



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

TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO MECÁNICO

**TEMA:**

---

“APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ  
POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS  
INDUSTRIALES”

---

AUTOR: Patricio Daniel Vargas Flores

TUTOR: Ing. Segundo Espín Lagos, Mg.

AMBATO- ECUADOR

2018

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de Tutor del Trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico con el tema: “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES”, desarrollado por el señor Patricio Daniel Vargas Flores portador de la C.I. 18049416-9 y egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

---

Ing. Mg. Segundo Manuel Espín Lagos

**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, Patricio Daniel Vargas Flores, portador de la C.I. 180439416-9 egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, tengo a bien indicar que las investigaciones realizadas en este presente trabajo experimental bajo el tema de “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES” así como los contenidos, ensayos realizados, análisis, conclusiones y recomendaciones son de mi total responsabilidad, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Febrero de 2018

---

Patricio Daniel Vargas Flores

C.I. 180439416-9

AUTOR

-

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

---

Patricio Daniel Vargas Flores

C.I. 180439416-9

AUTOR

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe del trabajo experimental bajo el tema: “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES” del egresado Patricio Daniel Vargas Flores de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Febrero 2018

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Juan Paredes

.....

Ing. Mg. Henry Vaca

## DEDICATORIA

*“Recompensa de la humildad y del temor del Señor son las riquezas, la honra y la vida.”*

*Proverbios 22:4*

*A mis padres Patricio y Martha quienes son la razón de mi vida, que gracias a sus consejos su apoyo incondicional, los buenos valores inculcados, me enseñaron constancia y perseverancia para conseguir lo que se anhela en la vida, a luchar día tras día a no dar marcha atrás que con esfuerzo y dedicación puedo seguir prosperando dando siempre lo mejor de mí.*

*A mis hermanas Monserrath y Vanessa por darme su apoyo moral y estar siempre a mi lado.*

*A mis abuelitos que fueron ellos quienes supieron darme fuerzas y consejos valederos para no desmayar y surgir siempre con humildad y sencillez.*

## AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecer a Dios por ser permitirme culminar una de tantas metas en mi vida sabiéndome guiar en toda mi vida universitaria dándome constancia, perseverancia y sabiduría para salir adelante. A la Virgen María por ser la intercesora con mis oraciones y cuidar de mí cuando más lo necesitaba

A mis padres Patricio y Martha quienes fueron mi fortaleza de quienes aprendí a salir adelante, a no rendirme ni dar marcha atrás, admirando su esfuerzo diario por brindarme lo mejor para mis estudios.

A mis abuelitos Jaime Vargas (+) Mercedes Castro (+) y Gloria Pérez (+) quienes partieron antes de verme triunfar les agradezco infinitamente por enseñarme a nunca rendirme y a Juan Flores que aún está conmigo es un puntal en mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por abrir sus puertas, para poder estudiar mi carrera, brindándome grandes oportunidades de superación académica y proyectarme a una vida profesional.

A los docentes la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera Ingeniería Mecánica quienes se tomaron el arduo trabajo de impartir sus conocimientos, su sabiduría y más aún apoyo moral a no desmayar por nuestras metas por cumplir, en especial al Ingeniero Mg. Segundo Espín Lagos quien me ha brindado su orientación, forma de trabajo, motivación y paciencia en el desarrollo de esta tesis.

A mis tíos que me supieron apoyar de una u otra manera para llegar hasta la cumbre de mi carrera en especial a Mario Vargas, Germán Vargas y Guillermo Vargas de quienes aprendí a saber valorar el esfuerzo por conseguir el sustento a sus familias.

A mis primos Diego, Edisson Vinicio y Oscar quienes son importantes en mi vida, como hermanos que están conmigo en las buenas y en las malas.

A mis amigos y primos quienes nunca me han dejado solo, su apoyo anímico fue vital, agradezco por su sinceridad y su fortaleza que contagian cuando compartimos momentos son extraordinarios.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

|   |      |
|---|------|
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....   | III  |
| DERECHOS DE AUTOR.....  | IV   |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....  | V    |
| DEDICATORIA.....  | VI   |
| AGRADECIMIENTO.....   | VII  |
| ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO .....   | VIII |
| INDICE DE FIGURAS.....  | XII  |
| INDICE DE TABLAS .....  | XIV  |
| RESUMEN EJECUTIVO .....   | XVI  |
| EXECUTIVE SUMMARY.....  | XVII |
| CAPÍTULO I.....   | 1    |
| 1. ANTECEDENTES .....   | 1    |
| 1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....  | 1    |
| 1.2. ANTECEDENTES .....   | 1    |
| 1.3. JUSTIFICACIÓN.....   | 4    |
| 1.4. OBJETIVOS .....  | 5    |
| 1.4.1. Objetivo General: .....  | 5    |
| 1.4.2. Objetivos Específicos:.....  | 5    |
| CAPÍTULO II .....   | 6    |
| 2. FUNDAMENTACIÓN .....   | 6    |
| 2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA .....   | 6    |
| 2.1.1. INGENIERÍA DE LOS MATERIALES.....  | 6    |
| 2.1.2. MATERIALES COMPUESTOS .....  | 6    |
| 2.1.3. Clasificación de los materiales compuestos .....                                       | 7    |
| 2.1.4. Componentes de los materiales compuestos .....   | 7    |
| 2.1.5. Materiales compuestos de resina poliéster reforzado con fibra de<br>hoja de tuna ..... | 8    |
| 2.1.6. Tipos de matrices poliméricas.....   | 11   |
| 2.1.7. Tipos de resina poliéster.....   | 14   |



|                    |  |    |
|--------------------|--|----|
| 2.1.8.             | Refuerzo con fibras .....                                    | 15 |
| 2.1.9.             | Orientación de las fibras y la concentración .....           | 16 |
| 2.1.10.            | Fibras .....   | 18 |
| 2.1.11.            | Fibra de Tuna .....  | 22 |
| 2.1.12.            | Utilización de las fibras de tuna en matriz polimérica ..... | 23 |
| 2.1.13.            | Moldeo del material compuesto .....                          | 23 |
| 2.1.14.            | Ensayos de tracción .....                                    | 25 |
| 2.1.15.            | Ensayo a flexión .....                                       | 25 |
| 2.1.16.            | Ensayo por Impacto por caída de dardo .....                  | 26 |
| 2.2.               | HIPÓTESIS- .....   | 27 |
| 2.3.               | SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS .....          | 27 |
| 2.3.1.             | VARIABLE INDEPENDIENTE .....                                 | 27 |
| 2.3.2.             | VARIABLE DEPENDIENTE .....                                   | 27 |
| CAPITULO III ..... |  | 27 |
| 3.                 | METODOLOGÍA .....  | 27 |
| 3.1.               | NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                          | 27 |
| 3.1.1.             | Exploratoria .....   | 28 |
| 3.1.2.             | Descriptivo .....  | 28 |
| 3.1.3.             | Bibliográfica .....  | 28 |
| 3.1.4.             | Experimental .....   | 28 |
| 3.2.               | POBLACIÓN Y MUESTRA .....                                    | 28 |
| 3.2.1.             | Población .....  | 28 |
| 3.2.2.             | Muestra .....  | 29 |
| 3.3.               | OPERALIZACIÓN DE VARIABLES .....                             | 31 |
| 3.3.1.             | Variable Independiente .....                                 | 31 |
| 3.3.2.             | Variable Dependiente .....                                   | 32 |
| 3.4.               | PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....                     | 33 |
| 3.5.               | PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS .....                       | 33 |
| 3.5.1.             | Plan de procesamiento .....                                  | 33 |
| 3.5.2.             | Plan de análisis e interpretación de resultados .....        | 33 |
| CAPÍTULO IV .....  |  | 34 |
| 4.                 | ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....                | 34 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| 4.1.    | PROCEDIMINETO .....  | 37  |
| 4.1.1.  | Obtención de la materia prima .....  | 37  |
| 4.1.2.  | Determinación de las propiedades físicas de la fibra de tuna .....               | 37  |
| 4.1.3.  | Estructuración de probetas .....   | 39  |
| 4.1.4.  | Probeta a tracción .....   | 40  |
| 4.1.5.  | Probeta a flexión.....   | 40  |
| 4.1.6.  | Probeta a impacto .....  | 41  |
| 4.2.    | Cálculos .....   | 43  |
| 4.3.    | Secado de la corteza de la tuna.....   | 47  |
| 4.4.    | Construcción de moldes para probetas .....                                       | 48  |
| 4.5.    | Elaboración de probetas.....   | 49  |
| 4.6.    | Configuración de las fibras.....   | 49  |
| 4.7.    | Proceso de fabricación de probetas .....   | 50  |
| 4.8.    | Ensayo de tracción.....  | 53  |
| 4.8.1.  | Esfuerzo máximo a tracción.....  | 53  |
| 4.8.2.  | Porcentaje de deformación.....   | 53  |
| 4.8.3.  | Módulo de elasticidad .....  | 53  |
| 4.9.    | Ensayo de flexión .....  | 54  |
| 4.9.1.  | Esfuerzo máximo a flexión .....  | 54  |
| 4.9.2.  | Deformación de la ruptura.....   | 55  |
| 4.9.3.  | Módulo de flexión .....  | 55  |
| 4.10.   | Ensayo por impacto .....   | 56  |
| 4.11.   | FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO.....                  | 57  |
| 4.11.1. | FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR TRACCIÓN .....                                    | 57  |
| 4.11.2. | FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR FLEXIÓN .....                                     | 73  |
| 4.11.3. | FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR IMPACTO .....                                     | 94  |
| 4.12.   | ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA, MICROSCOPIA ELECTRÓNICA<br>115                           |     |
| 4.13.   | ANALISIS DE RESULTADOS.....  | 119 |
| 4.13.1. | DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MEJORES GRUPOS DE ENSAYO ..... | 120 |
|         | CAPÍTULO V .....   | 135 |
|         | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....   | 135 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| CONCLUSIONES .....    | 135 |
| RECOMENDACIONES ..... | 137 |
| BIBLIOGRAFÍA.....     | 138 |
| ANEXOS.....           | 140 |

## INDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 2.1.</b> Matriz y refuerzo en un material compuesto [3]. .....  | 7  |
| <b>Figura 2.2.</b> Clasificación de los materiales según el tipo de refuerzo [4]. .....   | 7  |
| <b>Figura 2.3</b> Conformación de un material compuesto básico con fibras [3]. .....  | 8  |
| <b>Figura 2.4:</b> Componentes de materiales compuestos [8]. .....  | 8  |
| <b>Figura 2.5.</b> Superficie de fractura de una aleación plata cobre, reforzada con<br>fibras de carbono [2]. .....              | 9  |
| <b>Figura 2.7.</b> Orientación de la fibra (a) Continua y alineada (b) Discontinua y<br>alineada (c) Discontinuas alineadas ..... | 16 |
| <b>Figura 2.8.</b> Trasferencia de carga debido a la deformación cortante [3]. .....  | 17 |
| <b>Figura 2.9.</b> Reacción de la longitud en relación a la resistencia de la fibra [15].   | 18 |
| <b>Figura 2.10.</b> Clasificación según origen de fibras [13]. .....  | 18 |
| <b>Figura 2.11.</b> Energía requerida para la producción de algunas fibras [2]. .....   | 21 |
| <b>Figura 2.12.</b> (a) Tuna (b) Fruto (c) Fibra .....  | 22 |
| <b>Figura 2.13.</b> Esquema de conformación por moldeo de compresión [2]. .....   | 23 |
| <b>Figura 2.14.</b> Estratificación manual [8]. .....   | 24 |
| <b>Figura 2.15.</b> Máquina Universal MTE-50 para tracción. ....  | 25 |
| <b>Figura 2.16.</b> Carga a flexión en tres puntos [8]. .....   | 26 |
| <b>Figura 2.17.</b> Máquina Universal MTE-50 para flexión. ....   | 26 |
| <b>Figura 2.18.</b> Máquina de impacto caída por dardo [8]. .....   | 27 |
| <b>Figura 4.1</b> Proceso de obtención de la densidad de fibra de tuna .....  | 38 |
| <b>Figura 4.2</b> Dimensiones de probeta a Tracción.....  | 40 |
| <b>Figura 4.3</b> Dimensiones probeta a flexión .....   | 41 |
| <b>Figura 4.4.</b> Dimensiones probeta a impacto.....   | 42 |
| <b>Figura 4.5</b> Secado de corteza de tuna.....  | 47 |
| <b>Figura 4.6</b> limpieza de fibra .....   | 47 |
| <b>Figura 4.7.</b> Pesaje de fibra para cada composición de probetas.....   | 48 |
| <b>Figura 4.8.</b> Molde para ensayos a tracción.....   | 48 |
| <b>Figura 4.9.</b> Molde para ensayos a flexión .....   | 48 |
| <b>Figura 4.10.</b> Molde para ensayos a impacto.....   | 49 |
| <b>Figura 4.11.</b> Fibra horizontal o cero grados .....  | 49 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Figura 4.12</b> Fibra a 45° o inclinada.....  | 50  |
| <b>Figura 4.13.</b> Fibra entrecruzada .....   | 50  |
| <b>Figura 4.40.</b> Gráfica de las probetas ensayadas a tracción.....  | 121 |
| <b>Figura 4.41.</b> Gráfica de las probetas ensayadas a flexión .....  | 122 |
| <b>Figura 4.42.</b> Gráfica de las probetas ensayadas a impacto.....   | 123 |
| <b>Figura 4.43.</b> Aplicación de la fibra de tuna en la industria aeronáutica [19]. ....  | 126 |
| <b>Figura 4.44.</b> Distribución t-student con n grados de libertad.....   | 130 |
| <b>Figura 4.45.</b> Representación tridimensional de mejores resultados ensayados .  | 133 |
| <b>Figura 4.46.</b> Resistencia a la flexión MPa por parte de Resina poliéster + fibra de tuna, Polietileno de alta densidad, Pranna poliéster y Madera plástica, bagazo de caña. .... | 134 |

## INDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 2.1.</b> Características y aplicaciones de varios polímeros termoestables [14].                         | 11 |
| <b>Tabla 2.2.</b> Propiedades mecánicas de la resina poliéster [16].   | 13 |
| <b>Tabla 2.3.</b> Sistemas catalíticos de resinas poliéster [17].  | 14 |
| <b>Tabla 2.4.</b> Propiedades a tracción de algunas fibras convencionales [2].                                   | 19 |
| <b>Tabla 2.5.</b> Composición química en porcentaje de algunas fibras naturales [15].                            | 20 |
| <b>Tabla 2.6.</b> Comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas [2].                                    | 22 |
| <b>Tabla 3.1</b> Fracción volumétrica orientación de las fibras y método de fabricación.                         | 28 |
| <b>Tabla 3.2.</b> Muestra para ensayos mecánicos   | 29 |
| <b>Tabla 3.3.</b> Variable dependiente.  | 31 |
| <b>Tabla 3.4.</b> Variable dependiente propiedades mecánicas   | 32 |
| <b>Tabla 4.1.</b> Obtención de la densidad de la fibra de tuna   | 38 |
| <b>Tabla 4.2.</b> Detalle de familias de probetas a ensayar  | 39 |
| <b>Tabla 4.3.</b> Proceso de fabricación de probetas a tracción, flexión e impacto                               | 50 |
| <b>Tabla 4.4.</b> Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a tracción reglamentadas por la norma ASTM-3039-00. | 54 |
| <b>Tabla 4.5.</b> Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a flexión reglamentadas por la norma ASTM-D7264-07  | 56 |
| <b>Tabla 4.6.</b> Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a impacto reglamentadas por la norma ASTM-D5628-10. | 57 |
| <b>Tabla 4.7.</b> Ficha técnica de grupo 1 ensayado a tracción   | 57 |
| <b>Tabla 4.8.</b> Ficha técnica de grupo 2 ensayado a tracción   | 59 |
| <b>Tabla 4.9.</b> Ficha técnica de grupo 3 ensayado a tracción   | 61 |
| <b>Tabla 4.10.</b> Ficha técnica de grupo 4 ensayado a tracción  | 63 |
| <b>Tabla 4.11.</b> Ficha técnica de grupo 5 ensayado a tracción  | 64 |
| <b>Tabla 4.12.</b> Ficha técnica de grupo 6 ensayado a tracción  | 66 |
| <b>Tabla 4.13.</b> Ficha técnica de grupo 7 ensayado a tracción  | 68 |
| <b>Tabla 4.14.</b> Ficha técnica de grupo 8 ensayado a tracción  | 70 |
| <b>Tabla 4.15.</b> Ficha técnica de grupo 9 ensayado a tracción  | 71 |
| <b>Tabla 4.16.</b> Ficha técnica de grupo 1 ensayado a flexión.  | 73 |
| <b>Tabla 4.17.</b> Ficha técnica de grupo 2 ensayado a flexión.  | 76 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 4.18.</b> Ficha técnica de grupo 3 ensayado a flexión.....  | 78  |
| <b>Tabla 4.19.</b> Ficha técnica de grupo 4 ensayado a flexión.....  | 80  |
| <b>Tabla 4.20.</b> Ficha técnica de grupo 5 ensayado a flexión.....  | 83  |
| <b>Tabla 4.21.</b> Ficha técnica de grupo 6 ensayado a flexión.....  | 85  |
| <b>Tabla 4.22.</b> Ficha técnica de grupo 7 ensayado a flexión.....  | 87  |
| <b>Tabla 4.23.</b> Ficha técnica de grupo 8 ensayado a flexión.....  | 90  |
| <b>Tabla 4.24.</b> Ficha técnica de grupo 9 ensayado a flexión.....  | 92  |
| <b>Tabla 4.25.</b> Ficha técnica de grupo 1 ensayado a impacto .....   | 94  |
| <b>Tabla 4.26.</b> Ficha técnica de grupo 2 ensayado a impacto .....   | 97  |
| <b>Tabla 4.27.</b> Ficha técnica de grupo 3 ensayado a impacto .....   | 99  |
| <b>Tabla 4.28.</b> Ficha técnica de grupo 4 ensayado a impacto .....   | 101 |
| <b>Tabla 4.29.</b> Ficha técnica de grupo 5 ensayado a impacto .....   | 104 |
| <b>Tabla 4.30.</b> Ficha técnica de grupo 6 ensayado a impacto .....   | 106 |
| <b>Tabla 4.31.</b> Ficha técnica de grupo 7 ensayado a impacto .....   | 108 |
| <b>Tabla 4.32.</b> Ficha técnica de grupo 8 ensayado a impacto .....   | 111 |
| <b>Tabla 4.33.</b> Ficha técnica de grupo 9 ensayado a impacto .....   | 113 |
| <b>Tabla 4.34.</b> Adherencia entre la matriz y el refuerzo vista al microscopio.....  | 115 |
| <b>Tabla 4.35.</b> Identificación y caracterización de los grupos de probetas para los<br>ensayos aplicados al material compuesto..... | 120 |
| <b>Tabla 4.36.</b> Resultado de probetas ensayadas a tracción método estratificación<br>manual .....                                   | 120 |
| <b>Tabla 4.37.</b> Resultado de probetas ensayadas a flexión método estratificación<br>manual .....                                    | 121 |
| <b>Tabla 4.38.</b> Resultado de probetas ensayadas a impacto método estratificación<br>manual .....                                    | 122 |
| <b>Tabla 4.39.</b> Ficha de evaluación de cada combinación de material compuesto .   | 123 |
| <b>Tabla 4.40.</b> Interpretación de resultados de ensayos a tracción, flexión e<br>impacto .....                                      | 125 |
| <b>Tabla 4.41.</b> Verificación de ensayos a tracción de los mejores resultados .....  | 128 |
| <b>Tabla 4.42.</b> Verificación en ensayos a Flexión de los mejores resultados .....   | 130 |
| <b>Tabla 4.43.</b> Mejores resultados ensayados .....  | 133 |
| <b>Tabla 4.44.</b> Resistencia a flexión, ensayo en brindar mejores resultados .....   | 133 |

## RESUMEN EJECUTIVO

### APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES

**Autor:** Patricio Daniel Vargas Flores

**Tutor:** Ing. Segundo Espín Lagos, Mg.

El presente estudio se basa en la experimentación y caracterización del material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de hoja de tuna. Este tipo de fibra es una propuesta ya que en Ecuador específicamente en la región sierra crece ese tipo de planta en variedad de suelos, en la actualidad existen grandes plantaciones de tuna solamente por su fruto y sus hojas son secadas, desechadas y utilizadas como abono orgánico ya que no existe una aplicación para las mismas, por tal motivo de las hojas desechadas se obtuvo la fibra de refuerzo.

Se elaboraron las probetas con diferentes configuraciones y fracciones volumétricas en un molde de acero A-36 para cada tipo de ensayo bajo normas para tracción ASTM 3039, para flexión ASTM-7264 y para impacto ASTM-5628 con la finalidad de establecer la combinación ideal que otorgue las mejores propiedades mecánicas del material compuesto y poder dar uso en la industria.

Por medio de los ensayos realizados en las diferentes fracciones volumétricas por estratificación manual la mejor combinación resultó ser al 70% de matriz polimérica y al 30% de fibra de tuna, con fibras entrecruzadas teniendo una resistencia a la tracción =10.94 MPa, resistencia a flexión =24.98 MPa y energía absorbida = 2.42 J. Las aplicaciones encontradas para este material se las vio en los ámbitos de la industria mobiliaria y aeronáutica.



## EXECUTIVE SUMMARY

### APPLICABILITY OF A COMPOSITE MATERIAL OF POLYMERIC MATRIX REINFORCED WITH FIBERS OF TUNA SHEET IN INDUSTRIAL USES

**Author:** Patricio Daniel Vargas Flores

**Tutor:** Ing. Mg. Segundo Espín Lagos

The present study is based on the experimentation and characterization of the composite material of counterfoil polymeric reinforced with fibre of sheet of prickly pear. This type fibre is a proposal since in Ecuador especially in the sierra region grows this type of plant in soils variety, at present big prickly pear plantations exist only for its fruit and its sheets are dried, rejected and used like organic fertilizer since an application does not exist for the same ones, for such a motive of the disused sheets the reinforcement fibre was obtained.

The burettes were prepared with different configurations and volumetric fractions in a mold of steel A-36 for every type of essay it lowers norms for haulage ASTM 3039, for push-up ASTM-7264 and for impact ASTM-5628 for the purpose of establishing the ideal combination that grants the best mechanical properties of the composite material and power to give use in the industry.

By means of the essays realized in the different volumetric fractions by manual stratification the best combination turned out to be to 70 % of counterfoil polymeric and to 30 % of fibre of prickly pear, with interlaced fibres having a resistance to the haulage =10. 94 MPa, resistance to push-up =24. 98 MPa and absorbed energy = 2. 42 J. The applications found for this material they were seen in the ambiances of the movable and aeronautical industry.

## **CAPÍTULO I**

### **1. ANTECEDENTES**

#### **1.1. TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES

#### **1.2. ANTECEDENTES**

En la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica en el 2014, se realizó un estudio por parte de los Ingenieros Delgado F, Galeas S, Guevara V, bajo el tema: “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRAS DE COCO Y VIDRIO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS” concluyeron:

El estudio realizado en el caso de compuestos híbridos mostró que las fracciones volumétricas del 0.15 y 0.20 de refuerzo demostraron similitud con incrementos en el módulo elástico, resistencia y densidad al aumentar la fracción de la fibra de vidrio y disminución de éstas con el incremento de la fibra de coco en las propiedades mecánicas del material [1].

En la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera Ingeniería Mecánica en el 2017, el señor Gabriel Eduardo Mazón Ortíz realizó una investigación bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE COCO PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES” concluye:

El estudio demostró que las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco con los resultados promedios de ensayos a tracción 19.7 Mpa, ensayos a flexión 1.3 Mpa y ensayos de Impacto 1.8 J siendo estos valores aceptables para este tipo de material compuesto [2].

En la Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera Ingeniería Mecánica en el 2015, el señor Alex David Jácome León, realizó un trabajo experimental bajo el nombre: “ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS” concluye:

El estudio del material compuesto bajo las normas ASTM D3039-14 en ensayos a tracción y ASTM D7264-07 en ensayos a Flexión logró la caracterización mecánica de la (resina epoxi+ fibra de piña), la mejor combinación que presentó mejores propiedades fue compuesto de fibra longitudinal con fracción volumétrica de 30% de material refuerzo (fibra de piña) y 70% de matriz (resina epoxi), siendo aceptables sus propiedades para utilizar como material alternativo en la fabricación de butacas deportivas [3].

