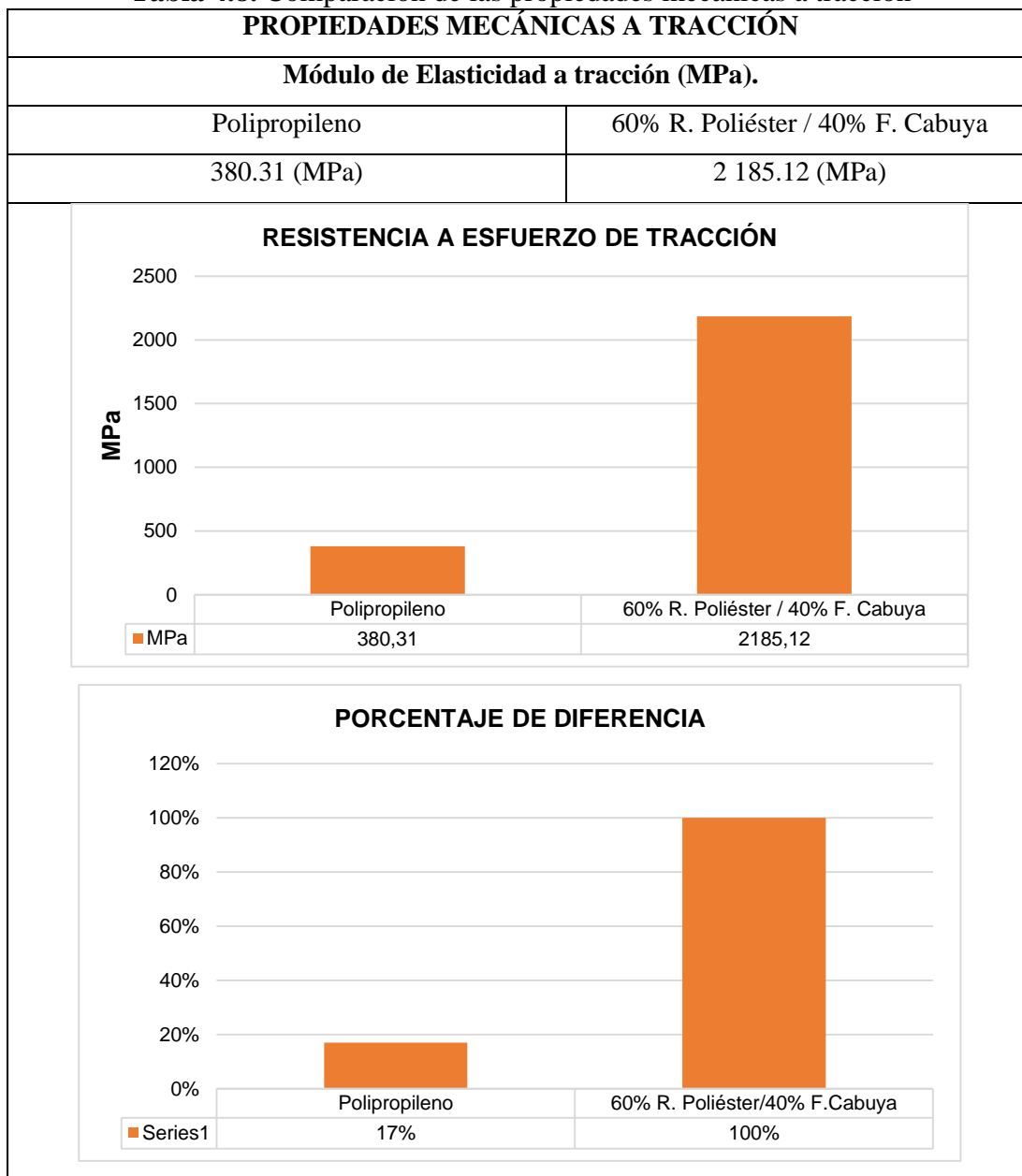
|   |        |
|---|--------|
| Módulo de Elasticidad a tracción (MPa). | 380.31 |
| Módulo de Elasticidad a flexión (MPa).  | 2 559  |
| Resistencia máxima al impacto (J).      | 3.9    |

**Fuente:** (Loza Chávez & Pila Espinosa, 2017, pág. 59)

#### 4.4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL GUARDABARROS FABRICADO CON EL ORIGINAL

Los valores de las propiedades mecánicas del polipropileno nos permitieron comparar con los valores obtenidos del material compuesto que fue elaborado. En la Tabla 4.8, se tiene la comparación de las características mecánicas del ensayo a tracción de los dos materiales.

**Tabla 4.8.** Comparación de las propiedades mecánicas a tracción

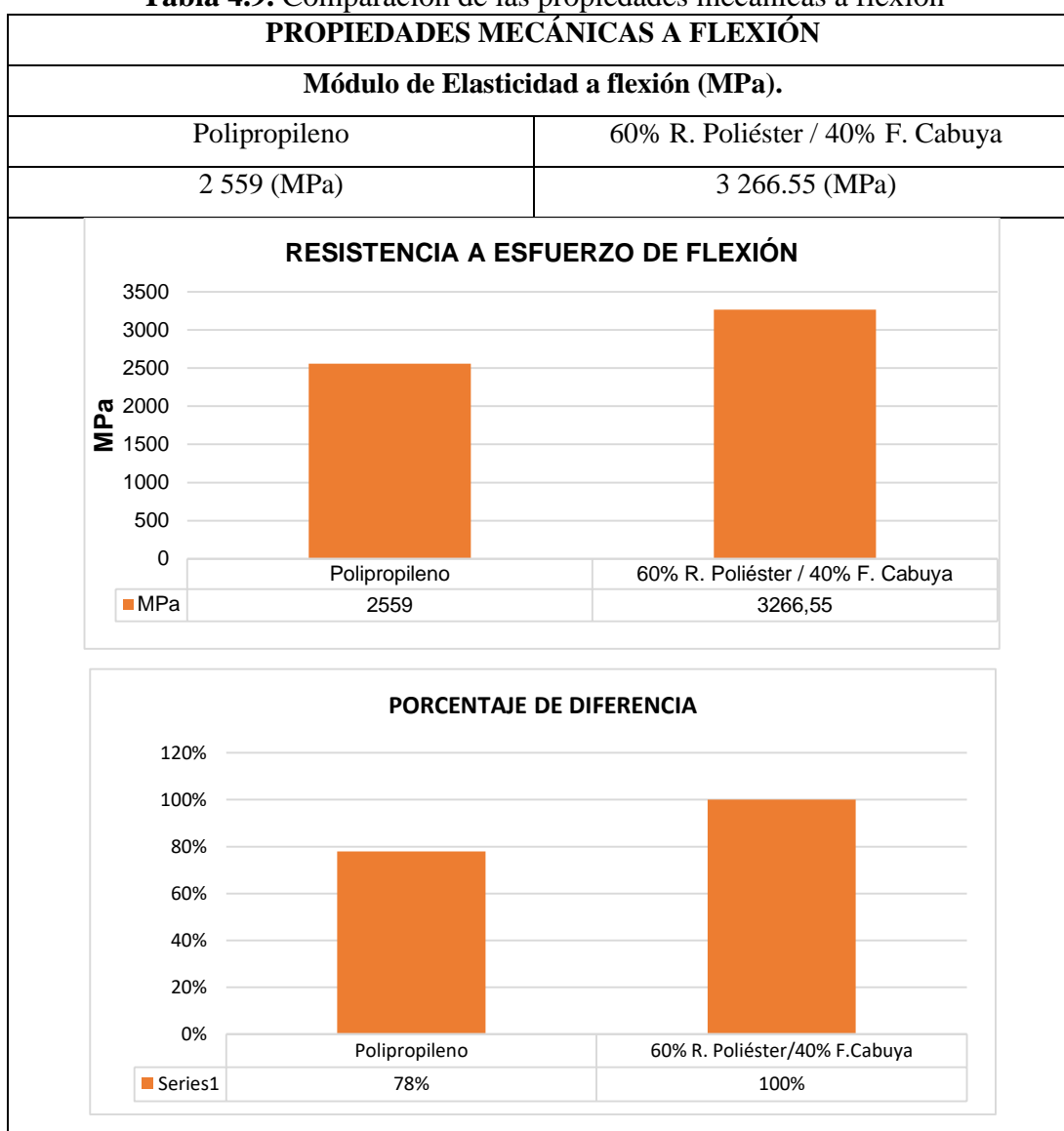


Fuente: (Propia)

En la Tabla 4.8 se observa un gráfico representando el porcentaje de diferencia que se tiene entre los valores del módulo de elasticidad a tracción de ambos materiales dándonos como resultado que el material de resina poliéster con fibra de cabuya es 83% mejor que el polipropileno.

En la Tabla 4.9, se tiene la comparación de las características mecánicas del ensayo a flexión de los dos materiales.

**Tabla 4.9.** Comparación de las propiedades mecánicas a flexión



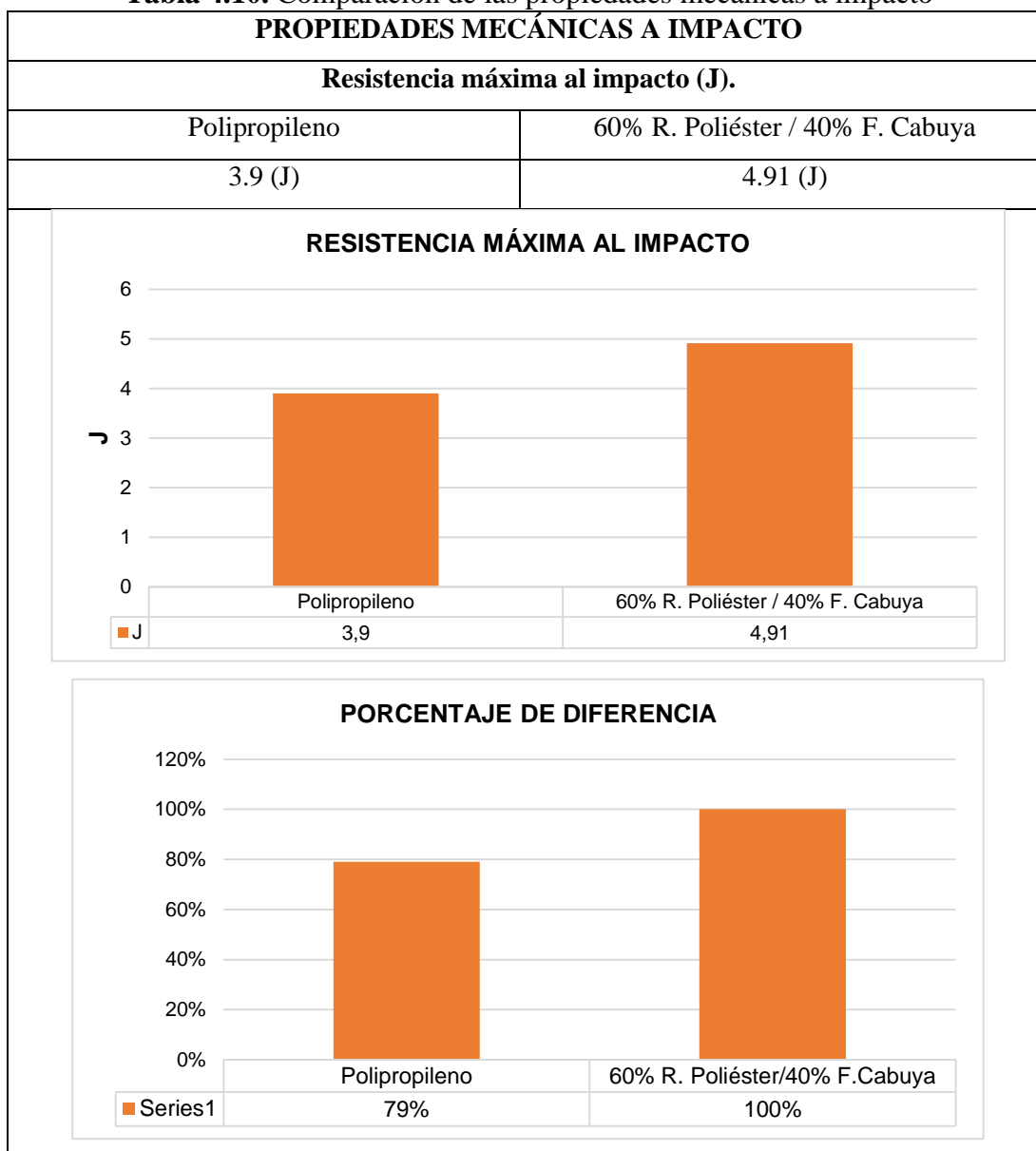
Fuente: (Propia)



En la Tabla 4.9 se observa un gráfico representando el porcentaje de diferencia que se tiene entre los valores del módulo de elasticidad a flexión de ambos materiales dándonos como resultado que el material de resina poliéster con fibra de cabuya es 22% mejor que el polipropileno.

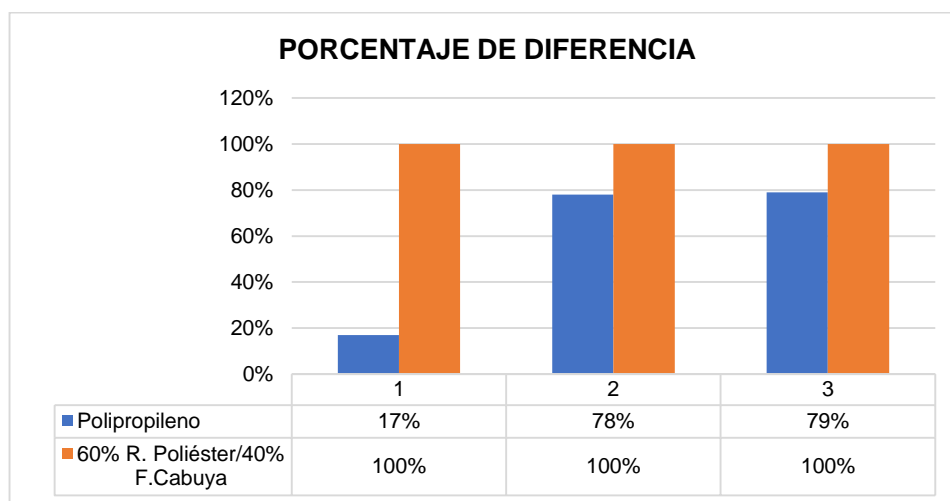
En la Tabla 4.10, se tiene la comparación de los resultados del ensayo de impacto que fueron sometidos los dos materiales.

**Tabla 4.10.** Comparación de las propiedades mecánicas a impacto



Fuente: (Propia)

En la Tabla 4.10 se observa un gráfico representando el porcentaje de diferencia que se tiene entre los valores de la resistencia máxima al impacto de ambos materiales dándonos como resultado que el material de resina poliéster con fibra de cabuya es 21% mejor que el polipropileno.



**Figura 4. 21.** Porcentaje de diferencia.

En la **Figura 4.21**, se observa tres grupos representando los porcentajes del módulo de elasticidad a tracción, del módulo de elasticidad a flexión y de la resistencia máxima al impacto, teniendo como mejor resultado el material de resina poliéster con fibra de cabuya.

#### **4.4.3 COMPARACIÓN DEL GUARDABARROS FABRICADO CON EL ORIGINAL EN EL MERCADO**

El guardabarros fabricado por el material compuesto a base de resina poliéster y fibra de cabuya se lo comparó con el guardabarros original a base de polipropileno tomando en cuenta ciertos parámetros de comparación como son: el peso, precio, resistencia al impacto y durabilidad. Estos criterios de comparación nos ayudarán a determinar si la pieza diseñada puede ser una alternativa comercial en el mercado.

En la Tabla 4.11, se describe los criterios y parámetros que se debe tomar en cuenta de los dos guardabarros para poder realizar su respectiva evaluación.

**Tabla 4.11.** Criterios y parámetros del guardabarros

| CRITERIO               | PARÁMETRO                         | DESCRIPCIÓN   |
|------------------------|-----------------------------------|---|
| Peso                   | Cantidad de masa.                 | Cantidad de materia que tiene el guardabarros.                                      |
| Costo                  | Materia prima y mano de obra.     | Valor de la materia prima y el tiempo invertido en la fabricación del guardabarros. |
| Resistencia al impacto | Propiedades mecánicas al impacto. | Capacidad de energía que puede absorber.  |
| Biodegradación.        | Tiempo.                           | Tiempo que se demora en descomponerse el material del guardabarros.                 |

Fuente: (Propia)

#### 4.4.3.1 Definición de los indicadores

En la Tabla 4.12, se describe cada uno de los indicadores de cada uno de los parámetros ya mencionados anteriormente con su descripción.

**Tabla 4.12.** Indicadores de los parámetros del guardabarros

| PARÁMETROS             | INDICADORES             | DESCRIPCIÓN |
|------------------------|-------------------------|-------------|
| Peso                   | Guardabarros fabricado. | 2.4 kg      |
|                        | Guardabarros original.  | 1 kg        |
| Costo                  | Guardabarros fabricado. | 100,00 USD  |
|                        | Guardabarros original.  | 175,00 USD  |
| Resistencia al impacto | Guardabarros fabricado. | 4.9 J       |
|                        | Guardabarros original.  | 3.9 J       |
| Biodegradación         | Guardabarros fabricado. | 6 meses     |
|                        | Guardabarros original.  | 700 años    |

Fuente: (Propia)

#### 4.4.3.2 Criterio de evaluación

A continuación, se tiene una valoración que se dio a los dos tipos de guardabarros con el fin de determinar la calidad de los productos en el mercado.

#### 4.4.3.2.1 Valoración

En la Tabla 4.13, se observa cuatro tipos de valoración: regular, bueno, muy bueno y excelente con su respectivo rango de porcentaje.

**Tabla 4.13.** Rango de valoración

| <b>VALORACIÓN</b> | <b>RANGO</b> |
|-------------------|--------------|
| Regular           | <70 %        |
| Bueno             | >70% y <80%  |
| Muy bueno         | >80% y <95%  |
| Excelente         | >95%         |

**Fuente:** (Propia)

#### 4.4.3.2.2 Escala de depreciación

En la Tabla 4.14, se muestra la valoración de calidad con su valor específico.

**Tabla 4.14.** Escala de depreciación

| <b>VALORACIÓN DE CALIDAD</b> | <b>VALOR ESPECÍFICO</b> |
|------------------------------|-------------------------|
| No satisfactorio             | 1                       |
| Poco Satisfactorio           | 2                       |
| Satisfactorio                | 3                       |
| Muy satisfactorio            | 4                       |

**Fuente:** (Propia)

Para determinar el análisis de cuantificación se utilizó las siguientes variables y ecuaciones:

$$C_{gf} = \sum A$$

$$C_{go} = \sum B$$

$$C_t = \sum M$$

$$P_{gf} = \frac{(C_{gf})}{(C_t)} * 100\% \quad [4.3]$$

$$P_{go} = \frac{(C_{go})}{(C_t)} * 100\% \quad [4.4]$$

Donde:

A = Representa el valor obtenido por el guardabarros elaborado.

B = Representa el valor obtenido por el guardabarros original.

M = Es el valor que tiene el parámetro.

C<sub>gf</sub> = Representa el valor alzado del guardabarros fabricado respecto al parámetro.

C<sub>go</sub> = Representa el valor alzado del guardabarros original respecto al parámetro.

C<sub>t</sub> = Es el valor que es evaluado el parámetro.

P<sub>gf</sub> = Porcentaje obtenido del guardabarros fabricado.

P<sub>go</sub> = Porcentaje obtenido del guardabarros original.

#### **4.4.4 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS**

##### **4.4.4.1 Peso**

Se determinó la masa de cada uno de los guardabarros pesándolos en una balanza eléctrica con medición en kilogramos, teniendo como resultado que el guardabarros fabricado tiene mayor cantidad de masa que el original.

En la Tabla 4.15, se tiene cuatro tipos de mediciones en kilogramos con su correspondiente valoración de calidad.

**Tabla 4.15.** Valoración del peso del guardabarros

| <b>MASA DEL<br/>GUARDABARROS (kg)</b> | <b>VALORACIÓN DE<br/>CALIDAD</b> |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Mayor de 3 kg                         | No satisfecho                    |
| 2.5 a 3 kg                            | Poco satisfecho                  |
| 1.5 a 2 kg                            | Satisfactorio                    |
| 1 a 1.5 kg                            | Muy satisfactorio                |

**Fuente:** (Propia)

En la Tabla 4.16, se observa la calificación que se le dio a cada guardabarros respecto al peso.

**Tabla 4.16.** Calificación del peso del guardabarros

| <b>INDICADORES</b>         | <b>VALOR DE<br/>CALIDAD</b> | <b>VALOR<br/>ALCANZADO</b> |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Guardabarros<br>fabricado. | Muy satisfactorio           | 4                          |
| Guardabarros<br>original.  | Poco satisfecho             | 2                          |

**Fuente:** (Propia)

#### 4.4.4.1.1 Interpretación

El guardabarros fabricado a base del material compuesto alcanzo un valor de 2 puntos por lo que viene siendo una pieza poco satisfactoria a lo contrario de la pieza original que tiene un puntaje de 4 con una valoración de calidad muy satisfecha, esto significa que el guardabarros fabricado a base del material compuesto es más pesado que el original.

#### 4.4.4.1.2 Evaluación

Con los datos obtenidos de las Tablas 4.15 y 4.16, se realizó su correspondiente evaluación tomando en cuenta las Ecuaciones: 4.3 y 4.4 que fueron planteadas posteriormente.

#### 4.4.4.1.3 Cálculo de los porcentajes

Se determinó el porcentaje del guardabarros fabricado (Pgf) y el porcentaje del guardabarros original (Pgo) con relación al peso de cada uno de ellos.

$$C_{gf} = \sum A=2$$

$$C_{go} = \sum B=4$$

$$C_t = \sum M=4$$

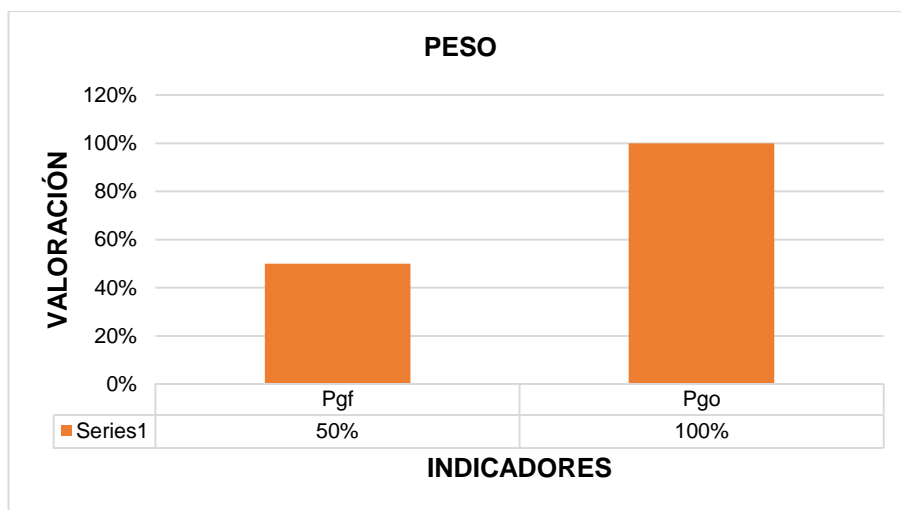
$$P_{gf} = \frac{(2)}{(4)} * 100\%$$

$$P_{gf} = 50\%$$

$$P_{go} = \frac{(4)}{(4)} * 100\%$$

$$P_{go} = 100\%$$

A continuación, se tiene un gráfico de comparación de los dos porcentajes obtenidos:



**Figura 4.22.** Gráfico de los resultados del peso de ambos guardabarros

Según la **Figura 4.22**, nos indica que el guardabarros a base del material compuesto es un poco más pesado que el guardabarros original aproximadamente 1.4 kg de diferencia que no es un valor muy excesivo comparado al peso que tiene la pieza original. Así que el guardabarros fabricado puede ser una alternativa para ser usado en la camioneta Mazda BT-50 sin que afecte considerablemente su peso, su rendimiento y el consumo de combustible.

#### 4.4.4.2 Costo

Se analizó el costo que tiene el guardabarros original en el mercado con el costo que tiene la fabricación del guardabarros a base de resina poliéster y fibra de cabuya. En la Tabla 4.17, se tiene cuatro tipos de costos con su correspondiente valoración de calidad.

**Tabla 4.17.** Valoración del costo del guardabarros

| <b>COSTO DEL<br/>GUARDABARROS</b> | <b>VALORACIÓN DE<br/>CALIDAD</b> |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| > 175 USD                         | No satisfecho                    |
| De 125 a 175 USD                  | Poco satisfecho                  |
| De 100 a 125 USD                  | Satisfactorio                    |
| < 100 USD                         | Muy satisfactorio                |

**Fuente:** (Propia)

En la Tabla 4.18, se observa la calificación que se le dio a cada guardabarros con respecto al costo

**Tabla 4.18.** Calificación del costo del guardabarros

| <b>INDICADORES</b>         | <b>VALOR DE<br/>CALIDAD</b> | <b>VALOR<br/>ALCANZADO</b> |
|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| Guardabarros<br>fabricado. | Muy<br>satisfactorio        | 4                          |
| Guardabarros<br>original.  | Poco<br>Satisfactorio       | 2                          |

**Fuente:** (Propia)



#### 4.4.4.2.1 Interpretación

El guardabarros fabricado tuvo un valor de 4 por lo que puede ser un producto muy satisfactorio en el mercado, mientras que el guardabarros original tiene un valor de 2 con un valor de calidad de poco satisfactorio.

#### 4.4.4.2.2 Evaluación

Con los datos obtenidos de las Tablas 4.17 y 4.18, se realiza su evaluación tomando en cuenta las Ecuaciones: 4.3 y 4.4 para así poder determinar el valor que tienen estos dos tipos de guardabarros.

#### 4.4.4.2.3 Cálculo de los porcentajes

Se determinó el porcentaje del guardabarros fabricado (Pgf) y el porcentaje del guardabarros original (Pgo) con relación al costo de cada uno de ellos.

$$C_{gf} = \sum A=4$$

$$C_{go} = \sum B=2$$

$$C_t = \sum M=4$$

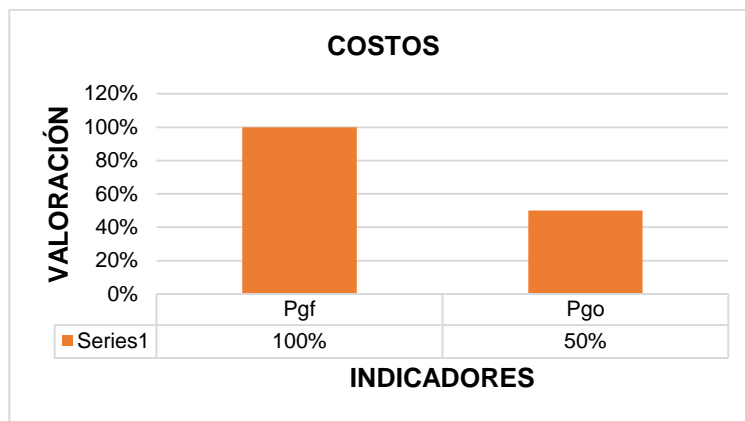
$$P_{gf} = \frac{(4)}{(4)} * 100\%$$

$$\mathbf{P_{gf} = 100\%}$$

$$P_{go} = \frac{(2)}{(4)} * 100\%$$

$$\mathbf{P_{go} = 50\%}$$

A continuación, se tiene un gráfico de comparación de los dos porcentajes obtenidos:



**Figura 4.23.** Gráfico de los resultados del costo de ambos guardabarros

Según la **Figura 4.23**, nos indica que el guardabarros a base de resina poliéster y fibra de cabuya tiene una valoración del 100% teniendo un excelente costo de la pieza en el mercado sin embargo el guardabarros original tuvo una valoración del 50% siendo un producto regular con el mercado en comparación con el guardabarros fabricado.

Esto se debe a que el costo del guardabarros fabricado en el mercado será de 100\$ siendo un valor más económico que el precio del guardabarros original que tiene un costo de 175\$.

#### 4.4.4.3 Resistencia al impacto

Se analiza y se valora los resultados que se obtuvieron de las propiedades mecánicas al impacto que tuvieron el guardabarros fabricado y el guardabarros original con el fin de obtener una pieza con buenas propiedades mecánicas al impacto. En la Tabla 4.19, se tiene cuatro tipos de valores de resistencia al impacto (J) con su correspondiente valoración de calidad.

**Tabla 4.19.** Valoración de la resistencia al impacto del guardabarros

| RESISTENCIA AL IMPACTO (J) | VALORACIÓN DE CALIDAD |
|----------------------------|-----------------------|
| < 2 J                      | No satisfecho         |
| Entre 2 J y 3 J            | Poco satisfecho       |
| Entre 3 J y 4 J            | Satisfactorio         |
| > 4 J                      | Muy satisfactorio     |

**Fuente:** (Propia)

En la Tabla 4.20, se observa la calificación y la valoración de calidad que se le dio a cada uno de los guardabarros con relación a la resistencia al impacto.

**Tabla 4.20.** Calificación de la resistencia al impacto del guardabarros

| INDICADORES             | VALOR DE CALIDAD | VALOR ALCANZADO |
|-------------------------|------------------|-----------------|
| Guardabarros fabricado. | Muy Satisfecho   | 4               |
| Guardabarros original.  | Satisfecho       | 3               |

Fuente: (Propia)

#### 4.4.4.3.1 Interpretación

Ante los resultados obtenidos sobre las propiedades mecánicas al impacto nos indica que el guardabarros fabricado a base del material compuesto tiene una calificación de 4 teniendo un valor de 4.9 J por lo que se puede decir que tiene un valor de calidad muy satisfecho, en cambio el guardabarros original tuvo un puntaje de 3 que es satisfecho ya que tiene un valor de 3.9 J.

#### 4.4.4.3.2 Evaluación

Con los datos obtenidos de las Tablas 4.19 y 4.20, se realiza su evaluación tomando en cuenta las Ecuaciones: 4.3 y 4.4, para así poder determinar el valor porcentual que tienen estos dos tipos de guardabarros.