En la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria en el 2015, el señor: Edwin Andrés Proaño Fiallos realizó un estudio de material compuesto bajo el tema: “DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ DE POLIURETANO RÍGIDO REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA Y CON RAQUIS DE PALMA AFRICANA”

El material formulado con el 15% en peso de fibra presentó mayores propiedades mecánicas realizando los ensayos tanto de flexión y tracción dando como resultado los parámetros de esfuerzo máximo y módulo del material ser similares a los que presenta el material poliuretano rígido [4].

En la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria en el 2012, el señor: Napoleón Andrés Tamayo Duque realizó un estudio de material

compuesto bajo el tema: “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE CABUYA MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN”

El estudio de este tipo de material utilizó fracciones volumétricas máximas aceptables para la formulación de materiales compuestos de cabuya-poliéster siendo 0.34 para probetas de ensayos de tracción, 0.30 para probetas de ensayos a flexión y 0.26 para probetas de ensayos de impacto, tomando en cuenta la mojabilidad de la fibra matriz y tolerancia en el dimensionamiento. Para la elaboración del material compuesto utilizó una presión de moldeo de 1.000 psi para evitar la presencia de burbujas de aire dentro del material, tomando un tiempo de solidificación entre 60 y 120 minutos tomando en cuenta el espesor del compuesto, cantidad inicial un 0.5% de octoato de cobalto y acelerante con 1% de MEKP dentro de la mezcla [5].

En la Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería Mecánica en el 2014 el señor: Luis Alberto Pérez Gracia realizó un trabajo de investigación bajo el tema: “EVALUACIÓN Y COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES COMPUESTOS A BASE DE FIBRA DE FIQUE Y FIBRAS SINTÉTICAS” en el cual concluye:

El estudio realizado tuvo como resultado en los ensayos de tracción en la adición diluyente genera menor resistencia a los esfuerzos, por lo que el esfuerzo máximo se reduce así como también el módulo de elasticidad, un mejor comportamiento fue a flexión utilizando tres capas de mezcla y con 4 capas de fique cuyo uso sería el de conformar columnas, bien sea como refuerzo o como aislamiento ya que su deformación a flexión es muy pequeña ( $0.06 \pm 0.01$  mm/mm) y resiste grandes esfuerzos ( $47.07 \pm 14.03$  Mpa). Este tipo de material compuesto puede ser utilizado en el ámbito deportivo en la fabricación de tablas de surf que se encuentran sometidas a flexión e impacto, o en la creación de botas para patines aportando ligereza y soportando esfuerzos a los que normalmente están expuestos [6].

En la Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería en el 2013 el señor: José Salinas García realizó un trabajo de investigación bajo el nombre de: “CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A BASE DE POLÍMEROS - FIBRA DE BAGAZO DE NOPAL POR INYECCIÓN”

El estudio de este tipo de material por medio del proceso de inyección tanto para el polietileno como para el polipropileno, al trabajarlos en matriz se notó una disminución de las propiedades mecánicas por la ausencia de acoplamiento entre las matrices, pero por presencia de las fibras de bagazo de nopal se observó que existía un ligero aumento de rigidez del compuesto y que la dureza esté ligeramente aumentaba. Después de haber aplicado el tratamiento de cera polimérica se logró una mayor adherencia entre el refuerzo y la matriz viéndose reflejado el aumento de resistencia mecánica, debido al trabajo en conjunto de las partes [7].

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

El uso de fibras naturales cada vez son más numerosas por lo que están tomando mayor importancia a nivel mundial sobre todo por brindar ventajas con el medio ambiente, siendo un recurso renovable y además de presentar excelentes propiedades mecánicas. En la actualidad están siendo utilizadas conjuntamente con compuestos de matriz polimérica para la fabricación de partes internas de autos, debido a sus propiedades y a la resistencia y las condiciones de servicio cumplen con las exigencias de este tipo de piezas [8].

En la industria los materiales compuestos han tomado mayor importancia que han generado el estudio de la fibra de tuna con resina epóxica destinada para la construcción de alerones y las solapas de aviones [9].

El estudio del compuesto de matriz polimérica reforzada con fibras de hoja de tuna surge debido a que en Ecuador, específicamente en la región Sierra en las provincias de Imbabura, Carchi, Loja, Tungurahua y en la región Costa en Santa Elena crece este tipo de planta silvestre pudiendo ser en variedad de suelos donde no se puede sembrar otros productos además de no requerir mucho cuidado [10].

En el campo de la industria las fibras naturales en materiales compuestos de matriz polimérica han tenido mayor énfasis debido a sus propiedades como su baja dureza es decir evita el desgaste del elemento procesado, también por su costo reducido y a la vez competitivo, baja densidad, como aislantes térmicos y acústicos, biodegradabilidad y renovabilidad además de tener peso ligero, lo cual hace importante su continua investigación y aplicar en diferentes ámbitos y aspectos en la vida diaria ya que no se pueden obtener de las fibras sintéticas como son el caso de la fibra de vidrio y la de carbono [11].

#### **1.4. OBJETIVOS**

##### **1.4.1. Objetivo General:**

Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de tuna.

##### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- Determinar la fracción volumétrica del material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de tuna.
- Determinar las propiedades mecánicas mediante ensayos a flexión, tracción e impacto del material bajo normas ASTM.
- Determinar la mejor combinación de propiedades mecánicas del material compuesto para su posible aplicación industrial.

## **CAPÍTULO II**

### **2. FUNDAMENTACIÓN**

#### **2.1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA**

##### **2.1.1. INGENIERÍA DE LOS MATERIALES**

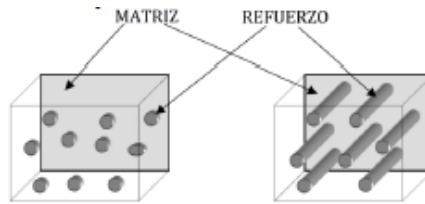
La ingeniería de materiales tiene como principios la aplicación de conocimientos de la ciencia de materiales capaz de conseguir un conjunto predeterminado de propiedades que correlaciona la composición propiedad-estructura diseño o proyección en relación con la disposición de sus componentes internos y las propiedades de los materiales, para así poder desarrollar productos con mejores propiedades desarrolladas.

Existen propiedades que se agrupan en seis categorías: mecánicas, eléctricas, térmicas, magnéticas, ópticas y químicas [12].

##### **2.1.2. MATERIALES COMPUESTOS**

Un material compuesto describe la combinación de dos elementos de diferente naturaleza que no pueden disolverse entre sí, por tal motivo pueden ser reconocidos por medios físicos, como se puede observar en la figura 2.1.

El objetivo en sí es desarrollar nuevos materiales que actuando aisladamente no son capaces de brindar y mediante la unión de las propiedades individuales de cada material en uno solo lo hacen, a esto se lo llama propiedad sinergia [13].



**Figura 2.1.** Matriz y refuerzo en un material compuesto [3].

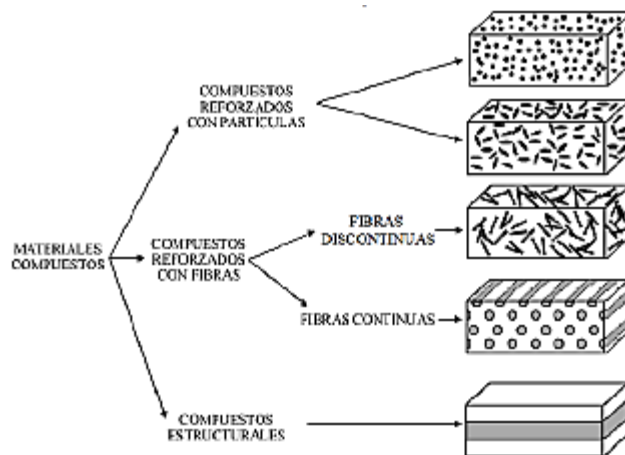
### 2.1.3. Clasificación de los materiales compuestos

Generalmente los materiales compuestos se pueden clasificar:

Según el tipo de matriz:

- Matriz metálica
- Matriz Cerámica
- Matriz Polimérica

En la figura 2.2 que se muestra a continuación, se describe los tipos de refuerzo de los materiales compuestos.



**Figura 2.2.** Clasificación de los materiales según el tipo de refuerzo [4].

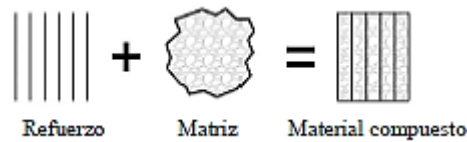
### 2.1.4. Componentes de los materiales compuestos

Los materiales compuestos sí cumplen con propiedades específicas para las cuales fueron diseñados dependiendo de componentes proporciones y estructura. La conexión entre la matriz y refuerzo se denomina interfaz en relación a los componentes de un material, existiendo la posibilidad de que se adhieran elementos



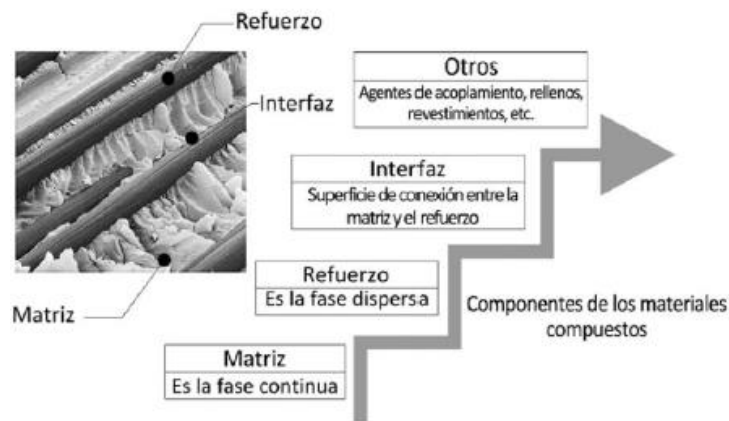
de acople revestaduras y rellenos. Es el caso de aplicaciones industriales como la aeronáutica, automotriz, electrónica y construcción siendo en su mayoría materiales adecuados para la ingeniería.

A continuación en la figura 2.3 se ilustra la conformación de un material compuesto básico con fibras.



**Figura 2.3** Conformación de un material compuesto básico con fibras [3].

En la figura 2.4 se puede observar los componentes de un material compuesto en el cual la fibra de carbono absorbe los esfuerzos producidos por el material [14].



**Figura 2.4:** Componentes de materiales compuestos [8].

## 2.1.5. Materiales compuestos de resina poliéster reforzado con fibra de hoja de tuna

### 2.1.5.1. Matriz

Desempeña varias funciones en relación a un material compuesto siendo la fase continua en la cual engloba y sostiene los componentes de refuerzo otorgando consistencia y continuidad al material, entre las funciones básicas se encuentran:

- Aglutinar los refuerzos.
- Transmitir cargas aplicadas sobre la matriz hacia los esfuerzos.

- Otorgar al refuerzo una barrera de protección contra los efectos del medio ambiente puede ser el caso de la humedad.
- En el caso de que la matriz este reforzada con fibras naturales se debe proporcionar soporte lateral en el caso de existir pandeo por cargas de compresión [14].

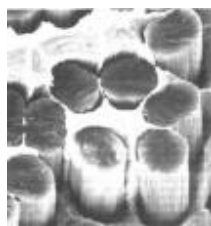
En la matriz es importante saber la influencia que tiene el material en las propiedades eléctricas, físicas, mecánicas y químicas del compuesto. Puede ser en las propiedades mecánicas la resistencia a la tracción, impacto, ductilidad entre otras dependiendo del refuerzo a utilizar la configuración y el tipo de matriz.

#### **2.1.5.2. Compactación entre matriz polimérica y metálica**

Trata acerca de la unión entre matrices poliméricas y metálica, las fibras de refuerzo deben estar acopladas firmemente al material matriz, para que así la carga pueda transmitir uniformemente de la matriz a las fibras del material compuesto.

El objetivo es obtener propiedades que no logran actuando individualmente, puede darse el caso de que si no se utiliza las proporciones indicadas, entre el refuerzo y matriz, disminuirá la resistencia a la fractura al momento de realizar cualquier ensayo [13].

En la figura 2.5 se puede observar la unión entre fibras de carbono en una matriz de cobre de baja calidad que para poder mejorar su resistencia se debe utilizar recubrimientos especiales.