#### 4.4.4.3.3 Cálculo de los porcentajes

$$C_{gf} = \sum A=4$$

$$C_{go} = \sum B = 3$$

$$C_t = \sum M = 4$$

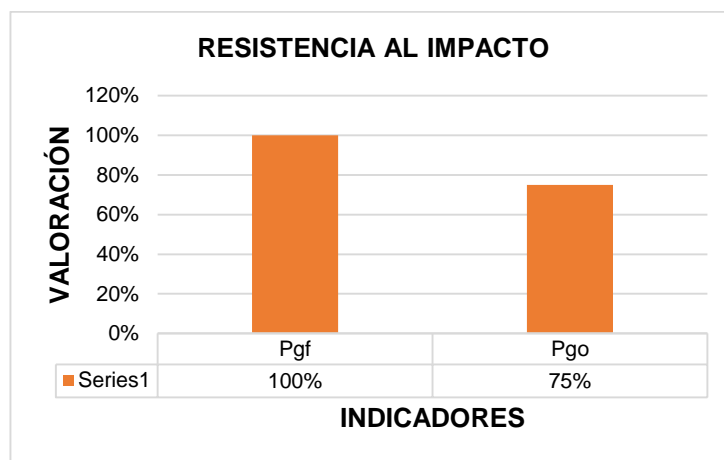
$$P_{gf} = \frac{(4)}{(4)} * 100\%$$

$$P_{gf} = 100\%$$

$$P_{go} = \frac{(3)}{(4)} * 100\%$$

$$P_{go} = 75\%$$

A continuación, se tiene un gráfico de comparación de los dos porcentajes obtenidos:



**Figura 4.24.** Gráfico de los resultados de la resistencia al impacto de ambos guardabarros

Según la **Figura 4.24**, se observa que en el parámetro de la resistencia al impacto el guardabarros a base de resina poliéster y fibra de cabuya tiene una valoración del 100% que nos indica que la pieza es excelente, en cambio el guardabarros original tiene una valoración del 75% teniendo una calificación buena.

Estos resultados son importantes para dar a conocer a los usuarios que pueden optar por utilizar el guardabarros que tenga mejores características mecánicas al impacto, debido a que estas

piezas del vehículo están expuestas a sufrir cualquier roce o golpe que se pueda producir de manera imprevista.

#### 4.4.4.4 Tiempo

Se designa un valor tiempo que tarda en descomponerse el material empleado para la fabricación de los dos tipos de guardabarros determinando cuál de estos es el más factible con el medio ambiente.

En la Tabla 4.21, se tiene cuatro tipos de valores de tiempo de su descomposición con su correspondiente valoración de calidad.

**Tabla 4.21.** Valoración de la descomposición del guardabarros

| <b>TIEMPO DE LA DESCOMPOSICIÓN</b> | <b>VALORACIÓN DE CALIDAD</b> |
|------------------------------------|------------------------------|
| > 10 años                          | No satisfecho                |
| De 5 a 10 años                     | Poco satisfecho              |
| De 1 a 5 años                      | Satisfactorio                |
| < 1 año                            | Muy satisfactorio            |

**Fuente:** (Propia)

En la Tabla 4.22, se observa la calificación y la valoración de calidad de la descomposición que se le dio a cada uno de los guardabarros

**Tabla 4.22.** Calificación de la descomposición del guardabarros

| <b>INDICADORES</b>      | <b>VALOR DE CALIDAD</b> | <b>VALOR ALCANZADO</b> |
|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| Guardabarros fabricado. | Muy satisfecho          | 4                      |
| Guardabarros original.  | No Satisfecho           | 1                      |

**Fuente:** (Propia)

#### 4.4.4.4.1 Interpretación

El guardabarros a base del material compuesto tiene una buena calificación con un valor de 4 siendo una pieza muy satisfactoria con respecto al tiempo de degradación del material, sin embargo, el guardabarros original no es satisfecho en este parámetro ya que tuvo un puntaje de 1 debido a su largo tiempo que dura el material polipropileno en descomponerse.

#### 4.4.4.4.2 Evaluación

Con los datos obtenidos de las Tablas 4.21 y 4.22, se realiza su evaluación tomando en cuenta las Ecuaciones: 4.3 y 4.4, para así poder determinar el valor porcentual que tienen estos dos tipos de guardabarros.

#### 4.4.4.4.3 Cálculo de los porcentajes

$$C_{gf} = \sum A=4$$

$$C_{go} = \sum B=1$$

$$C_t = \sum M=4$$

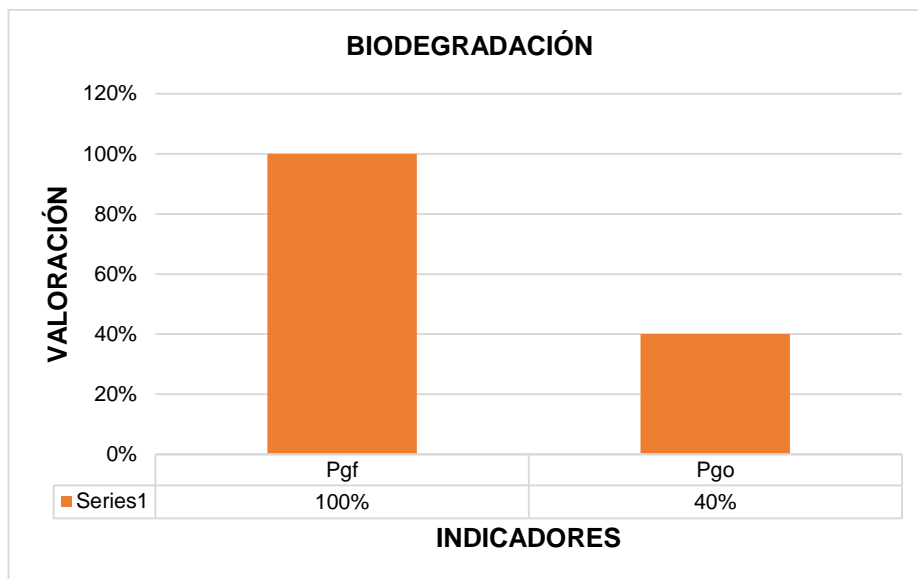
$$P_{gf} = \frac{(4)}{(4)} * 100\% = 100\%$$

$$\mathbf{P_{gf} = 100\%}$$

$$P_{go} = \frac{(1)}{(4)} * 100\% = 40\%$$

$$\mathbf{P_{go} = 40\%}$$

A continuación, se tiene un gráfico de comparación de los dos porcentajes obtenidos:



**Figura 4.25.** Gráfico de los resultados de biodegradación de ambos guardabarros

Según la **Figura 4.25**, nos indica que el guardabarros a base del material compuesto es totalmente más amigable con el medio ambiente alcanzando una valoración del 100% en comparación con el guardabarros original que tiene una valoración del 40%.

Esto se debe a que el material de refuerzo de la pieza que viene a ser la fibra de cabuya es muy amigable con el medio ambiente tiene un tiempo de descomposición menor a un año, sin embargo, el material del guardabarros original que viene a ser el polipropileno se demora bastantes años en descomponerse alrededor de 500 a 1000 años que viene a ser perjudicial para el ecosistema.

#### 4.4.5 PUNTAJES FINALES

Una vez determinado los puntajes que tiene cada parámetro de los dos guardabarros se realizó una evaluación final para determinar cuál de los dos tiene mejores características en el ámbito económico, calidad y ambiental.

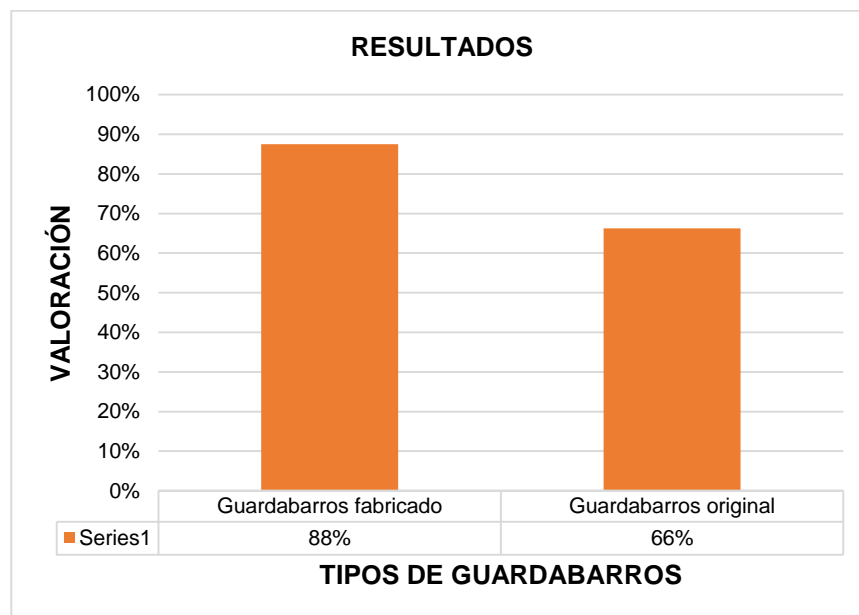
En la Tabla 4.23, se detalla los criterios, parámetros y los respectivos puntajes alcanzados de los dos tipos de guardabarros que fueron evaluados anteriormente.

**Tabla 4.23.** Valoración final

| CRITERIOS               | PARÁMETROS                        | GUARDABARROS FABRICADO             |              | GUARDABARROS ORIGINAL |               |
|-------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|--------------|-----------------------|---------------|
|                         |                                   | Fibra de cabuya / resina poliéster |              | Polipropileno         |               |
| Peso                    | Cantidad de masa.                 | 2                                  | 50%          | 4                     | 100%          |
| Costo                   | Materia prima y mano de obra.     | 4                                  | 100%         | 2                     | 50%           |
| Resistencia al impacto  | Propiedades mecánicas al impacto. | 4                                  | 100%         | 3                     | 75%           |
| Biodegradación          | Tiempo.                           | 4                                  | 100%         | 1                     | 40%           |
| <b>PUNTAJE PROMEDIO</b> |                                   | <b>3.5</b>                         | <b>87.5%</b> | <b>2.5</b>            | <b>66.25%</b> |

Fuente: (Propia)

A continuación se muestra una comparación entre los porcentajes obtenidos de los dos tipos de guardabarros

**Figura 4.26.** Resultados finales



En la **Figura 4.26**, se observa los resultados que se obtuvieron mediante el análisis de los parámetros de cada uno de los guardabarros que fueron planteados anteriormente, obteniendo una valoración el guardabarros fabricado del 87,5% a comparación con el guardabarros original que obtuvo una valoración del 66% siendo el guardabarros fabricado el que presenta mejores propiedades y características en comparación a la pieza original.

## 4.5 ANÁLISIS DE LOS COSTOS

### 4.5.1 COSTO DEL PROTOTIPO

Para determinar el costo de fabricación del prototipo del guardabarros a base de resina poliéster y fibra de cabuya se tomó en cuenta dos tipos de costos: costos directos y costos indirectos.

#### 4.5.1.1 Costos directos

Los costos directos conforman los materiales que se utilizaron para la fabricación del prototipo y la mano de obra empleada. En la Tabla 4.24, se detalla los materiales con la mano de obra que se utilizaron para la fabricación de la pieza y del molde.

**Tabla 4.24.** Costos directos

| <b>CANTIDAD</b> | <b>MATERIALES</b>    | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR UNITARIO</b> | <b>VALOR TOTAL</b> |
|-----------------|----------------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| 15              | Resina poliéster     | Kilogramo     | 3,00 USD              | 45,00 USD          |
| 1               | Monómero de estireno | Kilogramo     | 3,00 USD              | 3,00 USD           |
| 1               | Octoacto de cobalto  | Kilogramo     | 3,00 USD              | 3,00 USD           |
| 1               | Meck                 |               | 6,00 USD              | 6,00 USD           |
| 1               | Cera desmoldante     | Kilogramo     | 12,00 USD             | 12,00 USD          |
| 1               | Fibra de vidrio      | Kilogramo     | 4,00 USD              | 4,00 USD           |
| 1               | Fibra de cabuya      | Libra         | 2,00 USD              | 2,00 USD           |
| 5               | Brochas              |               | 1,00 USD              | 5,00 USD           |

Fuente: (Propia)

**Tabla 4.24. Costos directos (Continuación...)**

|                          |         |                      |          |                    |
|--------------------------|---------|----------------------|----------|--------------------|
| 2                        | Guantes |                      | 1,00 USD | 2,00 USD           |
| 3                        | Lijas   |                      | 0,60 USD | 1,80 USD           |
| 1                        | Disco   |                      | 2,00 USD | 2,00 USD           |
| Pintada del guardabarros |         |                      |          | 25,00 USD          |
| <b>MANO DE OBRA</b>      |         |                      |          |                    |
| <b>DÍAS EMPLEADOS</b>    |         | <b>VALOR POR DÍA</b> |          | <b>VALOR TOTAL</b> |
| 2                        |         | 15,00 USD            |          | 30,00 USD          |
| <b>TOTAL</b>             |         |                      |          | <b>140,80 USD</b>  |

Fuente: (Propia)

Los 2 días de mano de obra consiste en el tiempo invertido en la elaboración del molde de la pieza con la supervisión del maestro que nos daba pautas y consejos para poder realizar correctamente el molde de la pieza. En la Tabla 4.25, se detalla los costos que tendría la pieza fabricada en el mercado a base de resina poliéster reforzado con fibra de cabuya suelta.

**Tabla 4.25. Costos de la fabricación del prototipo**

| <b>CANTIDAD</b>          | <b>MATERIALES</b> | <b>UNIDAD</b> | <b>VALOR UNITARIO</b> | <b>VALOR TOTAL</b> |
|--------------------------|-------------------|---------------|-----------------------|--------------------|
| 10                       | Resina poliéster  | Kilogramo     | 3                     | 30,00 USD          |
| 1                        | Fibra de cabuya   | Libra         | 2                     | 2,00 USD           |
| 1                        | Cera desmoldante  | Kilogramo     | 12                    | 12,00 USD          |
| 2                        | Brochas           |               | 1                     | 2,00 USD           |
| 2                        | Guantes           |               | 1                     | 2,00 USD           |
| 2                        | Mano de obra      |               | 10                    | 20,00 USD          |
| Pintada del guardabarros |                   |               |                       | 25,00 USD          |
| <b>TOTAL</b>             |                   |               |                       | <b>93,00 USD</b>   |

Fuente: (Propia)

#### 4.5.1.2 Costos indirectos

Son los costos externos que se tiene para poder realizar el prototipo del guardabarros como el valor investigativo, impresiones y transporte.

En la Tabla 4.26, se detalla todos los costos indirectos para poder realizar el prototipo del guardabarros.

**Tabla 4.26.** Costos indirectos

| <b>DENOMINACIÓN</b> |   | <b>VALOR</b>        |
|---------------------|---|---------------------|
| Valor investigativo | Ensayos   | 553,00 USD          |
|                     | Materiales para la elaboración de las probetas. | 226,00 USD          |
| Impresiones         |   | 50,00,00 USD        |
| Transporte          |   | 100,00 USD          |
| Imprevistos         |   | 200,00 USD          |
| <b>TOTAL</b>        |   | <b>1 129,00 USD</b> |

**Fuente:** (Propia)

#### 4.5.2 COSTOS DEL PROYECTO

En la Tabla 4.27, se detalla todos los costos directos e indirectos que se tuvo en la elaboración del proyecto.

**Tabla 4.27.** Costo del proyecto

| <b>COSTO DEL PROYECTO</b> |                    |
|---------------------------|--------------------|
| Costos directos           | 140,80 USD         |
| Costos indirectos         | 1 129,00 USD       |
| <b>TOTAL</b>              | <b>1 269,8 USD</b> |

**Fuente:** (Propia)

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se elaboró probetas con material compuesto reforzado en tres configuraciones: primer grupo con una capa de fibra de cabuya tejida y resina poliéster, segundo grupo con dos capas de fibra de cabuya tejida y resina poliéster y el tercer grupo con 40% de fibra de cabuya suelta y 60% de resina poliéster, estas probetas tuvieron 15 días de curado en su molde, posteriormente se realizó el corte de las probetas según la normativa ASTM D3039-00 para el ensayo de tracción, normativa ASTM D7264-07 para el ensayo de flexión y normativa ASTM D5628-10 para el ensayo de impacto.
- Las probetas con una capa de fibra de cabuya tejida y resina poliéster presentaron un esfuerzo máximo de tracción de 22.50 MPa, un esfuerzo máximo de flexión de 62.468 MPa y una resistencia al impacto de 0.76 J. Las probetas con dos capas de fibra de cabuya tejida y resina poliéster presentaron un esfuerzo máximo de tracción de 6.99 MPa y una resistencia al impacto de 1.6 J, no se obtuvieron resultados en los ensayos de flexión. Las probetas con 40% de fibra de cabuya suelta y 60% de resina poliéster registraron un esfuerzo máximo de tracción de 50.77 MPa, un esfuerzo máximo de flexión de 116.4 MPa y una resistencia al impacto de 4.91 J.
- La aplicación que se eligió para el material compuesto en el campo automotriz fue la elaboración de un prototipo del guardabarros delantero de la camioneta Mazda BT-50 del año 2012, con un peso de 2,4 kg, costo de 100 USD y un periodo de degradación de 6 meses a diferencia del guardabarros original que tiene un peso de 1 kg, costo de 175 USD y el periodo de degradación es 700 años, estos aspectos ayudaron a determinar que el guardabarros fabricado a base del material compuesto de 60% de resina poliéster y 40% de fibra de cabuya tiene mejores propiedades mecánicas y beneficios en el mercado automotriz.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Elaborar nuevas configuraciones de material compuesto con 50% de fibra de cabuya y 50% de resina poliéster para realizar ensayos de tracción, flexión, impacto y fatiga basados en la norma ASTM para determinar si las propiedades mecánicas del material compuesto a base de estas fibras naturales mejoran y elaborar diferentes elementos automotrices.
- Para trabajar con la fibra de cabuya suelta no debe estar engomada, este proceso debe suspenderse para mejorar la manipulación de la fibra de cabuya y realizar trabajos en mejores condiciones, en el proceso de sellado se debe evitar la formación de burbujas de aire, esto puede influenciar en la estructura de las probetas y en los resultados de los ensayos a los que serán sometidas, por lo que se debe realizar un apriete de todos los pernos del tablero de manera uniforme.
- Analizar nuevas piezas automotrices de menor tamaño como retrovisores que se adapten al material compuesto de fibra de cabuya y resina poliéster empleando criterios de comparación como: calidad, fatiga y proceso de fabricación para reducir costos de producción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarado Castiblanco, A. M. (2017). *Obtención y caracterización mecánica de material compuesto resina poliéster - fibra de piña (Tesis de pregrado)*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
2. Anchatuña León, J. G., & Loachamín Navarrete, V. H. (2015). *Construcción de un prototipo de cubreneumático mediante moldeo ligero por transferencia de resina de compuestos (Tesis de pregrado)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
3. Askeland, D., & Wright, W. (2017). *Ciencia e Ingeniería de materiales*. CENGAGE Learning, Cengage Learning Editores, S.A.
4. Besendnjak Dietrich, A. (2005). Procesos de fabricación de embarcaciones. En *Materiales compuestos* (pág. 27). Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
5. Betancourt Chávez, D. G. (2018). *Desarrollo de un género textil a partir de la hoja de cabuya (Furcraea Andina) para indumentaria (Tesis de Pregrado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
6. Betancourt Chávez, D. G., & Salazar Garcés, D. K. (2017). Mejoramiento del proceso de suavizado de la fibra de cabuya para elaborar géneros textiles. *INNOVA RESEARCH JOURNAL*, 337.
7. Buñay Gualancañay, Á. F., & Morocho León, C. F. (2015). *Diseño, construcción y pruebas de una máquina para realizar ensayos de tracción en cuerdas de fibras sintéticas (Tesis de pregrado)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
8. Callister, W., & Rethwisch, D. (2016). Materiales compuestos reforzados con fibras. En *Ciencia e ingeniería de materiales* (pág. 546). Barcelona: Reverté, S. A.
9. Carrillo Játiva, R. X. (2015). *Diseño de un Material Compuesto con Matriz de Resina Poliéster y Fibras de Aserrín y PET (Tesis de pregrado)*. Quito: Universidad Internacional SEK.

10. Castro Amaguaña, L. G., & Quiroz Valencia, C. A. (2018). *Elaboración de un material compuesto utilizando nanofibra de carbono por termoconformado (Tesis de Pregrado)*. Ibarra.
11. Castro Lisintuña, C. D. (2018). *Caracterización de las probetas soldadas por fricción mediante pruebas de tracción y torsión para materiales: acero AISI 1018, acero AISI 1045, aluminio y bronce SAE 40 de 10 mm de diámetro (Tesis de pregrado)*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
12. Dávila, J. L., Galeas, S., Guerrero, V. H., Pontón, P., Rosas, N. M., Sotomayor, V., & Valdivieso, C. (2011). Nuevos materiales. *Aplicaciones estructurales e industriales.*, 46.
13. Delgado Arcentales, F. R. (2012). *Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros (Tesis de pregrado)*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
14. Espinoza Beltrán, G. E., & Hidalgo Pacheco, J. A. (2016). *Caracterización de materiales compuestos para la aplicación en la carrocería del vehículo monoplace tipo formula SAE (Tesis de pregrado)*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana Sede Matriz Cuenca.
15. González Jiménez, A. (2017). *Materiales elastoméricos con memoria de forma (Tesis de pregrado)*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
16. Izurieta Guerrero, C. E. (2017). *Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con partículas residuales de cuero en usos industriales (Tesis de pregrado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
17. Jácome León, A. D. (2015). *Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia de las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas (Tesis de pregrado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
18. Larrodé, E., Castejón, L., Clemente, R., Jiménez, M. Á., Lizaranzu, M., Cuartero, J., . . . Peralta, J. L. (2012). *Materiales compuestos I*. Barcelona: Editorial Reverté. S.A.

19. Loza Chávez, R. A., & Pila Espinosa, G. A. (2017). *Fabricación de un retrovisor para el vehículo suzuki forza con material compuesto de matriz polimérica de poliéster y refuerzo natural de cabuya (Tesis de pregrado)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
20. Martínez, X., & Verdejo, R. (2018). Materiales compuestos. *Asociación Española de Materiales Compuestos*, 16.
21. Mata Cabrera, F. (2004). Utilización de composites de matriz polimérica en la fabricación de automóviles. *Técnica Industrial*, 43.
22. Mazón Ortiz, P. D. (2018). *Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales (Tesis de pregrado)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
23. Moral Borque, A., & Nogueira López, M. (2007). *Materiales compuestos - composites*. Granada: Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
24. Morillo, D. M. (2016). *MEJORA AERODINÁMICA DE UN TURISMO*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
25. Nieblas, J. Á. (2015). *Elaboración de materiales compuestos a base de fibras orgánicas con posibles aplicaciones aeronáuticas (Tesis de pregrado)*. México: Instituto Politécnico Nacional.
26. Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2011). Ensayos mecánicos, ensayos no destructivos. En *Comportamiento mecánico de los materiales*. (pág. 5). Barcelona: Universitat de Barcelona.
27. Pachacama Nasimba, V. P. (2015). *Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto de base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta Mazda BT50 2010 (Tesis de pregrado)*. Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas.



28. Palacios Acosta, E. A. (2017). *Construcción de una estructura de soporte para una aeronave no tripulada aplicando ingeniería inversa, utilizando material de matriz de resina poliéster reforzado con fibra natural de coco o cabuya (Tesis de pregrado)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
29. Parra Zurita, D. J. (2015). *Utilización de la fibra natural de cabuya para la elaboración de plantillas antibacterianas con la aplicación de sulfato de cobre (Tesis de pregrado)*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.
30. Pauta Solano, J. F., & Sanchez Ramirez, M. L. (2014). *Diseño y construcción de la carrocería de un vehículo de competencia tipo formula SAE (Tesis de pregrado)*. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.
31. Peña Tapia, C. G. (2015). *Caracterización mecánica de un material compuesto desarrollado a partir de materias primas recicladas contemplando su posible aplicación en la agricultura urbana (Tesis de pregrado)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
32. Pérez Escobar, J. I. (2016). *Obtención de papel kraft a partir de la fibra de dos variedades de Agave con dos sustancias químicas para la cocción y dos métodos de blanqueo en el laboratorio de Agave de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial (Tesis de pregrado)*. Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi.
33. Proaño Fiallos, E. A. (2015). *Desarrollo de un material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibra de cabuya y con raquis de palma africana (Tesis de Pregrado)*. Quito: Quito, 2015.
34. Ramirez Rosas, D. (2015). *Estudio preliminar de un material compuesto de matriz termoplástica con adición particulada en caracterización (Tesis de pregrado)*. La Habana: Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
35. Ramos Rivero, V. L. (2018). Evolución del uso de los materiales plásticos en la industria automotriz. *INNOVA*, 11.
36. Scania. (2017). GUARDABARROS. *Scania Truck Bodubuilder*, 19.

37. Servicios, M. M. (2006). Manual de entrenamiento MAZDA BT-50. *Mazda*.
38. Simbaña Ushiña, D. A. (2018). *REDISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTECTOR DE CÁRTER PARA UN VEHÍCULO CHEVROLET SAIL MEDIANTE LA APLICACIÓN DE MATERIALES HÍBRIDOS REFORZADOS CON FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO, CON BASE DE RESINA POLIÉSTER (Tesis de pregrado)*. Quito: Universidad Internacional SEK.
39. Stupenengo, F. (2011). Materiales y materias primas. *Materiales compuestos*, 7-8.
40. Taipe Yugcha, L. J. (2018). *Análisis del proceso de construcción del molde para la cubierta de guardachoque mediante la técnica de herramienta rápida moldeo por resina (Tesis de pregrado)*. Quito: Universidad Internacional SEK.
41. Tinajero Moreano, A. A. (2018). *Diseño experimental de mobiliario para el sector de ecoturismo empleando los desechos del pseudotallo del banano de las plantaciones de Mindo (Tesis de pregrado)*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
42. Tixe Subina, J. M., & Vistín Bastidas, J. D. (2015). *Aplicación de materiales compuestos para la formación de guardabarros y tapas laterales de una moto de 125cc, 4 tiempos (Tesis de pregrado)*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
43. Vargas Flores, P. D. (2018). *Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales (Tesis de Pregrado)*. AMBATO: Universidad Técnica de Ambato.
44. Vásquez Vallejo, M. C. (2011). *Reciclaje de residuos agrícolas de café y cabuya en la elaboración de tableros compuestos en base de resina ureaformaldehído UF (Tesis de pregrado)*. Ibarra.
45. Velásquez, S. M., Pelaez, G. J., & Giraldo, D. H. (2016). *Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica: una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos*. Colombia: Centro de Diseño y Manufactura del Cuero del SENA.

46. Verde Ramirez, E. L. (2016). *Desarrollo y caracterización de laminados vinílicos reforzados con nanopartículas de cobre y fibra de cuero (Tesis de pregrado)*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

## **ANEXOS**

# ANEXO I

## NORMA ASTM D3039 PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS



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

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

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

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

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

#### 1. Scope

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

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

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

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

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

<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.

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

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines<sup>5</sup>

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing<sup>5</sup>

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers<sup>5</sup>

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus<sup>5</sup>

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process<sup>6</sup>

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature<sup>5</sup>

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods<sup>6</sup>

E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics<sup>6</sup>

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method<sup>6</sup>

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading<sup>5</sup>

E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages<sup>5</sup>

#### 3. Terminology

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

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

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

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

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

**Figura. A. I.** Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción de materiales compuestos (NORMA ASTM)


**D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</sup>**

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,  $e^{transition}$   $[nd]$ ,  $n$* —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  $F^u$ —ultimate tensile strength in the test direction.

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

3.3.8  $h$ —coupon thickness.

3.3.9  $L_g$ —extensometer gage length.

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

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

3.3.12  $P$ —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16  $w$ —coupon width.

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

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

3.3.19  $\delta$ —extensional displacement.

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

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

3.3.22  $\sigma$ —normal stress.

3.3.23  $\nu$ —Poisson's ratio.

#### 4. Summary of Test Method

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

#### 5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

#### 6. Interferences

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

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

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

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

#### 7. Apparatus

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


**D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</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 ( $B_y$ ) and width plane ( $B_z$ ) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

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

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

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

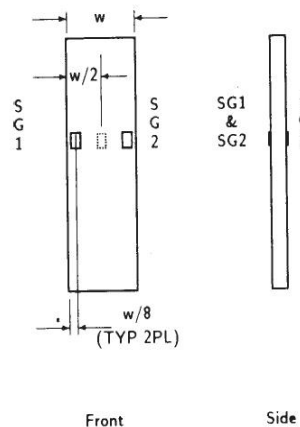


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon


**D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</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.

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

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

where:

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

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

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

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

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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





## 8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

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

### 8.2.1 *General Requirements:*

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

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

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


**D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</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>a</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:

$$L_{\min} = F^{th}/2F^{mi} \quad (4)$$

where:

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

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

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

### 8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

## 9. Calibration

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

## 10. Conditioning

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

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

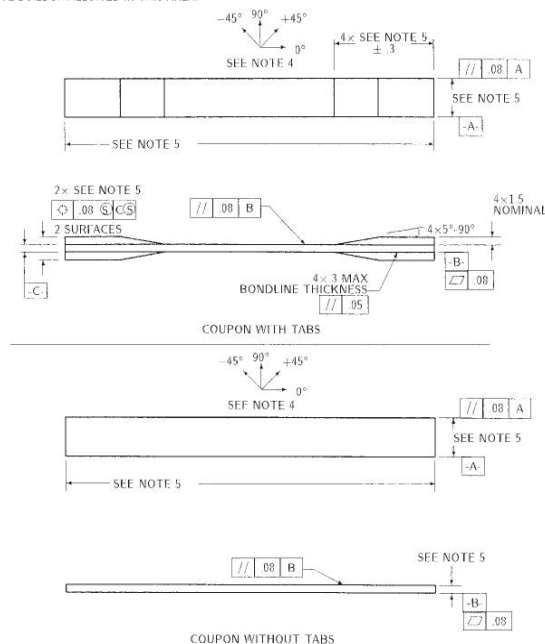
### 11.2 General Instructions:

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

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


**D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</sup>**
**DRAWING NOTES:**

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



**FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)**

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

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

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

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

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

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

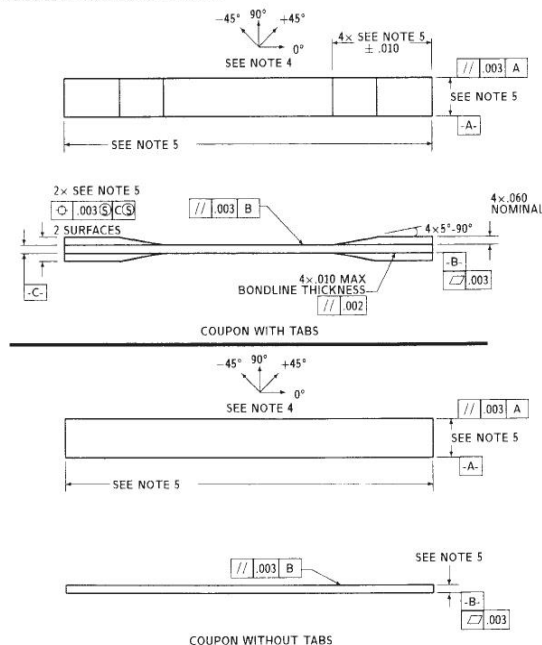
NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to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

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


**D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</sup>**
**DRAWING NOTES:**

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

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



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

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

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

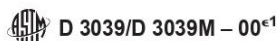
11.5 *Specimen Insertion*—Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the gripped specimen with the test direction. Tighten the grips, recording the pressure used on pressure controllable (hydraulic or pneumatic) grips.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