**Figura 2.5.** Superficie de fractura de una aleación plata cobre, reforzada con fibras de carbono [2].

#### **2.1.5.3. Tipos de Matriz**

El uso de los diferentes tipos de matriz depende de las propiedades eléctricas, proceder químico y la temperatura de trabajo.

#### **2.1.5.4. Matrices cerámicas**

Las matrices cerámicas presentan excelentes propiedades a temperaturas altas, baja densidad y buenas propiedades mecánicas. En la industria se está incluyendo en componentes automotrices y motores de turbina en aviones.

En la industria se está incluyendo en componentes automotrices y motores de turbina en aviones [13].

#### **2.1.5.5. Matriz metálica**

En la elaboración de materiales compuestos generalmente los metales trabajan en aleación ofreciendo alta resistencia mecánica, elevada rigidez trabajando en diferentes condiciones a los que fuesen expuestos.

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. El uso de este tipo de matriz se está dando en aplicaciones de ingeniería ya sea en la aeroespacial y automotriz, dando seguridad al trabajar con altas temperaturas.

Los requerimientos que un refuerzo debe cumplir para trabajar con matrices metálicas son los siguientes:

- Baja densidad
- Compaginación mecánica es decir un coeficiente de expansión térmica baja para que pueda adaptarse a las características propias de la matriz
- Equilibrio térmico.
- Elevado módulo de elasticidad.
- Alta resistencia a la compresión y a la tracción.

#### **2.1.5.6. Matrices poliméricas**

Las matrices poliméricas presentan facilidades al momento de utilizarlas en varias aplicaciones debido a su baja densidad, permiten trabajar a temperatura ambiente, manipularles sin dificultad y un costo reducido. Pueden trabajar con partículas o fibras de origen vegetal, en general trabajan con fibra de vidrio o de carbono.

### 2.1.6. Tipos de matrices poliméricas

Por su versatilidad las matrices poliméricas pueden ser: termoestables, termoplásticos y elastómeros.

#### 2.1.6.1. Matriz termoestable

Este tipo de matriz tiene una estructura tipo reticular compuesta por uniones covalentes entrelazadas por cadenas que son generadas por calor o por la combinación de calor y presión durante la reacción de polimerización.

Al mezclar estos dos componentes da comienzo a una reacción entrecruzada, de la misma manera que en otras reacciones inicia por calor o presión. Por este motivo los termoestables no pueden ser recalentados o refundidos como en el procesos de los termoplásticos. Al suceder esto se presenta una desventaja por los fragmentos que se produce durante el proceso no se pueden reutilizar o reciclar, pero también presenta ventajas tales como:

- Excelente estabilidad térmica
- Peso liviano
- Alto equilibrio dimensional
- Excelente rigidez
- Excelente propiedades ante el aislamiento eléctrico [3].

**Tabla 2.1.** Características y aplicaciones de varios polímeros termoestables [14].

| Termoestables | Características  | Aplicaciones típicas  |
|---------------|--|---|
| Epoxis        | Excelente combinación de propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, dimensionalmente estables, buena adherencia, relativamente baratas y buenas propiedades eléctricas | Enchufes, adhesivos, recubrimientos protectores, laminas reforzadas con fibra de vidrio |
| Fenólicas     | Excelente estabilidad térmica hasta los 150°C, susceptible de formar materiales compuestos con muchas resinas, material de rellenos, barato, etc.                                  | Carcasas de motores, teléfonos, distribuidores de automóvil, accesorios eléctricos.     |
| Poliésteres   | Excelentes propiedades eléctricas y barato, se puede utilizar a temperatura ambiente o elevada, se suele reforzar con fibras   | Cascos, barcos pequeños, paneles de automóvil, sillas ventiladores.                     |
| Siliconas     | Excelentes propiedades eléctricas y barato, se puede utilizar a temperatura ambiente o elevada, se suele reforzar con fibras   | Láminas y cintas aislantes a elevadas temperaturas                                      |

#### **2.1.6.2. Matriz elastomérica**

Las matrices elastoméricas se caracterizan por su estiramiento hasta 5 o 6 veces su dimensión inicial debido a su zona elástica, recuperando su forma original por acción de esfuerzos pero sus módulos de elasticidad son bajos. Presentan menos enlaces de reticulación en relación con los termoestables, un ejemplo puede ser el caucho natural que tiene este tipo de principio elastomérico [8].

#### **2.1.6.3. Matriz termoplástica**

Las matrices termoplásticas presentan la característica que por medio del calor pueden ablandarse o derretirse para así poder cambiar su forma siendo estos procesos repetitivos y reversibles. Son muy prácticos al ser utilizados por no presentar cambios en sus propiedades [13].

En el medio industrial en referencia de materiales compuestos los que tienen más uso son el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y de polietileno-tereftalato (PET), existen también polímeros de origen natural como el ácido poliláctico (PLA) o el polihidroxibutirato (PHB), presentan igual propiedades al PE, PP y demás polímeros que puedan venir derivados del petróleo [13].

#### **2.1.6.4. Resina Poliéster**

La resina poliéster es muy utilizada debido a que su costo es bajo, tiene un contenido de estireno monómero entre el 30 y 50% en peso. Generalmente se utiliza como iniciador el octoato de cobalto y como catalizador peróxido de metiletil cetona es decir el MECK por sus siglas en inglés.

La resina poliéster es un plástico termo-estable es decir toma forma final debido a una reacción química, es decir ya solidificada, en el caso de querer llevarla a su forma original en estado líquido no hay forma de hacerlo además que es este tipo de resina no es reciclable [15].

#### **2.1.6.5. Propiedades de la Resina Poliéster**

Existe una gran variedad tipos de resinas poliéster presentando propiedades genéricas, ya que en si cada tipo de resina es preparada con requisitos específicos, con componentes exclusivos al que va ser utilizada.

En sí presentan baja transición vítrea y la resistencia a la rigidez no es muy elevada. Una desventaja es que al endurecerse se contrae entre el 6 y 10%. Para resinas de laminados manuales la viscosidad trabaja a 300 centipoise a temperatura ambiente, pero también existen las resinas que trabajan con la viscosidad de 100 centipoise, conocidas como las de infusión [16].

El poliéster tiene propiedades que resaltan al momento de ser utilizadas pueden servir como: aislante térmico, eléctrico y anticorrosivo.

En relación con la resistencia mecánica es más liviana que la mayoría de los materiales convencionales.

Si es seleccionado adecuadamente y bien formulado, el poliéster resiste el agua, a la intemperie y ataques químicos dependiendo de una extensa variedad de productos industriales [16].

**Tabla 2.2.** Propiedades mecánicas de la resina poliéster [16].

| Propiedad                         | Valor                 |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Peso específico (densidad)        | 1.28                  |
| Dureza                            | 110 RockwellM         |
| Resistencia a la tracción         | 55 MN/m <sup>2</sup>  |
| Resistencia a la compresión       | 140 MN/m <sup>2</sup> |
| Resistencia al impacto            | 2 KJ/m <sup>2</sup>   |
| Módulo de Young                   | 3.5 GN/m <sup>2</sup> |
| Alargamiento a la rotura          | 2%                    |
| Conductividad térmica             | 0.2 W/m°C             |
| Coefficiente de dilatación lineal | 100 <sup>10-6</sup>   |
| Absorción de agua, 24 hr, 20° C   | 0.15%                 |

#### 2.1.6.6. Curado

En este proceso la resina pasa del estado líquido a un estado sólido, este cambio no se puede dar por sí solo o en el caso de darse la resina debe ser expuesta al calor o a la radiación. Para facilitar a la reacción del polímero, para así llegar a un estado sólido es necesario agregar en el mismo momento de la resina una sustancia denominada como catalizador y activador acelerando el proceso de solidificación indicado mediante una ficha técnica del fabricante los porcentajes de utilización.

El catalizador produce radicales libres que dan el inicio a una reacción, basado en peróxidos orgánicos que se añaden a las resinas en forma de líquidos en porcentajes de la misma que varían entre el 1 y 3%.

Los peróxidos orgánicos se eligen tomando en cuenta factores como la temperatura de curado de la resina y de la reacción asociados al acelerador, determinan los tiempos de trabajo y endurecimiento del sistema [17].

En la tabla se expresa los sistemas catalíticos de resinas poliéster a temperatura ambiente.

**Tabla 2.3.** Sistemas catalíticos de resinas poliéster [17].

| Catalizador               | Acelerador           | Tiempo de gel   | Tiempo de endurecimiento |
|---------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|
| Peróxido de benzoilo      | Dimetil-Anilina      | Largo(25-40min) | De medio a rápido(25min) |
| Peróxido de benzoilo      | Dietyl-Anilina       | Largo(25-40min) | Largo (120min)           |
| Peróxido de benzoilo      | Dimetil-p. tohidina  | Largo(25-40min) | Muy largo (240min)       |
| Peróxido de metilacetona  | Naftalato de cobalto | Corto(15-18min) | Lento(30-50min)          |
| Peróxido de acetilacetona | Naftalato de cobalto | Corto(15-18min) | Rápido(20-25min)         |
| Peróxido de ciclohexanona | Naftalato de cobalto | Corto(15-18min) | Progresivo               |

## 2.1.7. Tipos de resina poliéster

### 2.1.7.1. Poliéster Bisfenolico y Vinilester.

Conocidas como antiácidas es decir poseen más resistencia a cualquier ataque químico y a la temperatura. Algunos tipos de trabajos que utilizan la resina poliéster son: reactores, tuberías, torres lavadoras de gases y enfriadoras.

### 2.1.7.2. Poliéster Isoftálico

Por lo general es utilizada en la elaboración de piezas que estén expuestas al medio ambiente, que este en contacto con agua o la presencia de un ataque químico, este tipo de resina posee una excelente resistencia química.

### 2.1.7.3. Poliéster Iso N.P.G

Tipo de resina modificada con N.P.G (Neopentil glicol), este tipo de componente otorga una considerable resistencia química ante el agua y organismos microscópicos como hongos, esto en si es importante para la utilización en piscinas toboganes, bañeras de hidromasaje además de la industria alimenticia.

#### **2.1.7.4. Poliéster Ortoftálico**

Tipo de resina que tiene uso general, dispuesta para elaborar elementos en la industria que estén expuestos a un bajo nivel de ataque químico o el ambiente. Se puede trabajar en combinación con otros tipos de resina poliéster más resistencia para así ganar mayor resistencia química y mecánica. Sus aplicaciones son varias dependiendo para que se solicita puede ser en la fabricación de cabinas, auto partes, tejas, etc.

#### **2.1.7.5. Poliéster Tereftálico**

En relación a las resinas ortoftálicas tienes mayor resistencia química, no tiene inconvenientes si está expuesta a temperaturas altas, trabajo con cargas minerales, baja filtración de agua.

#### **2.1.8. Refuerzo con fibras**

Las fibras son filamentos cilíndricos que tiene de diámetro entre los 2 a 10  $\mu\text{m}$  y la longitud depende de la procedencia de la fibra vegetal.

Existen fibras que puede conseguirse en el mercado en forma de hilos, cordones y cintas usadas en la industria en el área de ingeniería de materiales, pudiendo ser fibras largas o cortas.

Los materiales compuestos que son reforzados con fibras tienden a ser los más utilizados en conjunto con matriz polimérica incrementando sus propiedades en relación a la rigidez tenacidad y baja densidad dependiendo de la naturaleza de la fibra vegetal.

Los refuerzos con fibras se presentan en anisotropía. Esto se debe a que algunas propiedades tienen variaciones dependiendo del eje geométrico por cual fueron determinadas. Para que un compuesto sea isotrópico en cuanto a una propiedad en específico es el caso del módulo de Young, todos los refuerzos sean fibras o partículas deben estar en forma aleatoria. Es complicado para las fibras que presentan variación ya que la mayor parte de sistemas de producción tienen a dar cierta orientación a las fibras.

Las fibras en forma continua o de láminas se utilizan para hacer de un material compuesto, un material anisotrópico, en si está a lo largo del eje principal de la

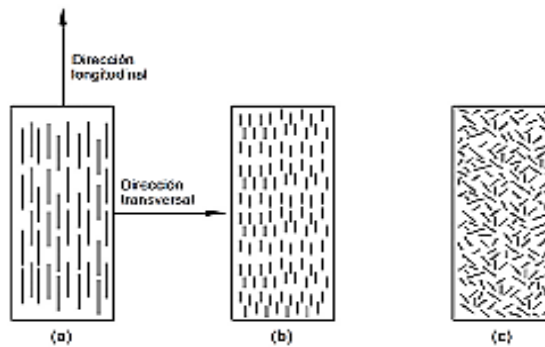


carga, creando así la posibilidad de orientación de fibras en dirección de la mayor carga, aumentando la eficacia de refuerzo.