## 12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

### 12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

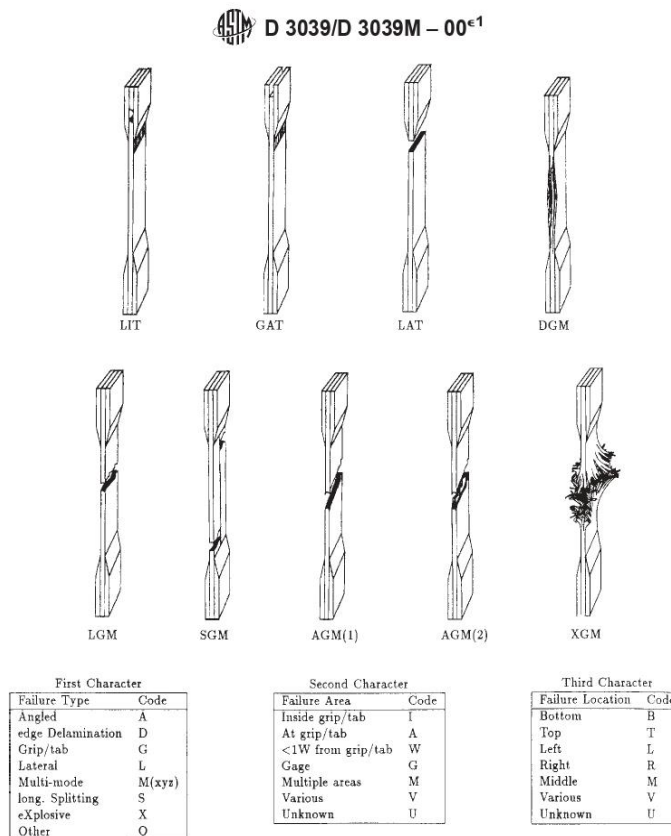


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

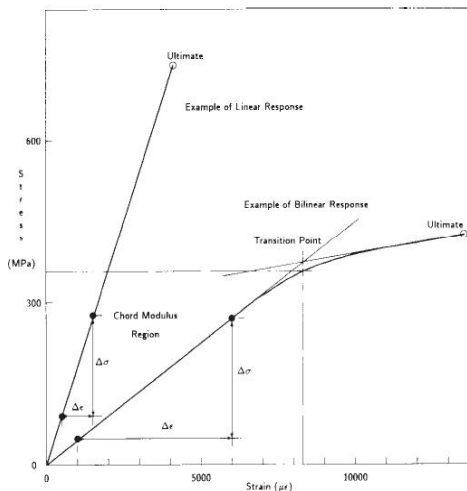


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

**Figura A. I. Norma ASTM D3039 para ensayos de tracción de materiales compuestos (Continuación...)**  
(NORMA ASTM)


**D 3039/D 3039M – 00<sup>e1</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>e1</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 (0)n   |
| B | IM-6/3501-6 uni-tape (90)n  |
| C | IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n  |
| F | Glass/epoxy fabric (7781<br>glass/Ciba R 7376 Epoxy)-<br>warp aligned |
| G | Carbon/epoxy fabric (66108<br>carbon/Ciba R 6376                      |

**TABLE 4 Precision Statistics**

| Material          | $\bar{x}$ | $s \bar{x}$ | $S_p$ | $S_R$ | $S_p/\bar{x}$ , % | $S_R/\bar{x}$ , % |
|-------------------|-----------|-------------|-------|-------|-------------------|-------------------|
| Strength, ksi     |           |             |       |       |                   |                   |
| A                 | 342.69    | 8.49        | 10.68 | 12.78 | 3.12              | 3.73              |
| B                 | 8.52      | 0.52        | 0.85  | 0.92  | 9.94              | 10.84             |
| C                 | 156.37    | 3.84        | 10.85 | 10.85 | 6.94              | 6.94              |
| F                 | 66.18     | 3.20        | 1.52  | 3.48  | 2.30              | 5.26              |
| G                 | 121.52    | 1.59        | 3.92  | 3.92  | 3.23              | 3.23              |
| Modulus, Msi      |           |             |       |       |                   |                   |
| A                 | 23.57     | 0.65        | 0.63  | 0.86  | 2.69              | 3.66              |
| B                 | 1.30      | 0.05        | 0.04  | 0.06  | 3.12              | 4.57              |
| C                 | 12.38     | 0.29        | 0.37  | 0.44  | 2.98              | 3.54              |
| F                 | 3.95      | 0.08        | 0.04  | 0.09  | 1.01              | 2.28              |
| G                 | 9.47      | 0.16        | 0.12  | 0.20  | 1.29              | 2.06              |
| Failure Strain, % |           |             |       |       |                   |                   |
| A                 | 1.36      | 0.06        | 0.07  | 0.08  | 4.95              | 6.15              |
| B                 | 0.66      | 0.04        | 0.08  | 0.09  | 12.47             | 13.02             |
| C                 | 1.22      | 0.03        | 0.06  | 0.06  | 5.25              | 5.27              |
| F                 | 2.04      | 0.15        | 0.07  | 0.16  | 3.19              | 8.03              |
| G                 | 1.27      | 0.03        | 0.05  | 0.05  | 3.83              | 4.13              |

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_p/\bar{X}$  and  $S_R/\bar{X}$  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>e1</sup>**
**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

| Parameter      | Average of<br>$S/X$ , % | Average of<br>$S_R/X$ , % |
|----------------|-------------------------|---------------------------|
| Strength       | 5.11                    | 6.00                      |
| Modulus        | 2.22                    | 3.22                      |
| Failure strain | 5.94                    | 7.32                      |

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

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

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

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

## ANEXO II

# NORMA ASTM D7264 PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS



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 reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

#### 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 Laminata 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>.

Figura. A. II. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión de materiales compuestos.  
(NORMA ASTM)


**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

$x_i$  = measured or derived property

$\bar{x}$  = sample mean

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

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

$\sigma$  = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

**4. Summary of Test Method**

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 *Procedure A*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 *Procedure B*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

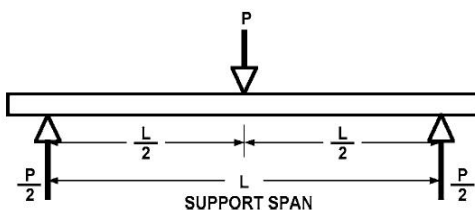


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

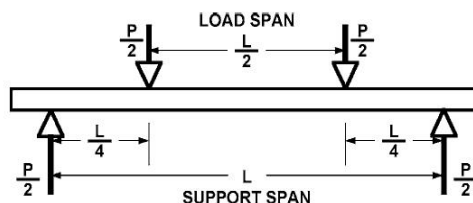


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.

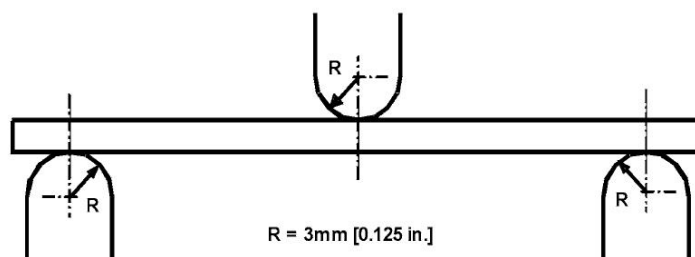
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

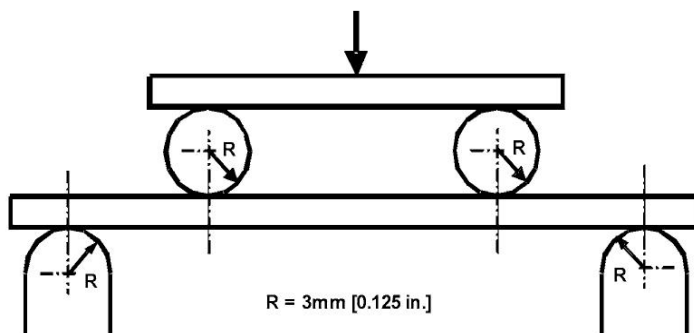
### 7. Apparatus

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

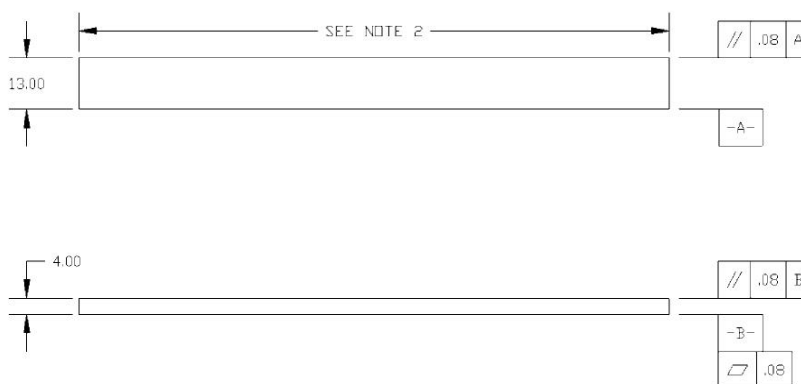
within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 5$  % relative humidity.

## 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.

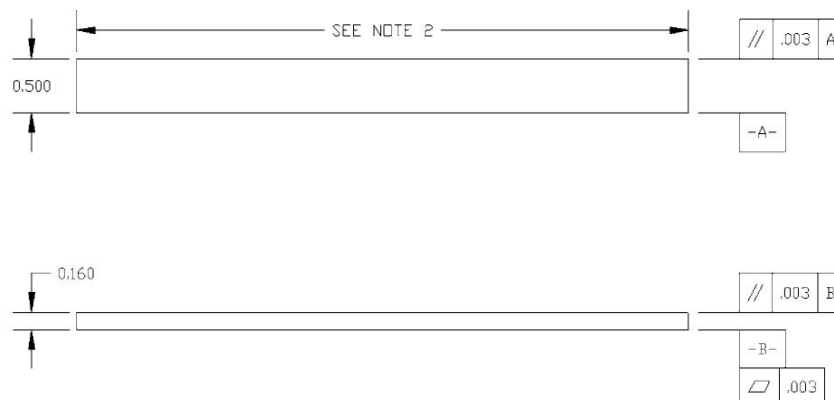
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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

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

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

where:

- $\sigma$  = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- $P$  = applied force, N [lbf],
- $L$  = support span, mm [in.],
- $b$  = width of beam, mm [in.], and
- $h$  = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.<sup>4</sup> Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 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):

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

where:

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

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

$\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],  
 $\epsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],  
 $L$  = support span, mm [in.], and  
 $h$  = thickness of beam, mm [in.].

### 13.7 *Flexural Modulus of Elasticity*:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

$E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],  
 $\Delta\sigma$  = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and  
 $\Delta\epsilon$  = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.<sup>5</sup> For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A*:

$$E_f^{secant} = \frac{L^2 m}{4bh^3} \quad (6)$$

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*:

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^2 m}{bh^3} \quad (7)$$

where  $E_f^{secant}$ ,  $m$ ,  $L$ ,  $b$ , and  $h$  are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

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

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

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

where:

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

<sup>5</sup> For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.




**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.

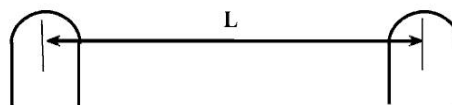


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

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).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

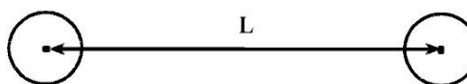


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

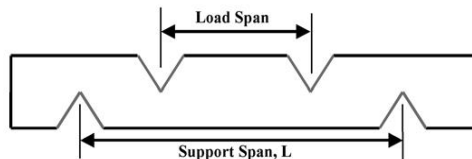


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

**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. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

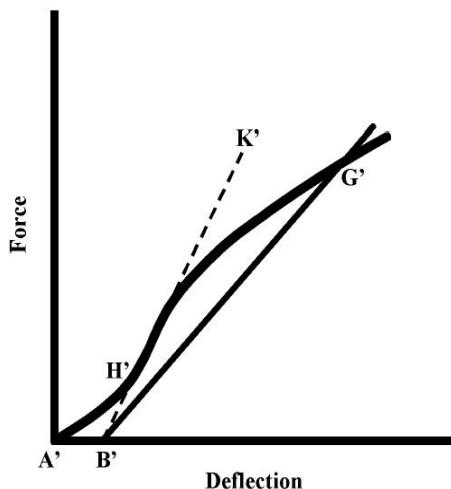


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

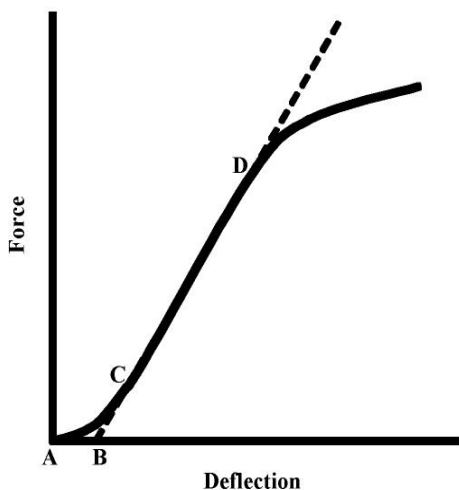


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 **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)).

**Figura A. II. Norma ASTM D7264 para ensayos de flexión de materiales compuestos  
(Continuación...)  
(NORMA ASTM)**

## ANEXO III

# NORMA ASTM D5628 PARA ENSAYOS DE 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.

**Figura. A. III.** Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto de materiales compuestos (NORMA ASTM)


**D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</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>e1</sup>

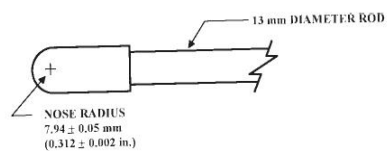


FIG. 1 (a)

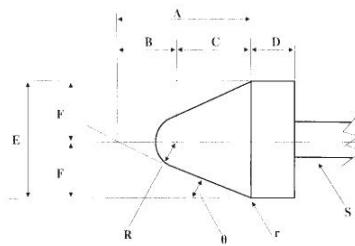


FIG. 1 (b)

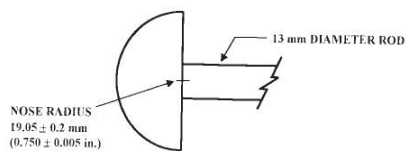


FIG. 1 (c)

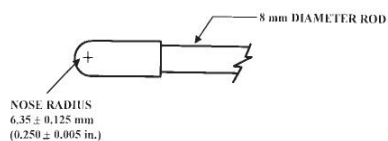


FIG. 1 (d)

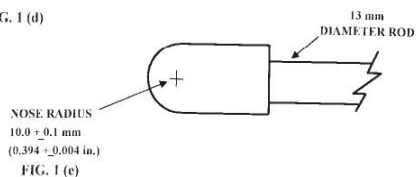


FIG. 1 (e)

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

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ± 2 %.

| Position                  | Dimension, mm | Dimension, in. |
|---------------------------|---------------|----------------|
| A                         | 27.2          | 1.07           |
| B                         | 15            | 0.59           |
| C                         | 12.2          | 0.48           |
| D                         | 6.4           | 0.25           |
| E                         | 25.4          | 1              |
| F                         | 12.7          | 0.5            |
| R                         | 6.35 ± 0.05   | 0.250 ± 0.002  |
| (nose radius)             |               |                |
| r (radius)                | 0.8           | 0.03           |
| S (diameter) <sup>A</sup> | 6.4           | 0.25           |
| θ                         | 25 ± 1°       | 25 ± 1°        |

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

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

**Figura A. III. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto de materiales compuestos  
(Continuación...)  
(NORMA ASTM)**

ASTM D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</sup>

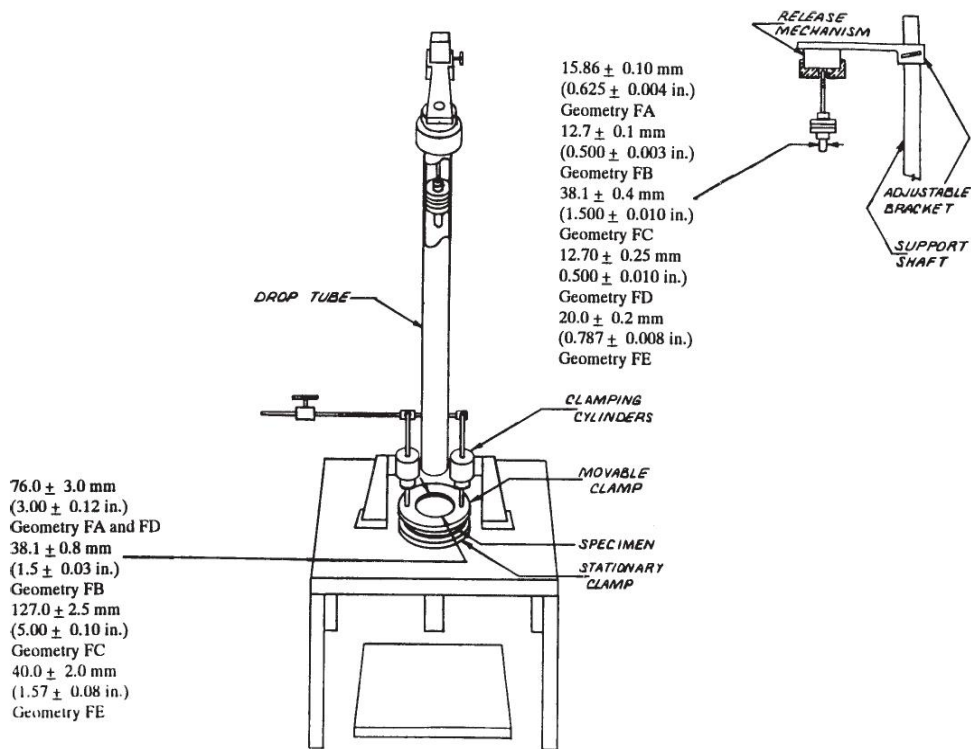


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.).

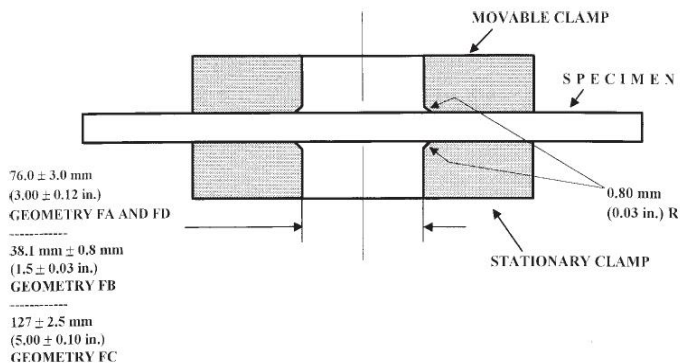



FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

Figura A. III. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto de materiales compuestos  
(Continuación...)  
(NORMA ASTM)




**D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</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 *Tip 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 *Tip*:

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

| Geometry | Dimensions, mm (in.)                      |  |
|----------|---|--|
|          | Tup Diameter                              | Inside Diameter Support Ring           |
| FA       | $15.86 \pm 0.10$<br>( $0.625 \pm 0.004$ ) | $76.0 \pm 3.0$<br>( $3.00 \pm 0.12$ )  |
| FB       | $12.7 \pm 0.1$<br>( $0.500 \pm 0.003$ )   | $38.1 \pm 0.8$<br>( $1.5 \pm 0.03$ )   |
| FC       | $38.1 \pm 0.4$<br>( $1.5 \pm 0.010$ )     | $127.0 \pm 2.5$<br>( $5.00 \pm 0.10$ ) |
| FD       | $12.70 \pm 0.25$<br>( $0.500 \pm 0.010$ ) | $76.0 \pm 3.0$<br>( $3.00 \pm 0.12$ )  |
| FE       | $20.0 \pm 0.2$<br>( $0.787 \pm 0.008$ )   | $40.0 \pm 2.0$<br>( $1.57 \pm 0.08$ )  |

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

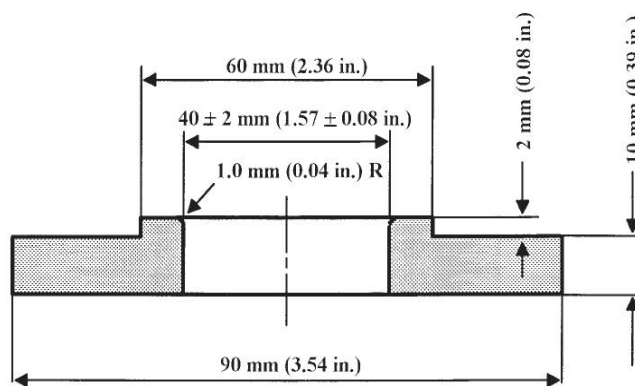



FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE


**D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</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<br>(3.5 by 3.5)   |
| FB       | 51 (2.0)                    | 51 by 51<br>(2.0 by 2.0)   |
| FC       | 140 (5.5)                   | 140 by 140<br>(5.5 by 5.5) |
| FD       | 89 (3.5)                    | 89 by 89<br>(3.5 by 3.5)   |
| FE       | 58 (2.3)                    | 58 by 58<br>(2.3 by 2.3)   |


**D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</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 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D 618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to  $s$ , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times  $s$  is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as  $X$ , to indicate a failure and a different symbol, such as  $O$ , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be examined. The specimen may be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior may vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

### 13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- $w$  = mean-failure mass, kg,
- $h$  = mean-failure height, mm,
- $d_w$  = increment of tup weight, kg,
- $d_h$  = increment of tup height, mm,
- $N$  = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- $w_o$  = smallest mass at which an event occurred, kg
- $h_o$  = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=0}^k im_i$ ,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$  (counting index, starts at  $h_o$  or  $w_o$ ),
- $n_i$  = number of events that occurred at  $h_i$  or  $w_i$ ,
- $w_i = w_o + id_w$ , and
- $h_i = h_o + id_h$ .

In calculating  $w$  or  $h$ , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: MFE = hwf

where:


- $MFE$  = mean-failure energy, J,
  - $h$  = mean-failure height or constant height as applicable, mm
  - $w$  = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and
  - $f$  = factor for conversion to joules.
- Use  $f = 9.80665 \times 10^{-3}$  if  $h = \text{mm}$  and  $w = \text{kg}$ .

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

 D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</sup>

$s_w$  = estimated standard deviation, mass, kg  
 $s_h$  = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k r^2 n_i \tag{5}$$

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:

$$S_{\bar{w}} = G s_w / \sqrt{N} \tag{6}$$

or

$$S_{\bar{h}} = G s_h / \sqrt{N} \tag{7}$$

where:

$s_{\bar{h}}$  = estimated standard deviation of the mean height, mm,  
 $s_{\bar{w}}$  = 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 X1.

NOTE 7—For values of  $G$  at other levels of  $s/d$ , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \tag{8}$$

or

$$S_{MFE} = S_{\bar{w}} h f, \text{ as applicable} \tag{9}$$

where:

$S_{MFE}$  = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

**14. Report**

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history.

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque

is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

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  $V_r$  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 RRD 20-1030.

**TABLE 3 Precision, Method FB**

| Material   | Mean, J | Values Expressed as Percent of the Mean |      |
|--|---------|---|------|
|  |         | $V_r$                                   | $r$  |
| Polymethyl Methacrylate (PMMA)                     | 0.35    | 12.6                                    | 35.7 |
| Styrene-Butadiene (SB) <sup>a</sup>                | 9.26    | 18.7                                    | 52.9 |
| Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) <sup>a</sup> | 11.8    | 14.9                                    | 42.2 |

<sup>a</sup> Data generated in three laboratories.  
 $V_r$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
 $r = 2.83 V_r$ .

**Figura A. III. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto de materiales compuestos (Continuación...)**  
 (NORMA ASTM)

 D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</sup>

**TABLE 4 Precision, Method FC**

| Material                       | Mean, <i>J</i> | Values Expressed as Percent of the Mean |          |
|--------------------------------|----------------|---|----------|
|                                |                | <i>V<sub>r</sub></i>                    | <i>r</i> |
| Polymethyl Methacrylate (PMMA) | 1.33           | 4.13                                    | 11.7     |
| Styrene-Butadiene (SB)         | 48.3           | 18.3                                    | 51.8     |

*V<sub>r</sub>* = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
*r* = 2.83 *V<sub>r</sub>*.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the *r* value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

**16. Keywords**

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

**APPENDIX**

(Nonmandatory Information)

**X1. SAMPLE CALCULATIONS**

| Total Dart Mass, kg | Outcome of Test (X = failure; O = non-failure) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |        |    |                          |                          |    |              |              |              |    |    | <i>n<sub>x</sub></i> | <i>n<sub>o</sub></i> | <i>i</i> | <i>n<sub>i</sub></i> | <i>in<sub>1</sub></i> | <i>i<sup>2</sup>n<sub>1</sub></i> |
|---------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--------|----|--------------------------|--------------------------|----|--------------|--------------|--------------|----|----|----------------------|----------------------|----------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|                     | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11     | 12 | 13                       | 14                       | 15 | 16           | 17           | 18           | 19 | 20 |                      |                      |          |                      |                       |                                   |
| 9.00                |  |   |   |   |   | X |   |   |   |    |        |    |                          |                          |    |              |              |              |    |    | 1                    | 0                    | 2        | 1                    | 2                     | 4                                 |
| 8.00                |  |   |   | O |   | X |   | X |   |    |        | X  |                          | X                        |    |              |              |              |    |    | 4                    | 1                    | 1        | 4                    | 4                     | 4                                 |
| 7.00                |  | X |   | O |   |   |   | O |   | X  |        | O  |                          | O                        |    | X            |              | X            |    | O  | 4                    | 5                    | 0        | 4                    | 0                     | 0                                 |
| 6.00                | O  |   | O |   |   |   |   |   |   |    | O      |    |                          |                          |    |              |              | O            |    | O  | 0                    | 5                    |          |                      |                       |                                   |
|                     |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    | Totals |    | 9                        | 11                       |    | 9            | 6            | 8            |    |    |                      |                      |          |                      |                       |                                   |
|                     |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |        |    | ( <i>N<sub>x</sub></i> ) | ( <i>N<sub>o</sub></i> ) |    | ( <i>N</i> ) | ( <i>A</i> ) | ( <i>B</i> ) |    |    |                      |                      |          |                      |                       |                                   |

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$   
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$   
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$   
 $= 7.17 \text{ kg}$   
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$   
 $= 1.620 (1.00) [((9 \cdot 6 - 6^2)/9^2) + 0.029]$   
 $= 0.77 \text{ kg}$   
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$   
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

**Figura A. III. Norma ASTM D5628 para ensayos de impacto de materiales compuestos (Continuación...)**  
 (NORMA ASTM)


**D 5628 – 96 (2001)<sup>e1</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).

## ANEXO IV

### RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

#### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

|   |                                 |
|---|---------------------------------|
| <b>Informe N°:</b> 040188783120200116-ETC                 |                                 |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>                                  |                                 |
| <b>Empresa / Cliente:</b> Bryan Vinicio Valencia Cuaical. |                                 |
| <b>Dirección:</b> Ibarra.                                 |                                 |
| <b>Núm. de cédula / RUC:</b> 0401887831                   | <b>Teléfono:</b> +593993197335. |
| <b>E-mail:</b> bvvalenciac@utn.edu.ec                     |                                 |

|   |
|---|
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |
| <b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales   |
| <b>Designación del material:</b> Material compuesto de capa de cabuya tejida + resina poliéster   |
| <b>Método de ensayo:</b> ASTM D3039/D3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polimérica. |

#### Número de Probetas cuantificadas

| N°           | Identificación del grupo  | Matriz                | Material de refuerzo | Disposición  | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------|
| 1            | 040188783120200116-ETC 01 | Resina Poliéster      | 1 capa de cabuya     | Tejida       | 6                  |
| 2            | 040188783120200116-ETC 02 | Resina Poliéster      | 2 capas de cabuya    | Tejida       | 9                  |
| 3            | 040188783120200116-ETC 03 | 60 % Resina Poliéster | 40% Fibra de cabuya  | Longitudinal | 6                  |
| <b>Total</b> |                           |                       |                      |              | <b>21</b>          |

**Nota:** La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

**Figura. A. IV.** Resultados del ensayo a tracción del material compuesto



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

| ENSAYO SOLICITADO |                             |  |                  |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No.               | No. DE PROBETA              | DESCRIPCIÓN                            | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1                 | 040188783120200116-ETC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 2                 | 040188783120200116-ETC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 3                 | 040188783120200116-ETC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 4                 | 040188783120200116-ETC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 5                 | 040188783120200116-ETC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 6                 | 040188783120200116-ETC 01-6 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 7                 | 040188783120200116-ETC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 8                 | 040188783120200116-ETC 02-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 9                 | 040188783120200116-ETC 02-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 10                | 040188783120200116-ETC 02-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 11                | 040188783120200116-ETC 02-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 12                | 040188783120200116-ETC 02-6 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 13                | 040188783120200116-ETC 02-7 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 14                | 040188783120200116-ETC 02-8 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 15                | 040188783120200116-ETC 02-9 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 16                | 040188783120200116-ETC 03-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 17                | 040188783120200116-ETC 03-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 18                | 040188783120200116-ETC 03-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 19                | 040188783120200116-ETC 03-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 20                | 040188783120200116-ETC 03-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 21                | 040188783120200116-ETC 03-6 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |

**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>                                    | <b>Aprobado por:</b>                                     |
| Ing. Fernando Tibán R.                                   | Ing. Jorge Rodas MENG.                                   |
| Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones<br>CFPMC | Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones<br>CFPMC |
|  |  |
| 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

**Figura. A. IV. Resultados del ensayo a tracción del material compuesto (Continuación...)**





Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°: 040188783120200116-ETC**

**DATOS GENERALES**

**DATOS INFORMATIVOS:**

**N° de proforma:** RM\_2019\_086.

**Empresa / Cliente:** Bryan Vinicio Valencia Cuaical.

**RUC/C.I.:** 0401887831.

**Ciudad:** Ibarra.

**Dirección:** Ibarra.

**Teléfono:** +593993197335.

**Correo:** bvvalenciac@utn.edu.ec

**DATOS DEL ENSAYO:**

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.