### 2.1.9. Orientación de las fibras y la concentración

La orientación de las fibras, su cantidad y distribución tienen una muy considerable resistencia mecánica y en otras propiedades de los materiales compuestos. En relación a la alineación de la fibra existen dos posibilidades: en dirección paralela al eje longitudinal de las fibras ya sean continuas o discontinuas y totalmente puestas al azar.

En la figura 2.7 se muestra una posible alineación de un material con refuerzo y fibra.



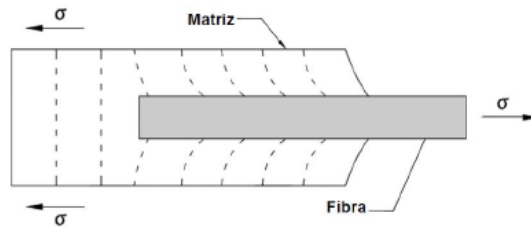
**Figura 2.6.** Orientación de la fibra (a) Continua y alineada (b) Discontinua y alineada (c) Discontinuas alineadas

**Fuente:** Callister, 2007, p.587 [4].

#### 2.1.9.1. Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas

Las características dependen no solo de las propiedades de la fibra sino del nivel de carga aplicada transmitida de la matriz a la fibra. Por lo que es primordial que la unión entre matriz y fibra estén aseguradas, ya que la carga es transferida por un mecanismo de corte.

En la figura se observa la transferencia de carga debido a la deformación cortante



**Figura 2.7.** Tráferencia de carga debido a la deformación cortante [3].

Se puede observar en la figura 2.8 el efecto que realiza el extremo de la fibra sobre la matriz, es allí donde se termina la unión entre la matriz y la fibra, obviar la transferencia de esfuerzo al final de la fibra como también de las fibras que pueden ser vistas.

Se puede determinar que debe existir una longitud mínima efectiva para la transmisión de cargas y esfuerzos para un diámetro de fibra expuesto. La longitud mínima o crítica  $l_c$  dependerá del diámetro de la fibra ( $d_f$ ), resistencia a la tracción y del esfuerzo ( $\sigma_f^*$ ) de corte ( $\tau_i$ ) existente entre la fibra y la matriz.

De ser el caso en que la longitud de fibra es inferior a la crítica, el esfuerzo producido en la fibra es apto para soportar, las matrices tienen a tener un fallo antes de que la fibra alcance su esfuerzo potencial. Puede presentarse el caso de que la longitud de la fibra es mayor que la crítica, la fibra tiende a alcanzar su valor máximo de esfuerzo.

En fibras de diámetro  $d_f$  y longitud  $l_c$ , se podrá obtener el esfuerzo medio que se produce en la fibra. Pero para distancias equitativas a  $l_c/2$  desde los extremos de la fibra, no puede ser tan efectiva, es por eso que para tener un refuerzo ideal debe aumentar la longitud de refuerzo, sobrepasando el valor crítico.

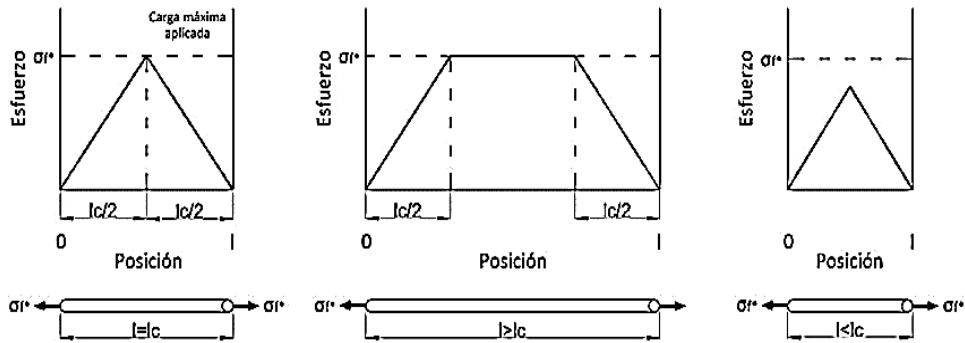


Figura 2.8. Reacción de la longitud en relación a la resistencia de la fibra [15].

## 2.1.10. Fibras

Las fibras tienden desde la antigüedad a ser utilizadas a manera de materia para la elaboración de productos como: telares, artesanías, papel y entre otros utilizando como refuerzo en varias matrices cerámicas y metálicas con el afán de mejorar propiedades en materiales compuestos llamados composites.

### 2.1.10.1. Clasificación de las fibras

Los tipos de refuerzo pueden clasificarse en fibras convencionales dependiendo el origen ya sean naturales y orgánicas

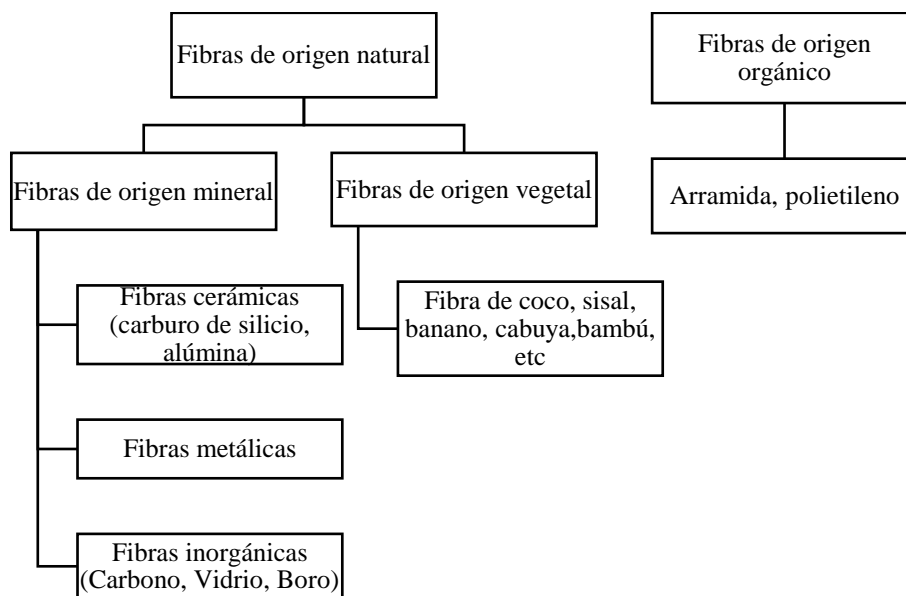


Figura 2.9. Clasificación según origen de fibras [13].

### 2.1.10.2. Fibras Convencionales

Son el tipo de fibra más común MCs modernos utilizadas para refuerzo, entre las más utilizadas están la fibra de carbono, poliméricas y las inorgánicas a este grupo pertenece la fibra de vidrio, utilizada por su resistencia y por tener un costo accesible.

En la tabla 2.4 se muestra los tipos de fibras más destacadas en el mercado con sus propiedades mecánicas a la tracción.

**Tabla 2.4.** Propiedades a tracción de algunas fibras convencionales [2].

| Fibra                          | Módulo de elasticidad [GPa] | Resistencia [GPa] | Densidad [g/cm <sup>3</sup> ] | Deform. Rotura [%] |
|--------------------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------------|--------------------|
| <b>Fibras Orgánicas</b>        |                             |                   |                               |                    |
| Kevlar 29                      | 65                          | 2.8               | 1.44                          | 4.0                |
| Kevlar 49                      | 125                         | 3.5               | 1.44                          | 2.3                |
| Kevlar 149                     | 185                         | 3.4               | 1.47                          | -                  |
| <b>Fibras Inorgánicas</b>      |                             |                   |                               |                    |
| Vidrio E                       | 75                          | 3.5               | 2.58                          | 4                  |
| Vidrio S                       | 90                          | 4.5               | 2.46                          | -                  |
| Vidrio C                       | 69                          | 3.3               | 2.49                          | -                  |
| Boro                           | 415                         | 3.5               | 2.5-2.6                       | -                  |
| SiC                            | 400                         | 3.45              | 3                             | -                  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 350-380                     | 1.7               | 3.7                           | -                  |
| <b>Fibras textiles</b>         |                             |                   |                               |                    |
| Poliéster (PET)                | 3-10                        | 0.4-0.8           | 1.39                          | -                  |
| Nylon 66                       | 1-5                         | 0.3-0.8           | 1.14                          | -                  |

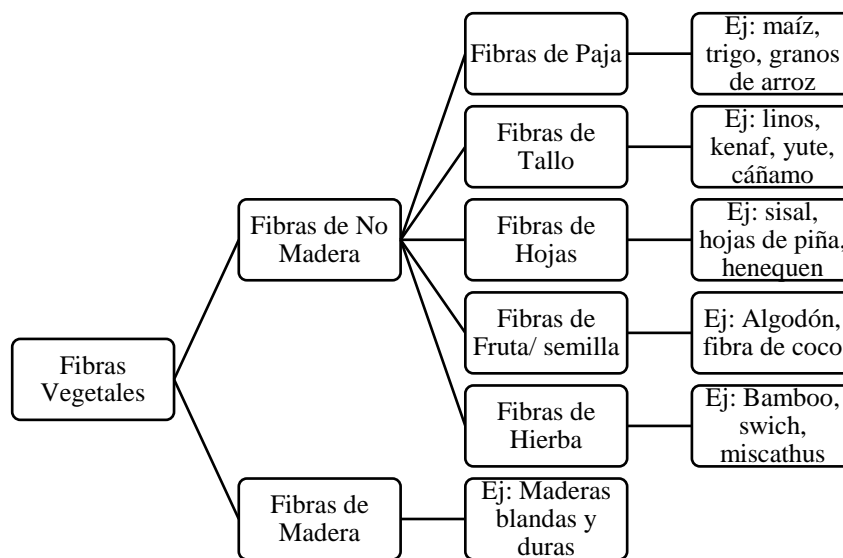
### 2.1.10.3. Fibras Naturales

Las fibras naturales tienen procedencia de minerales, plantas o animales. Las que más se utilizan son las vegetales ya que tienen amplia disponibilidad y renovabilidad en un periodo corto de tiempo, son lignocelulósicas y se encuentran distribuidas en toda la naturaleza, es decir los materiales lignocelulósicos son renovables y abundan en la tierra.

Las propiedades mecánicas de las fibras vegetales dependen del tipo de celulosa ya que viene a ser el componente principal de la estructura de la fibra y la geometría de la celda elemental, brindando resistencia, rigidez y estabilidad para la fibra.

Las moléculas de celulosa se agrupan en filas paralelas, por lo general tiene un diámetro aproximado entre 5 a 12  $\mu\text{m}$ . Las microfibrillas se agrupan para formar macrofibrillas por medio de celulosas en corte transversal.

La hemicelulosa la pectina aporta con la unión de las microfibrillas de celulosa por ser hidrófilas que ayudan a mantener la hidratación de sus paredes.



**Figura** Clasificación de las fibras vegetales [13].

La composición química de cada fibra vegetal depende del hábitat donde se encuentre influyendo en si las condiciones climáticas peor en si la relación entre la celulosa, hemicelulosa y lignina es la que se presenta en la tabla 2.5.