**Dirección:** Ambato/Catiglata, Toronto y Río de Janeiro.

**Método de ensayo:** ASTM D3039-2017: Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

**Tipo de ensayo:** Cuantitativo

**Tipo de probeta:** Plana

**Equipo utilizado:** Máquina de ensayos universal Metrotest 1500KN

**Modelo:** STH-1500/CS.

**Serie:** 8802M001

**Velocidad de ensayo:** 02 mm/min.

**Precarga:** 0,01 N

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 2020/01/27. **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2020/02/04.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en *probetas de material compuesto de capa de cabuya tejida con resina poliéster*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial de Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas:**

| N°           | Identificación del grupo  | Matriz                | Material de refuerzo | Disposición  | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------|
| 1            | 040188783120200116-ETC 01 | Resina Poliéster      | 1 capa de cabuya     | Tejida       | 6                  |
| 2            | 040188783120200116-ETC 02 | Resina Poliéster      | 2 capas de cabuya    | Tejida       | 9                  |
| 3            | 040188783120200116-ETC 03 | 60 % Resina Poliéster | 40% Fibra de cabuya  | Longitudinal | 6                  |
| <b>Total</b> |                           |                       |                      |              | <b>21</b>          |

**Nota:** La fabricación y configuración de las probetas es declarada por el cliente.

**Observaciones:** Ninguna.

|   |  |
|---|--|
|   |  |
| <b>Elaborado por:</b>   | <b>Aprobado por:</b>   |
| Ing. Fernando Tibán R.<br>Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | Ing. Jorge Rodas B. MEng.<br>Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |

**Lugar y fecha de emisión de informe:** Ambato, 04 de febrero de 2020.

**N° de Factura:** 001-002-000008796.



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 3

**Figura. A. IV. Resultados del ensayo a tracción del material compuesto (Continuación...)**



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carroceros



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

#### RESULTADOS:

| N° | 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  | 040188783120200116-ETC 01-1 | 22,8             | 61,3                 | 24,98                         | 1,99    | 1450,00           | 29,17                             | 1686,43                                 | 1,730                    | LGM                    |
| 2  | 040188783120200116-ETC 01-2 | 22,8             | 61,3                 | 24,75                         | 2,33    | 1800,00           | 31,21                             | 2788,76                                 | 1,119                    | LGT                    |
| 3  | 040188783120200116-ETC 01-3 | 22,8             | 61,3                 | 25,11                         | 2,10    | 1000,00           | 18,96                             | 1208,76                                 | 1,569                    | LGM                    |
| 4  | 040188783120200116-ETC 01-4 | 22,8             | 61,3                 | 24,64                         | 2,32    | 1400,00           | 24,49                             | 1453,29                                 | 1,685                    | LGT                    |
| 5  | 040188783120200116-ETC 01-5 | 22,8             | 61,3                 | 24,25                         | 2,66    | 850,00            | 13,18                             | 1356,93                                 | 0,971                    | LGB                    |
| 6  | 040188783120200116-ETC 01-6 | 22,8             | 61,3                 | 24,99                         | 1,89    | 850,00            | 18,00                             | 1590,02                                 | 1,132                    | LGB                    |
|    |                             |                  |                      | Promedio $\bar{X}$            |         | 1225,000          | 22,502                            | 1680,698                                | 1,368                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Desviación estándar $S_{n-1}$ |         | 385,681           | 6,987                             | 568,386                                 | 0,331                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Coeficiente de variación CV   |         | 31,484            | 31,049                            | 33,818                                  | 24,182                   |                        |

| N° | 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  | 040188783120200116-ETC 02-1 | 23,2             | 60,6                 | 24,89                         | 3,14    | 650,00            | 8,32                              | 1680,80                                 | 0,495                    | AGM                    |
| 8  | 040188783120200116-ETC 02-2 | 23,2             | 60,6                 | 25,09                         | 2,20    | 400,00            | 7,25                              | 599,45                                  | 1,209                    | AGT                    |
| 9  | 040188783120200116-ETC 02-3 | 23,2             | 60,6                 | 25,18                         | 3,26    | 750,00            | 9,14                              | 724,71                                  | 1,261                    | LGT                    |
| 10 | 040188783120200116-ETC 02-4 | 23,2             | 60,6                 | 24,47                         | 3,29    | 250,00            | 3,11                              | 493,20                                  | 0,630                    | LGT                    |
| 11 | 040188783120200116-ETC 02-5 | 23,2             | 60,6                 | 24,40                         | 2,57    | 400,00            | 6,38                              | 538,88                                  | 1,184                    | AGM                    |
| 12 | 040188783120200116-ETC 02-6 | 23,2             | 60,6                 | 24,55                         | 2,61    | 500,00            | 7,80                              | 501,40                                  | 1,556                    | AGT                    |
|    |                             |                  |                      | Promedio $\bar{X}$            |         | 491,667           | 6,998                             | 756,407                                 | 1,056                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Desviación estándar $S_{n-1}$ |         | 182,802           | 2,124                             | 460,818                                 | 0,407                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Coeficiente de variación CV   |         | 37,180            | 30,354                            | 60,922                                  | 38,562                   |                        |

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 3

Figura. A. IV. Resultados del ensayo a tracción del material compuesto (Continuación...)

| N° | 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 | 040188783120200116-ETC 02-7 | 23,2             | 60,6                 | 24,55                         | 2,61    | 2800,00           | 43,70                             | 863,48                                  | 5,061                    | AGB                    |
| 14 | 040188783120200116-ETC 02-8 | 23,2             | 60,6                 | 25,88                         | 2,41    | 2550,00           | 40,88                             | 858,12                                  | 4,764                    | AGM                    |
| 15 | 040188783120200116-ETC 02-9 | 23,2             | 60,6                 | 24,74                         | 2,31    | 3200,00           | 55,99                             | 1630,88                                 | 3,433                    | AGB                    |
|    |                             |                  |                      | Promedio $\bar{X}$            |         | 2850,000          | 46,859                            | 1117,493                                | 4,420                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Desviación estándar $S_{n-1}$ |         | 327,872           | 8,035                             | 444,616                                 | 0,867                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Coeficiente de variación CV   |         | 11,504            | 17,147                            | 39,787                                  | 19,613                   |                        |

| N° | Identificación de probeta   | Temperatura (°C) | Humedad Relativa (%) | Dimensiones mm                |         | Fuerza máxima (N) | Esfuerzo máximo de tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa) | % Elongación (Calculado) | Tipo de falla evaluado |
|----|-----------------------------|------------------|----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|-----------------------------------|---|--------------------------|------------------------|
|    |                             |                  |                      | Ancho                         | Espesor |                   |                                   |   |                          |                        |
| 16 | 040188783120200116-ETC 03-1 | 22,8             | 57,9                 | 24,76                         | 2,98    | 2900,00           | 39,30                             | 2085,68                                 | 1,884                    | AGT                    |
| 17 | 040188783120200116-ETC 03-2 | 22,8             | 57,9                 | 24,76                         | 3,23    | 3250,00           | 40,64                             | 1969,17                                 | 2,064                    | AGM                    |
| 18 | 040188783120200116-ETC 03-3 | 22,8             | 57,9                 | 24,93                         | 2,73    | 4450,00           | 65,38                             | 2244,89                                 | 2,913                    | LAT                    |
| 19 | 040188783120200116-ETC 03-4 | 22,8             | 57,9                 | 25,47                         | 2,83    | 2400,00           | 33,30                             | 2038,55                                 | 1,633                    | AGM                    |
| 20 | 040188783120200116-ETC 03-5 | 22,8             | 57,9                 | 24,84                         | 2,89    | 5450,00           | 75,92                             | 2202,66                                 | 3,447                    | LGM                    |
| 21 | 040188783120200116-ETC 03-6 | 22,8             | 57,9                 | 24,70                         | 2,79    | 3450,00           | 50,06                             | 2569,78                                 | 1,948                    | LGM                    |
|    |                             |                  |                      | Promedio $\bar{X}$            |         | 3650,000          | 50,767                            | 2185,122                                | 2,315                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Desviación estándar $S_{n-1}$ |         | 1114,002          | 16,649                            | 214,406                                 | 0,705                    |                        |
|    |                             |                  |                      | Coeficiente de variación CV   |         | 30,521            | 32,795                            | 9,812                                   | 30,459                   |                        |

#### Nomenclatura:

Tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2017.

| Primer caracter | Tipo de falla | Segundo caracter | Área de la falla  | Tercer caracter | Localización de falla |
|-----------------|---------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| L               | Lateral       | A                | En el agarre      | T               | Parte superior        |
| X               | Explosiva     | I                | Dentro del agarre | B               | Parte Inferior        |
| A               | Angular       | G                | Zona calibrada    | M               | Medio                 |

Figura. A. IV. Resultados del ensayo a tracción del material compuesto (Continuación...)



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero




Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

|   |
|---|
| <b>Informe N°:</b> 040188783120200116-ETC                 |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>                                  |
| <b>Empresa / Cliente:</b> Bryan Vinicio Valencia Cuaical. |
| <b>Dirección:</b> Ibarra.                                 |
| <b>Núm. de cédula / RUC:</b> 0401887831                   |
| <b>E-mail:</b> byvalencia@un.edu.ec                       |
| <b>Teléfono:</b> +593993197335                            |

**DATOS INFORMATIVOS**

|   |
|---|
| <b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.  |
| <b>Designación del material:</b><br>Material compuesto de capa de cabuya tejida con resina poliéster.   |
| <b>Método de ensayo:</b> ASTM D3039/D3039M Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz de polímero. |

| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES          | EVIDENCIAS  |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-------------|------------------------|---|
| 1  | 040188783120200116-ETC 01-1  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 2  | 040188783120200116-ETC 01-2  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |   |
| 3  | 040188783120200116-ETC 01-3  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |   |
| 4  | 040188783120200116-ETC 01-4  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |   |
| 5  | 040188783120200116-ETC 01-5  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |   |
| 6  | 040188783120200116-ETC 01-6  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | 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

**Figura. A. IV. Resultados del ensayo a tracción del material compuesto (Continuación...)**

| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES          | EVIDENCIAS   |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-------------|------------------------|--|
| 7  | 040188783120200116-ETC 02-1  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |   |
| 8  | 040188783120200116-ETC 02-2  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 9  | 040188783120200116-ETC 02-3  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 10 | 040188783120200116-ETC 02-4  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 11 | 040188783120200116-ETC 02-5  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 12 | 040188783120200116-ETC 02-6  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |   |
| 13 | 040188783120200116-ETC 02-7  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 14 | 040188783120200116-ETC 02-8  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 15 | 040188783120200116-ETC 02-9  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 16 | 040188783120200116-ETC 03-1  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 17 | 040188783120200116-ETC 03-2  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 18 | 040188783120200116-ETC 03-3  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 19 | 040188783120200116-ETC 03-4  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 20 | 040188783120200116-ETC 03-5  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |
| 21 | 040188783120200116-ETC 03-6  | 2019/12/02    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |  |

Figura. A. IV. Resultados del ensayo a tracción del material compuesto (Continuación...)



Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

|  |   |
|--|---|
| <br><b>Elaborado por:</b><br>Ing. Fernando Tibán R.<br>Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | <br><b>Aprobado por:</b><br>Ing. Jorge Rodas MEng.<br>Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |
| <br>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 3 de 3

**Figura. A. IV. Resultados del ensayo a tracción del material compuesto (Continuación...)**

## ANEXO V

### RESULTADOS DEL ENSAYO 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> 040188783120200116-EFC   |                                |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>  |                                |
| <b>Empresa / Cliente:</b> Bryan Vinicio Valencia Cuaical.   |                                |
| <b>Dirección:</b> Ibarra.   |                                |
| <b>Núm. de cédula / RUC:</b> 0401887831   | <b>Teléfono:</b> +593993197335 |
| <b>E-mail:</b> bvvalenciac@utn.edu.ec   |                                |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |                                |
| <b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales   |                                |
| <b>Designación del material:</b><br>Material compuesto de Capa de cabuya tejida con resina poliéster.   |                                |
| <b>Método de ensayo:</b> ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero. |                                |

#### Número de Probetas cuantificadas

| N°           | Identificación del grupo  | Matriz                | Material de refuerzo | Disposición  | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------|
| 1            | 040188783120200116-EFC 01 | Resina Poliéster      | 1 capa de cabuya     | Tejida       | 6                  |
| 2            | 040188783120200116-EFC 02 | Resina Poliéster      | 2 capas de cabuya    | Tejida       | 6                  |
| 3            | 040188783120200116-EFC 03 | 60 % Resina Poliéster | 40% Fibra de cabuya  | Longitudinal | 6                  |
| <b>Total</b> |                           |                       |                      |              | <b>18</b>          |

**Nota:** La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

**Figura. A. V.** Resultados del ensayo a flexión del material compuesto



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

| ENSAYO SOLICITADO |                             |  |                  |
|-------------------|-----------------------------|--|------------------|
| No.               | No. DE PROBETA              | DESCRIPCIÓN                            | FECHAS RECEPCIÓN |
| 1                 | 040188783120200116-EFC 01-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 2                 | 040188783120200116-EFC 01-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 3                 | 040188783120200116-EFC 01-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 4                 | 040188783120200116-EFC 01-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 5                 | 040188783120200116-EFC 01-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 6                 | 040188783120200116-EFC 01-6 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 7                 | 040188783120200116-EFC 02-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 8                 | 040188783120200116-EFC 02-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 9                 | 040188783120200116-EFC 02-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 10                | 040188783120200116-EFC 02-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 11                | 040188783120200116-EFC 02-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 12                | 040188783120200116-EFC 02-6 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 13                | 040188783120200116-EFC 03-1 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 14                | 040188783120200116-EFC 03-2 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 15                | 040188783120200116-EFC 03-3 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 16                | 040188783120200116-EFC 03-4 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 17                | 040188783120200116-EFC 03-5 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |
| 18                | 040188783120200116-EFC 03-6 | Cumple con los criterios dimensionales | 2020/01/22       |

**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>Realizado por:</b>  | <b>Aprobado por:</b>  |
| Ing. Fernando Tibán R.<br>Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones<br>CFPMC | Ing. Jorge Rodas B. MEng.<br>Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones<br>CFPMC |
|  |   |
| 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

**Figura. A. V. Resultados del ensayo a flexión del material compuesto (Continuación...)**





Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**  
**INFORME DE RESULTADOS N°:040188783120200116-EFC**

**DATOS GENERALES**

**DATOS INFORMATIVOS:**

N° de proforma: RM\_2019\_086.