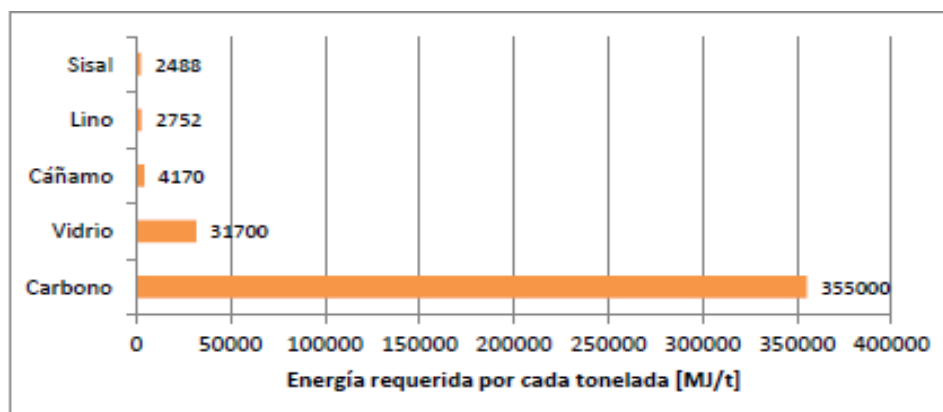
**Tabla 2.5.** Composición química en porcentaje de algunas fibras naturales [15].

| Fibra  | Celulosa (% peso) | Hemicelulosa(% peso) | Lignina (%peso) |
|--------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Lino   | 71.2              | 18-20                | 2.2             |
| Cáñamo | 70-75             | 17-22                | 3.7-5.7         |
| Yute   | 61-71             | 13-20                | 8.1-13          |
| Kenaf  | 45-57             | 21                   | 8-13            |
| Ramio  | 68-76             | 13-16                | 0.6-07          |
| Ábaca  | 63-70             | 20-21                | 5-6             |

|         |       |           |       |
|---------|-------|-----------|-------|
| Sisal   | 67-78 | 10-14     | 8-14  |
| Algodón | 82-93 | 3-6       | ---   |
| Bambú   | 35-61 | 15        | 27-32 |
| Coco    | 32-43 | 0.11-0.25 | 40-45 |
| Banana  | 35-61 | 15        | 27-32 |
| Coco    | 32-43 | 0.15-0.25 | 40-45 |
| Banana  | 63-64 | 10        | 5     |
| Formio  | 71.3  | --        | --    |

El uso de fibras vegetales es una alternativa muy fuerte ante fibras convencionales que puede ser utilizada en la fabricación de los MCs permitiendo la reducción de peso en el material manteniendo rigidez y dureza adecuada. Al entrar en contacto con la fibra natural existe poco riesgo a comparación con fibras convencionales. La energía requerida para la producción de fibras vegetales es en promedio la mitad de la cantidad requerida para fibras convencionales.

Las propiedades en las fibras vegetales tienen a variar, mientras que las fibras convencionales, se fabrican en un rango establecido de propiedades. En si las fibras naturales dependen de factores que influyen en el origen de la planta.



**Figura 2.10.** Energía requerida para la producción de algunas fibras [2].

En la siguiente tabla 2.6 se realiza una comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas

**Tabla 2.6.** Comparación entre fibras naturales y fibras sintéticas [2].

| Fibras   | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Resistencia a la tracción (MPa) | Módulo de elasticidad (GPa) | Elongación fractura (%) | Absorción de humedad (%) |
|----------|-------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Vidrio-S | 2.5                           | 2000-3500                       | 70                          | 2.5                     | ---                      |
| Vidrio-E | 2.5                           | 4750                            | 86                          | 2.8                     | ---                      |
| Aramida  | 1.4                           | 3000-3150                       | 63-67                       | 3.3-3.7                 | ---                      |
| Carbón   | 1.4                           | 4000                            | 230-240                     | 1.4-1.8                 | ---                      |
| Cáñamo   | 1.4                           | 690                             | 35                          | 1.6                     | 8                        |
| Yute     | 1.3                           | 393-773                         | 26.5                        | 1.5-1.18                | 12                       |
| Ramio    | 1.5                           | 400-938                         | 61.4-128                    | 3.6-3.8                 | 12-17                    |
| Coco     | 1.2                           | 175-220                         | 4-6                         | 15-30                   | 10                       |
| Sisal    | 1.5                           | 511-635                         | 9.4-22.0                    | 2.0-2.5                 | 11                       |
| Abacá    | 1.3                           | 400-1289                        | 45                          | 2.7                     | 8-10                     |
| Lino     | 1.5                           | 345-1035                        | 27.6                        | 2.7-3.2                 | 7                        |
| Algodón  | 1.2                           | 393-773                         | 26.5                        | 7-8                     | 8-25                     |

### 2.1.11. Fibra de Tuna

La fibra de tuna a simple vista se caracteriza por sus tallos en forma de óvulos cubiertos de diminutas agrupaciones de pelos rígidos llamados gloquidios o también de espinas color verde en diversos tamaños de cladodios entre tiernos y viejos, formando escamas ramificadas con un tallo leñoso, dando a la planta un aspecto de árbol que miden aproximadamente 5 metros de altura. La ventaja en si es que crece en cualquier tipo de clima, ya que el agua que almacena la utiliza cuando no llueve.

La reproducción de esta planta es muy sencilla ya que cuando caen las pencas maduras, con que tenga contacto con la tierra renace una nueva planta.

En la figura 2.12 podemos observar la planta, fruto y la fibra



**Figura 2.11.** (a) Tuna (b) Fruto (c) Fibra

Fuente: El Autor

### 2.1.12. Utilización de las fibras de tuna en matriz polimérica

En la actualidad se han desarrollado varios tipos de fibras de origen vegetal implementando métodos de extracción y procesos para realizar tipos de ensayo como tracción, flexión e impacto, a pesar de que se realizó una profunda búsqueda de información en relación a trabajos relacionados con matrices poliméricas con fibras de tuna, por lo tanto se ha tomado la decisión de trabajar con métodos realizados con fibras naturales.

Lo que se realizó en esta investigación es la elaboración de un nuevo material en matriz polimérica con fibras de tuna, trabajando a diferentes concentraciones porcentuales.

### 2.1.13. Moldeo del material compuesto

#### 2.1.13.1. Estratificación a compresión

Este proceso utiliza moldes macho y hembra determinando la geometría y la estructura del elemento a conformar. Ciertas cantidades de fibra y resina son ubicadas dentro del molde, al que se aplica presión hidráulica parcialmente alta, a la vez si se agrega calor le logra la forma del molde al que fue expuesta para obtener la pieza.

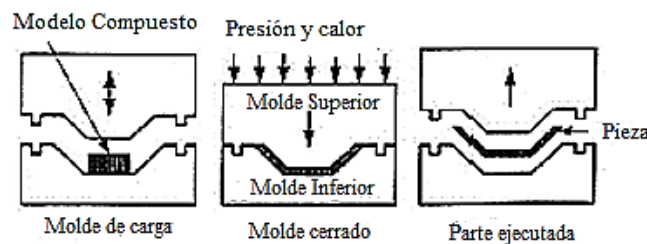


Figura 2.12. Esquema de conformación por moldeo de compresión [2].

#### 2.1.13.2. Estratificación manual

La estratificación manual o también llamada hand lay-up, es una técnica para la conformación de materiales compuestos de matriz termoestable, técnica sencilla y se viene trabajando desde la antigüedad. Las resinas que brindan un fácil proceso y

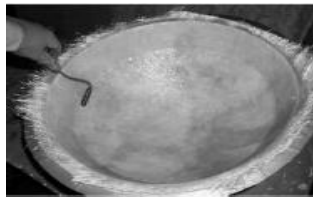


una buena impregnación de refuerzo son las resinas termoestables, ya que trabaja sin inconvenientes a temperatura ambiente.

Para que suceda el curado o reticulación es necesario adicionar un iniciador que se encarga de desencadenar la reacción para luego un catalizador acelere la reacción. La resina poliéster contiene estireno monómero que va entre los 30 y 50% en peso además de ser comúnmente la más utilizada por su costo accesible

A continuación el proceso de estratificación manual

1. Se adiciona al molde un agente desmoldeador para poder tener facilidad al momento de extraer el elemento formado.
2. Se utiliza el gelcoat utilizado a manera de aspersión o de forma manual con una brocha o rodillo.
3. Cuando el gelcoat ha actuado con la curación se coloca capas del material de aporte, agregando resina catalizada sobre la capa de refuerzo para así con ayuda de una brocha impregnar al polímero, ya que debe salir el aire atrapado entre la matriz y refuerzo.
4. A temperatura ambiente esperar que se cure el elemento, la cantidad utilizada de catalizador e iniciador depende del tiempo de secado y posteriormente se retira el elemento del molde.



**Figura 2.13.** Estratificación manual [8].

### **2.1.13.3. Ensayo de Materiales**

El ensayo de materiales permite determinar las características de los materiales compuestos, estableciendo comportamientos bajo influencias externas. Los ensayos físicos determinan la forma y dimensión de los cuerpos, como su densidad, humedad y peso específico, pero en los ensayos mecánicos se obtienen: la elasticidad, ductilidad, plasticidad, tenacidad y resistencia, etc.

La Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ASTM por sus siglas en inglés ha desarrollado normas específicas para ensayo de materiales pudiendo encontrar composites de las normas de caracterización.

#### **2.1.14. Ensayos de tracción**

El ensayo a tracción es la forma de obtener el comportamiento mecánico sometidos a esfuerzo. El material a ensayar tiende a deformarse hasta tener una ruptura por la aplicación de fuerza uniaxial a lo largo del eje principal que va aumentando de manera gradual en la probeta.

En relación a materiales conformados por fibras el ensayo a tracción se rige a la norma D3039/D3039M-08 utilizando la maquina universal de ensayos como se muestra en la figura 2.15.



**Figura 2.14.** Máquina Universal MTE-50 para tracción.

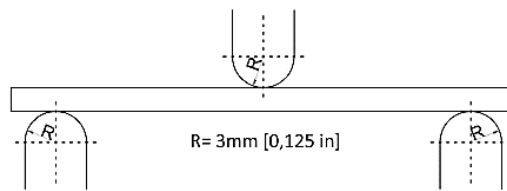
**Fuente:** El Autor

#### **2.1.15. Ensayo a flexión**

Este ensayo se basa en la norma D7264/ D7264M-07.

El ensayo por flexión determina rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto por matriz polimérica, su procedimiento corresponde a un sistema de carga en tres puntos, con una carga central en una viga y con apoyos simples.

Las propiedades por flexión pueden tener variaciones en la superficie de la probeta, ya que ningún laminado es simétrico, estas diferencias desviarán al eje neutral y los resultados se verán afectados por la mínima asimetría presente en el laminado.



**Figura 2.15.** Carga a flexión en tres puntos [8].

Para la realización de este ensayo se requieren como mínimo 5 probetas por cada condición expuesta para así obtener resultados válidos.

Este ensayo se realizará en una máquina MTE-50, lo que cambia para los ensayos son los componentes como son el indentador y las dos bases.



**Figura 2.16.** Máquina Universal MTE-50 para flexión.

**Fuente:** El Autor

### **2.1.16. Ensayo por Impacto por caída de dardo**

Este ensayo se realiza bajo la norma ASTM D5628.

En la figura se puede observar la máquina de impacto por caída de dardo, es importante que el área a ensayar por el dardo debe estar libre de desperfectos o fallas para así no tener inconvenientes con los resultados.

Por este método se determina la falla del material lo cual al dejar caer el dardo sobre la probeta se mide la distancia del que fue lanzado, se retira la probeta y se examina si ha sufrido alguna falla o aparecimiento de alguna fisura, detectada a simple vista. Para determinar falla sería al menos el 50% de las probetas.



**Figura 2.17.** Máquina de impacto caída por dardo [8].

La falla por lo general se produce al lado contrario del golpe de impacto, por lo que es necesario revisar las dos caras de la probeta.

## **2.2. HIPÓTESIS-**

El material compuesto de matriz polimérica reforzada con fibra de tuna permitirá determinar las propiedades mecánicas para posibles usos industriales.

## **2.3. SEÑALAMIENTO DE LAS VARIABLES DE LA HIPÓTESIS**

### **2.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE**

Material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibras de tuna.

### **2.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE**

Propiedades Mecánicas

## **CAPITULO III**

### **3. METODOLOGÍA**

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

### 3.1.1. Exploratoria

En la presente investigación se trabajó por el método de experimentación realizando un nuevo material compuesto de resina poliéster con fibras de hojas de tuna variando configuraciones para así poder encontrar la combinación que brinde mejores características técnicas.

### 3.1.2. Descriptivo

Este método será importante para observar el comportamiento de las diferentes combinaciones del material compuesto propuesto a utilizar en los ensayos de tracción, flexión e impacto.

### 3.1.3. Bibliográfica

En la presente investigación se necesitó fuentes bibliográficas como artículos científicos tesis, publicaciones de libros y demás fundamentos bibliográficos para poder llevar a cabo la elaboración de ensayos obteniendo resultados apropiados.

### 3.1.4. Experimental

La investigación es de tipo experimental ya que los resultados obtenidos servirán para suscitar una referencia de experimentación para una futura aplicación industrial.

## 3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

### 3.2.1. Población

La población que se desarrolla en esta investigación en base de matriz polimérica con fibra de hoja de tuna como refuerzo se evalúa mediante variaciones en la matriz y refuerzo detallados a continuación en la tabla 3.1

**Tabla 3.1** Fracción volumétrica orientación de las fibras y método de fabricación.

| <b>Fracción volumétrica</b>                                  | <b>Orientación de la fibra</b> | <b>Método de fabricación</b> |
|--|--------------------------------|------------------------------|
| Fracción 1: 65% resina poliéster y 35% fibra de hoja de tuna | fibra a 0°                     | Estratificación manual       |
|  | fibra a 45°                    |                              |
|  | Entrecruzada                   |                              |

|   |              |                        |
|---|--------------|------------------------|
| Fracción 2: 70% resina poliéster y 30% fibra de hoja de tuna  | fibra a 0°   | Estratificación manual |
|   | fibra a 45°  |                        |
|   | Entrecruzada |                        |
| Fracción 3: 75% resina poliéster y 25% fibra de hoja de tuna) | fibra a 0°   | Estratificación manual |
|   | fibra a 45°  |                        |
|   | Entrecruzada |                        |

Fuente: [Autor].

### 3.2.2. Muestra

Para poder realizar los ensayos el mínimo de probetas será de cinco por cada uno de los casos propuestos a analizar bajo las normas ASTM establecidas en total se ensayaron 153 de las cuales se ensayaron 135 distribuidas de la siguiente forma:

- 54 probetas para ensayos a tracción bajo la norma ASTM D3039-00, 6 por cada grupo (5 ensayadas y 1 para prueba)
- 54 probetas para ensayos a flexión bajo la norma ASTM D7264-07, 6 por cada grupo (5 ensayadas y 1 para prueba)
- 45 probetas para ensayos impacto bajo la norma ASTM D5628-10

Con este tipo de ensayos se realizará el estudio del material compuesto para saber la combinación que brinde mejores propiedades mecánicas.

**Tabla 3.2.** Muestra para ensayos mecánicos

| Fracción Volumétrica | Orientación de las fibras | Método de fabricación | Número de probetas  |                    |                    |
|----------------------|---------------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|                      |                           |                       | Tracción ASTM D3039 | Flexión ASTM D7264 | Impacto ASTM D5628 |
|                      | fibra a 0°                |                       | 5                   | 5                  | 5                  |

|   |              |                        |    |    |    |
|---|--------------|------------------------|----|----|----|
| Fracción 1: 65% resina poliéster y 35% fibra de hoja de tuna  | fibra a 45°  | Estratificación manual | 5  | 5  | 5  |
|   | Entrecruzada |                        | 5  | 5  | 5  |
| Fracción 2: 70% resina poliéster y 30% fibra de hoja de tuna  | fibra a 0°   | Estratificación manual | 5  | 5  | 5  |
|   | fibra a 45°  |                        | 5  | 5  | 5  |
|   | Entrecruzada |                        | 5  | 5  | 5  |
| Fracción 3: 75% resina poliéster y 25% fibra de hoja de tuna) | fibra a 0°   | Estratificación manual | 5  | 5  | 5  |
|   | fibra a 45°  |                        | 5  | 5  | 5  |
|   | Entrecruzada |                        | 5  | 5  | 5  |
| <b>NÚMERO TOTAL DE PROBETAS</b>                               |              |                        | 45 | 45 | 45 |

Fuente: El Autor.

### 3.3. OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

#### 3.3.1. Variable Independiente

**Tabla 3.3.** Variable dependiente

| Concepto   | Categoría          | Indicadores              |     | Ítems            |               | Técnicas de Instrumentación  |
|--|--------------------|--------------------------|-----|------------------|---------------|--|
|  |                    |                          |     | Resina Poliéster | Fibra de Tuna |  |
| Material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de tuna en el desarrollo industrial | Material compuesto | Fracción Volumétrica     | 1   | 65%              | 35%           | Observación directa Fichas de datos<br>Normas ASTM<br>Bibliografía |
|  |                    |                          | 2   | 70%              | 30%           |  |
|  |                    |                          | 3   | 75%              | 25%           |  |
|  |                    | Orientación de refuerzos | I   | N/A              | 0°            |  |
|  |                    |                          | II  | N/A              | 45°           |  |
|  |                    |                          | III | N/A              | Entrecruzada  |  |
|  |                    | Tipo de estratificación  |     | Manual           |               |  |

Fuente: El Autor



### 3.3.2. Variable Dependiente

#### Propiedades Mecánicas

**Tabla 3.4.** Variable dependiente propiedades mecánicas

| Conceptualización   | Categoría    | Indicadores               | Índice                                  | Técnicas e Instrumentación  |
|---|--------------|---------------------------|---|---|
| Comportamiento mecánico del material al aplicar fuerzas externas siendo evaluadas por ensayos mecánicos hasta un instante determinado donde podamos observar la reacción del material | Tracción     | Resistencia a la tracción | Esfuerzo a tracción                     | Observación directa<br>Fichas de datos<br>Normas ASTM<br>Bibliografía |
|   |              |                           | Módulo de tracción                      |   |
|   | Flexión      | Resistencia a la flexión  | Esfuerzo a flexión                      |   |
|   |              |                           | Modulo a flexión                        |   |
|   | Impacto      | Resistencia al impacto    | Energía de Impacto                      |   |
|   | Fractografía | Microscopía electrónica   | Adherencia ente la matriz y el refuerzo |   |

### **3.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN**

El plan de recolección se lo realizó por el método de investigación técnica a través de la observación directa tomando registro de los ensayos realizados (tracción, flexión e impacto) en las probetas que se elaboró con las diferentes estructuras y estratificaciones. Adicionalmente se realizó un ensayo por análisis de barrido en el laboratorio de Materiales en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

### **3.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS**

#### **3.5.1. Plan de procesamiento**

El procesamiento se basó en los siguientes aspectos que regirán su control:

- Revisión de forma crítica artículos científicos, tesis, registros en sí que se lleven a cabo en referencia al tema o tenga relación alguna.
- Elaboración y ejecución de ensayos en probetas realizadas bajo normas específicas.
- Tabulación de resultados obtenidos.
- Análisis e interpretación de resultados comprobando con el planteamiento de la hipótesis.

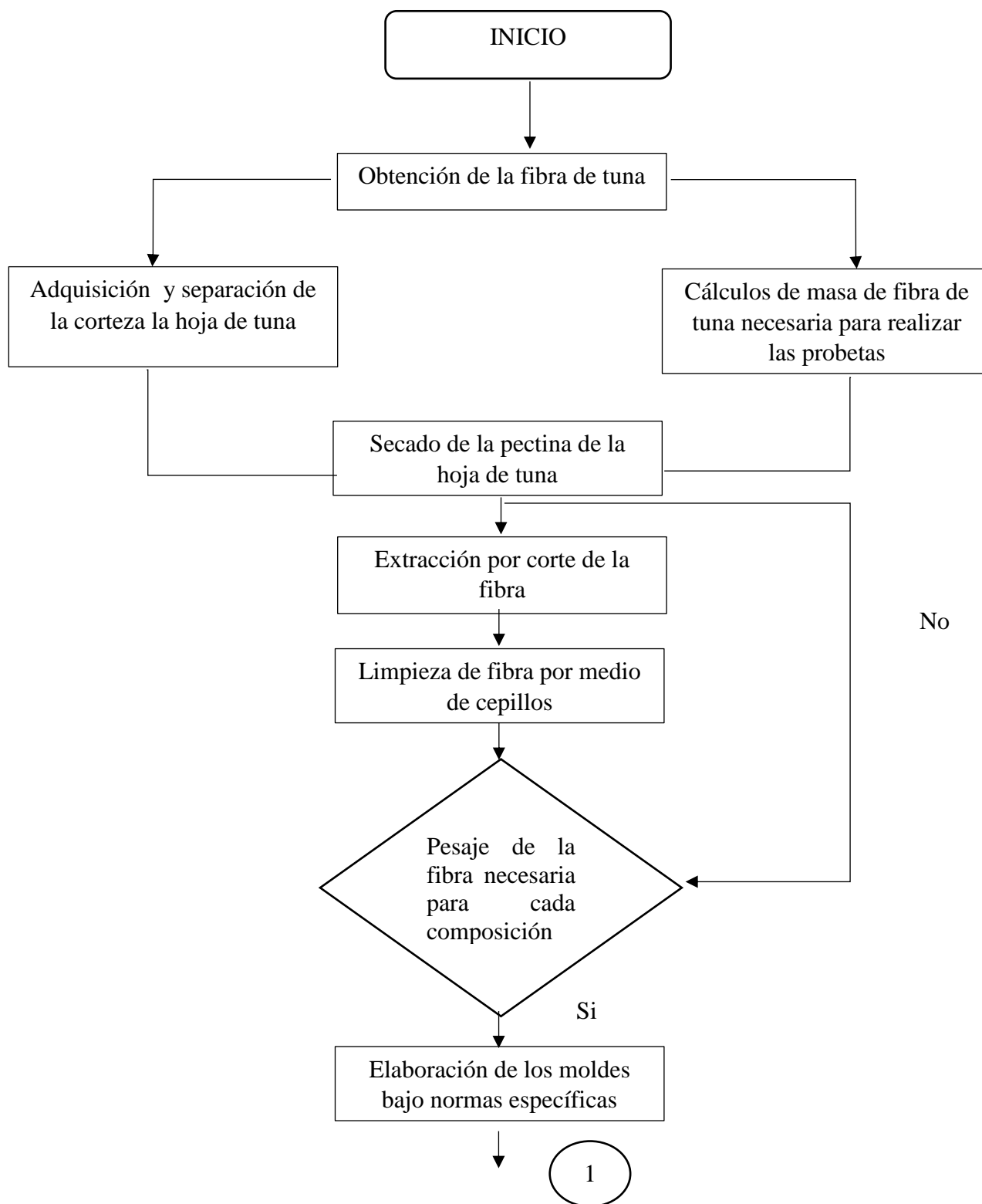
#### **3.5.2. Plan de análisis e interpretación de resultados**

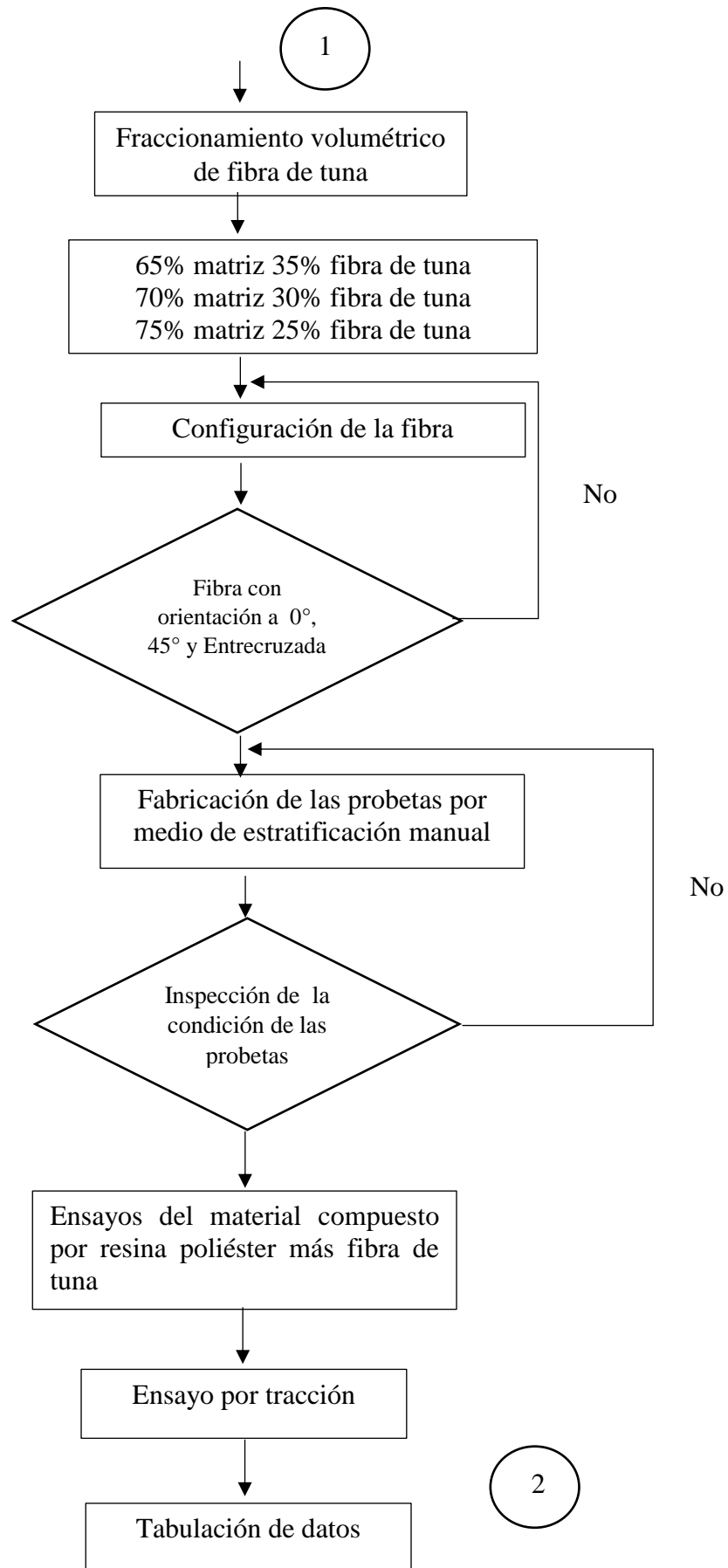
Una vez concluido el trabajo realizado en el laboratorio se procedió a la interpretación de resultados obtenidos de los diferentes ensayos (tracción, flexión e impacto), determinando así ya con datos reales la mejor configuración y fracción volumétrica.