**Empresa / Cliente:** Bryan Vinicio Valencia Cuaical.

**RUC/C.I.:** 0401887831.

**Dirección:** Ibarra.

**Teléfono:** +593993197335.

**Correo:** bvvalencia@utn.edu.ec

**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 STH-1500 KN

**Modelo:** STII-1500/CS.

**Serie:** 8802M001

**Velocidad de ensayo:** 5 mm/min. **Precarga:** 0,01 N. **Distancia entre apoyos:** 40 mm.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 2020/01/27 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 2020/02/04.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *material compuesto de capa de cabuya tejida con resina poliéster*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H. Gobierno Provincial Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

| N°           | Identificación del grupo  | Matriz                | Material de refuerzo | Disposición  | Probetas a Ensayar |
|--------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|--------------|--------------------|
| 1            | 040188783120200116-EFC 01 | Resina Poliéster      | 1 capa de cabuya     | Tejida       | 6                  |
| 2            | 040188783120200116-EFC 02 | Resina Poliéster      | 2 capa de cabuya     | Tejida       | 6                  |
| 3            | 040188783120200116-EFC 03 | 60 % Resina Poliéster | 40% Fibra de cabuya  | Longitudinal | 6                  |
| <b>Total</b> |                           |                       |                      |              | <b>18</b>          |

**Nota:** La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.

**Observaciones:** Ninguna.

|  |  |
|--|--|
|  |  |
| <b>Realizado por:</b><br>Ing. Fernando Tibán R.<br>Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC | <b>Aprobado por:</b><br>Ing. Jorge Rodas B. MEng.<br>Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC |

**Lugar y fecha de emisión de informe:** Ambato, 04 de febrero de 2020.

**N° de Factura:** 001-002-000008796.



Código: RG-RM-005  
Fecha de Elaboración: 11-05-2016  
Fecha de última aprobación: 18-04-2018  
Revisión: 9

INFORME DE ENSAYO DE FLEXION  
MATERIALES COMPUESTOS

Página 1 de 3

**Figura. A. V. Resultados del ensayo a flexión del material compuesto (Continuación...)**

**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                         | Espeor |                   |                |                                  |   |                                    |                        |  |
| 1       | 040188783120200116-EFC 01-1 | 23.8             | 63.2                 | 14.52                         | 2.80   | 100,00            | 3.888          | 52.71                            | 1291,08                                 | 4,08                               | OAB                    |  |
| 2       | 040188783120200116-EFC 01-2 | 23.8             | 63.2                 | 15.90                         | 1.65   | 50,00             | 1,770          | 69,30                            | 6328,02                                 | 1,10                               | OAB                    |  |
| 3       | 040188783120200116-EFC 01-3 | 23.8             | 63.2                 | 15.24                         | 2.18   | 100,00            | 1,770          | 82,84                            | 5725,22                                 | 1,45                               | OAB                    |  |
| 4       | 040188783120200116-EFC 01-4 | 23.8             | 63.2                 | 15.01                         | 1.51   | 50,00             | 2,855          | 87,66                            | 5422,16                                 | 1,62                               | OAB                    |  |
| 5       | 040188783120200116-EFC 01-5 | 23.8             | 63.2                 | 15.80                         | 3.50   | 100,00            | 0,842          | 31,00                            | 2805,09                                 | 1,11                               | OAM                    |  |
| 6       | 040188783120200116-EFC 01-6 | 23.8             | 63.2                 | 15.70                         | 1.93   | 50,00             | 1,102          | 51,30                            | 6431,86                                 | 0,80                               | OAB                    |  |
|         |                             |                  |                      | Promedio $\bar{X}$            |        | 75,000            | 2,038          | 62,468                           | 4667,239                                |                                    | 1,691                  |  |
|         |                             |                  |                      | Desviación estándar $S_{n-1}$ |        | 27,386            | 1,580          | 36,221                           | 3014,215                                |                                    | 1,493                  |  |
|         |                             |                  |                      | Coeficiente de variación CV   |        | 36,515            | 77,527         | 57,983                           | 64,582                                  |                                    | 88,315                 |  |

| 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          | Espeor |                                     |                |                                  |   |                                    |                        |
| 7       | 040188783120200116-EFC 02-1 | 23.8             | 63.2                 | 14.39          | 2.92   | No se registran valores de máquina. |                |                                  |   |                                    | OBB                    |
| 8       | 040188783120200116-EFC 02-2 | 23.8             | 63.2                 | 14.49          | 3.26   |                                     |                |                                  |   |                                    | OAB                    |
| 9       | 040188783120200116-EFC 02-3 | 23.8             | 63.2                 | 15.13          | 3.12   |                                     |                |                                  |   |                                    | OAB                    |
| 10      | 040188783120200116-EFC 02-4 | 23.8             | 63.2                 | 14.35          | 2.93   |                                     |                |                                  |   |                                    | OAB                    |
| 11      | 040188783120200116-EFC 02-5 | 23.8             | 63.2                 | 14.30          | 3.90   |                                     |                |                                  |   |                                    | OAB                    |
| 12      | 040188783120200116-EFC 02-6 | 23.8             | 63.2                 | 14.20          | 2.78   |                                     |                |                                  |   |                                    | OAM                    |

**Figura. A. V. Resultados del ensayo a flexión del material compuesto (Continuación...)**

| 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      | 180466599820191114-EFC 03-1 | 23.9             | 54.8                 | 15.47                         | 3.30    | 250.00            | 2.092          | 89.04                            | 3439.27                                 | 2.59                               | OAM                    |  |
| 14      | 180466599820191114-EFC 03-2 | 23.9             | 54.8                 | 14.86                         | 3.19    | 250.00            | 3.611          | 99.20                            | 2296.37                                 | 4.32                               | OAM                    |  |
| 15      | 180466599820191114-EFC 03-3 | 23.9             | 54.8                 | 15.10                         | 3.29    | 450.00            | 2.620          | 165.19                           | 5110.54                                 | 3.23                               | OAM                    |  |
| 16      | 180466599820191114-EFC 03-4 | 23.9             | 54.8                 | 15.79                         | 3.11    | 250.00            | 2.881          | 98.22                            | 2923.17                                 | 3.36                               | OAM                    |  |
| 17      | 180466599820191114-EFC 03-5 | 23.9             | 54.8                 | 15.91                         | 3.23    | 300.00            | 3.107          | 108.44                           | 2881.52                                 | 3.76                               | OAM                    |  |
| 18      | 180466599820191114-EFC 03-6 | 23.9             | 54.8                 | 15.37                         | 3.36    | 400.00            | 3.723          | 138.31                           | 2948.46                                 | 4.69                               | OAM                    |  |
|         |                             |                  |                      | Promedio $\bar{X}$            |         | 316.667           | 3.006          | 116.400                          | 3266.554                                |                                    | 3.659                  |  |
|         |                             |                  |                      | Desviación estándar $S_{n-1}$ |         | 87.560            | 0.882          | 29.331                           | 973.521                                 |                                    | 0.993                  |  |
|         |                             |                  |                      | Coeficiente de variación CV   |         | 27.650            | 29.347         | 25.199                           | 29.803                                  |                                    | 27.133                 |  |

#### 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 |
|-----------------|------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------|--------------------|
|                 |                  | En el punto de carga | Entre la carga y el punto de apoyo |                 |                    |
| O               | Otros            | A                    | U                                  | B               | Fondo              |
|                 |                  | L                    |                                    | V               | Varios             |
|                 |                  |                      | No conocido                        | R               | Derecha            |

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 3

Figura. A. V. Resultados del ensayo a flexión del material compuesto (Continuación...)



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocer



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

|   |
|---|
| <b>Informe N°:</b> 040188783120200116-EFC                 |
| <b>DATOS DEL CLIENTE</b>                                  |
| <b>Empresa / Cliente:</b> Bryan Vinicio Valencia Cuaical. |
| <b>Dirección:</b> Ibarra.                                 |
| <b>Núm. de cédula / RUC:</b> 0401887831                   |
| <b>E-mail:</b> bvvalenciae@utm.edu.ec                     |
| <b>Teléfono:</b> +593993197335.                           |

**DATOS INFORMATIVOS**

**Laboratorio:** Resistencia de Materiales.

**Designación del material:**

Material compuesto de capa de cabuya tejida con resina poliéster.

**Método de ensayo:** ASTM D7264-2015: Método de prueba estándar para propiedades de flexión de materiales compuestos de matriz de polímero.

| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES          | EVIDENCIAS |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-------------|------------------------|------------|
| 1  | 040188783120200116-EFC 01-1  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 2  | 040188783120200116-EFC 01-2  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 3  | 040188783120200116-EFC 01-3  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 4  | 040188783120200116-EFC 01-4  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 5  | 040188783120200116-EFC 01-5  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 6  | 040188783120200116-EFC 01-6  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | 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 2

**Figura. A. V. Resultados del ensayo a flexión del material compuesto (Continuación...)**

| N° | IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA | FECHA INGRESO | FECHA ELIMINACIÓN | RESPONSABLE | OBSERVACIONES          | EVIDENCIAS |
|----|------------------------------|---------------|-------------------|-------------|------------------------|------------|
| 7  | 040188783120200116-EFC 02-1  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 8  | 040188783120200116-EFC 02-2  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 9  | 040188783120200116-EFC 02-3  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 10 | 040188783120200116-EFC 02-4  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 11 | 040188783120200116-EFC 02-5  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 12 | 040188783120200116-EFC 02-6  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 13 | 040188783120200116-EFC 03-1  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 14 | 040188783120200116-EFC 03-2  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 15 | 040188783120200116-EFC 03-3  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 16 | 040188783120200116-EFC 03-4  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 17 | 040188783120200116-EFC 03-5  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |
| 18 | 040188783120200116-EFC 03-6  | 2020/01/22    | 2020/02/04        | Cliente     | Se entrega al cliente. |            |

Todas las muestras de cada grupo ensayado por acuerdo se entregan al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

|   |                |
|---|----------------|
|   |                |
| <b>Realizado por:</b><br>Ing. Fernando Tibán R.<br>Analista Técnico Area de Ensayos e Inspecciones<br>CFPMC   | <b>Cliente</b> |
| <b>Aprobado por:</b><br>Ing. Jorge Rodas B. MEng.<br>Director Técnico Area de Ensayos e Inspecciones<br>CFPMC |                |



**Figura. A. V. Resultados del ensayo a flexión del material compuesto (Continuación...)**

## ANEXO VI

### RESULTADOS DEL ENSAYO A IMPACTO DEL MATERIAL COMPUESTO



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD 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.

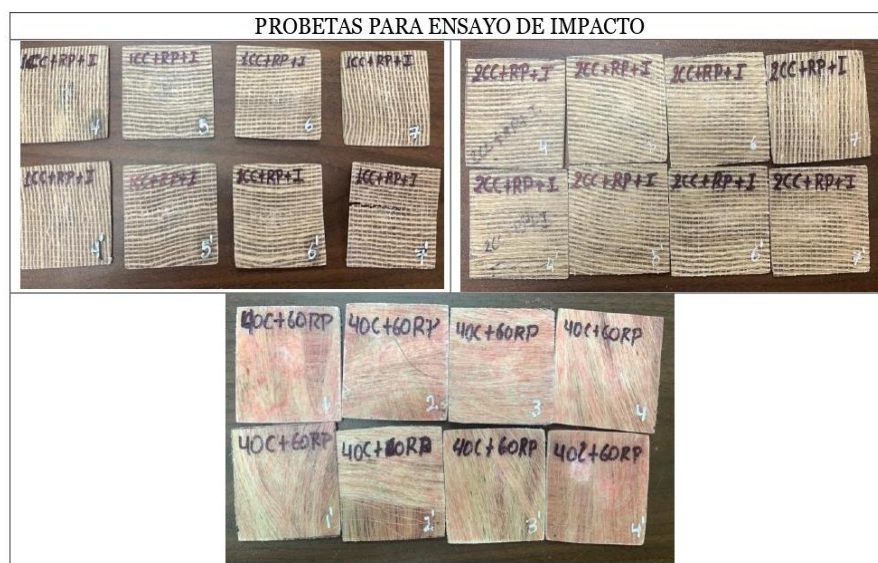
#### **Alcance**

Determinación de energía necesaria para el fallo de polímeros por impacto de dardo según las especificaciones señaladas en la norma ASTM D 5628-10

#### **ANTECEDENTES:**

Con fecha 05 de febrero de 2020, Bryan Vinicio Valencia Cuical 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: ICC+RP+I, 2ICC+RP+I y 40C+60RP en grupos de 8 probetas cada uno. De dimensiones de 58x58 mm. Los grupos ICC+RP+I, 2ICC+RP+I, 40C+60RP presentan superficies lisas.



**Figura. A. VI.** Resultados del ensayo a impacto del material compuesto

### 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.

**Figura. A. VI.** Resultados del ensayo a impacto del material compuesto (**Continuación...**)



- 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.



**Figura. A. VI.** Resultados del ensayo a impacto del material compuesto (**Continuación...**)



| 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>  | 05/02/2020                             | <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>                                  | Sebastián Sánchez                      | <b>Revisado por:</b> | Ing. Sebastián Villegas |               |                    |                            |                            |              |
| <b>Tipo de material:</b>                               |  |                      |                         |               |                    |                            | <b>Orden:</b>              |              |
| PARÁMETROS DE ENSAYO                                   |  |                      |                         |               |                    |                            |                            |              |
| <b>Tipo de Medición:</b>                               | Energía Media de Impacto (J)           |                      | <b>Norma:</b>           | ASTM D5628-10 |                    |                            |                            |              |
| <b>Dimensiones (mm):</b>                               | 58mm x 58mm                            |                      | <b>Nº de probetas:</b>  | 24            |                    |                            |                            |              |
| Resultados del ensayo a impacto del material compuesto |  |                      |                         |               |                    |                            |                            |              |
|  | Probetas                               | Ancho (mm)           | Largo (mm)              | Espesor (mm)  | Masa aplicada (kg) | Altura media de fallo (mm) | Energía media de fallo (J) | Criterio     |
| <b>1CC+RP+I</b>  | PROBETA 4                              | 58.00                | 57.75                   | 1.55          | 0,232              | 150                        | 0,34                       | Falla tipo A |
|  | PROBETA 4'                             | 57.40                | 58.00                   | 1.60          | 0,232              | 150                        | 0,34                       | Falla tipo A |
|  | PROBETA 5                              | 59.00                | 56.15                   | 1.70          | 0,232              | 200                        | 0,46                       | Falla tipo B |
|  | PROBETA 5'                             | 58.10                | 57.90                   | 1.60          | 0,232              | 200                        | 0,46                       | Falla tipo B |
|  | PROBETA 6                              | 57.50                | 58.05                   | 1.65          | 0,232              | 300                        | 0,68                       | Falla tipo C |
|  | PROBETA 6'                             | 57.90                | 58.10                   | 1.75          | 0,232              | 300                        | 0,68                       | Falla tipo C |
|  | PROBETA 7                              | 57.90                | 58.10                   | 1.65          | 0,232              | 600                        | 1,37                       | Falla tipo C |
|  | PROBETA 7'                             | 58.40                | 57.90                   | 1.45          | 0,232              | 800                        | 1,82                       | Falla tipo D |
| <b>2CC+RP+I</b>  | PROBETA 4                              | 57,8                 | 58,2                    | 2,5           | 0,232              | 400                        | 0,91                       | Falla tipo A |
|  | PROBETA 4'                             | 57,9                 | 58,2                    | 2,2           | 0,232              | 400                        | 0,91                       | Falla tipo A |
|  | PROBETA 5                              | 57,8                 | 57,4                    | 2,2           | 0,232              | 600                        | 1,37                       | Falla tipo B |
|  | PROBETA 5'                             | 57,9                 | 57,9                    | 2,6           | 0,232              | 600                        | 1,37                       | Falla tipo B |
|  | PROBETA 6                              | 58,5                 | 58,1                    | 2,2           | 0,232              | 800                        | 1,82                       | Falla tipo B |
|  | PROBETA 6'                             | 57,8                 | 57,5                    | 2,4           | 0,232              | 800                        | 1,82                       | Falla tipo B |
|  | PROBETA 7                              | 58,1                 | 58                      | 2,3           | 0,232              | 1000                       | 2,28                       | Falla tipo C |
|  | PROBETA 7'                             | 58                   | 58,1                    | 2,2           | 0,232              | 1100                       | 2,50                       | Falla tipo C |
| <b>40C+60RP</b>  | PROBETA 1                              | 57,7                 | 58,2                    | 3,2           | 0,587              | 400                        | 2,30                       | Falla tipo A |
|  | PROBETA 1'                             | 57,85                | 58,2                    | 3,1           | 0,587              | 400                        | 2,30                       | Falla tipo A |
|  | PROBETA 2                              | 58,1                 | 58,3                    | 3,2           | 0,587              | 700                        | 4,03                       | Falla tipo B |

**Figura. A. VI.** Resultados del ensayo a impacto del material compuesto (**Continuación...**)

|            |       |       |      |       |      |      |              |
|------------|-------|-------|------|-------|------|------|--------------|
| PROBETA 2' | 58,15 | 57,2  | 3,65 | 0,587 | 700  | 4,03 | Falla tipo A |
| PROBETA 3  | 58,3  | 58,15 | 3,35 | 0,587 | 1000 | 5,76 | Falla tipo D |
| PROBETA 3' | 55,9  | 58,2  | 2,7  | 0,587 | 1000 | 5,76 | Falla tipo D |
| PROBETA 4  | 57,8  | 58,1  | 3    | 0,587 | 1100 | 6,33 | Falla tipo D |
| PROBETA 4' | 57,6  | 57,75 | 3,1  | 0,587 | 1200 | 6,91 | Falla tipo D |

### Conclusión

Para las probetas tipo ICC+RP+I, 2ICC+RP+I, 40C+60RP 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. Sebastián Sánchez  
**TÉCNICOLABORATORISTA**

**Figura. A. VI. Resultados del ensayo a impacto del material compuesto (Continuación...)**