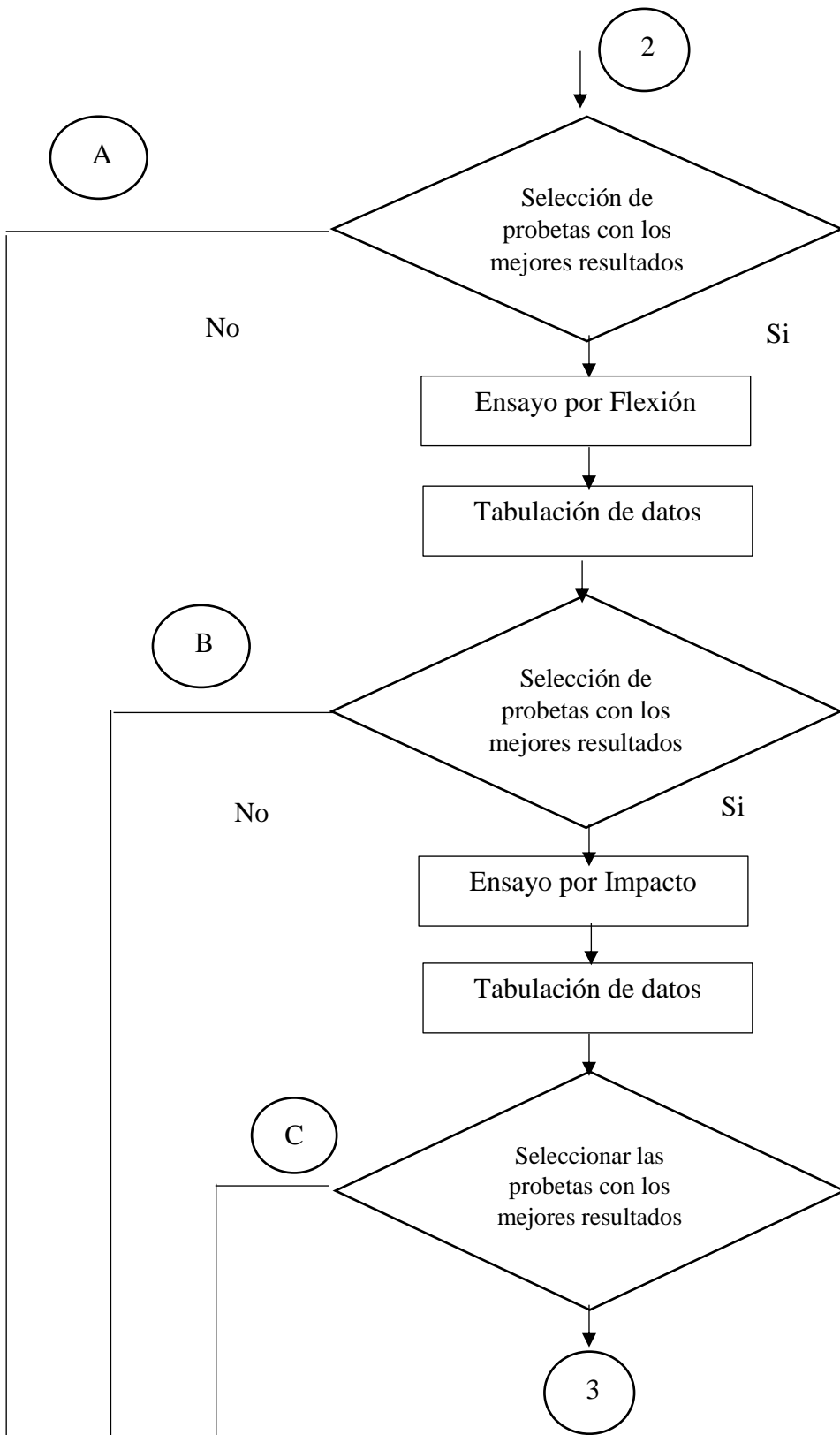
Por ser un nuevo material que en sí no existió mucha fuente de información para el desarrollo de esta investigación, se realizó un análisis global que determinó el tipo de configuración idónea para el uso industrial presentando mejores propiedades mecánicas, con el objetivo de poder comprobar la hipótesis propuesta.

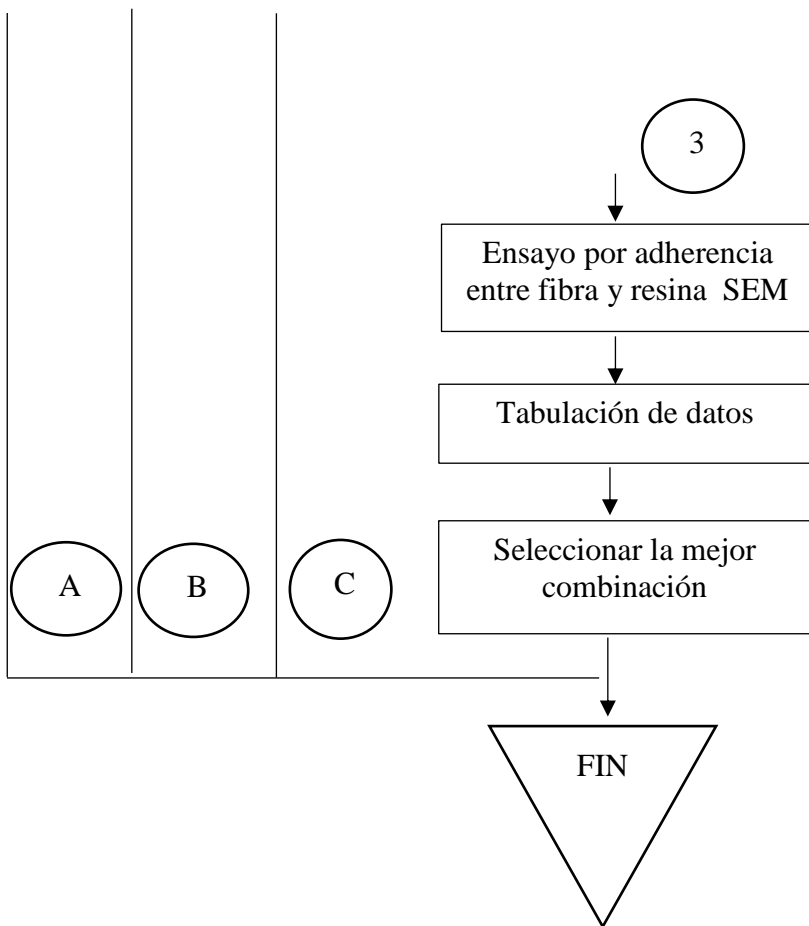
## CAPÍTULO IV

### 4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS









Fuente: El autor

## 4.1. PROCEDIMIENTO

### 4.1.1. Obtención de la materia prima

La planta de tuna se encuentra en terrenos silvestres por lo que la adquisición fue en Montalvo y en los sectores silvestres del cantón Ambato provincia de Tungurahua, este tipo de planta nos facilitaron los propietarios de los terrenos ya que varios cultivan el fruto, mas no utilizan las hojas de tuna.

En la empresa QUIVENSA fue adquirida la resina poliéster y catalizador, ubicada en la cdla. EL Recreo en el cantón Ambato provincia de Tungurahua.

### 4.1.2. Determinación de las propiedades físicas de la fibra de tuna

Se realizó mediante un trabajo experimental gravitatorio en el que se obtuvieron las propiedades, específicamente la densidad de la fibra de tuna.



**Figura 4.1** Proceso de obtención de la densidad de fibra de tuna

**Fuente:** El autor

- Se debe pesar la fibra de tuna libre de humedad
- En un vaso de precipitación colocar una cierta cantidad de resina poliéster sin catalizador en volúmenes diferentes
- Recortar en pequeñas longitudes la fibra
- Colocar la resina en el vaso de precipitación y adjuntar la fibra para medir el aumento de volumen y tomar una medición final.

Siguiendo este proceso existe un incremento de volumen en el vaso de precipitación, adquiriendo así valores para poder determinar la densidad de la fibra.

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Los resultados obtenidos en las pruebas se pueden observar en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Obtención de la densidad de la fibra de tuna

| <b>DENSIDAD DE LA FIBRA DE TUNA EN RESINA POLIÉSTER A<br/>TEMPERATURA AMBIENTE</b> |   |                               |              |           |   |
|--|---|-------------------------------|--------------|-----------|---|
| <b>Muestra</b>   | <b>Masa fibra<br/>de hoja de<br/>tuna (g)</b> | <b>Volumen cm<sup>3</sup></b> |              |           | <b>Densidad<br/><math>\frac{g}{cm^3}</math></b> |
|  |   | <b>Inicial</b>                | <b>Final</b> | <b>ΔV</b> |   |
| 1  | 28  | 100                           | 152          | 52        | 0.54  |
| 2  | 25  | 100                           | 146          | 46        | 0.54  |
| 3  | 22  | 100                           | 141          | 41        | 0.54  |
| 4  | 20  | 100                           | 138          | 38        | 0.53  |
| 5  | 15  | 100                           | 128          | 28        | 0.54  |
| <b>Densidad promedio</b>   |   |                               |              |           | <b>0.54</b>                                     |

**Fuente:** El autor

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

Las densidades que se obtuvieron acorde a la fibra colocada en la resina poliéster se realizó a temperatura ambiente en un trabajo experimental obteniendo una densidad promedio de  $0.54 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ .

#### 4.1.3. Estructuración de probetas

Las fracciones volumétricas establecidas serán hábiles para su configuración.

**Fracción 1:** 65% matriz, 35% refuerzo

**Fracción 2:** 70% matriz, 30% refuerzo

**Fracción 3:** 75% matriz, 25% refuerzo

El tipo de orientación estipulada es:

**Tipo I:** Fibra a  $0^\circ$

**Tipo II:** Fibra a  $45^\circ$

**Tipo III:** Entrecruzadas

La manera de hacer las probetas fue por:

- Estratificación manual

El número de probetas a ensayar por cada familia es de 5.

A continuación el detalle de cada familia:

**Tabla 4.2.** Detalle de familias de probetas a ensayar

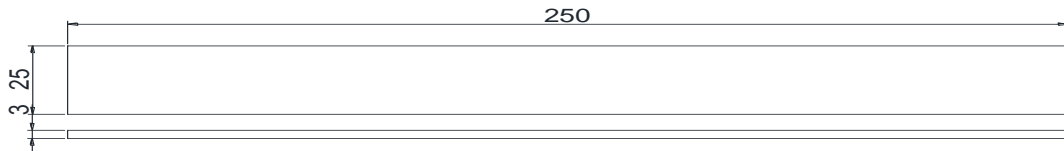
| #                            | Tipo de esfuerzo | Fracción Volumétrica | Tipo de Estratificación | Orden               | Número de probetas para ensayos mecánicos |         |         |
|------------------------------|------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|---|---------|---------|
|                              |                  |                      |                         |                     | Tracción                                  | Flexión | Impacto |
| 1                            | Tipo I           | Fracción 1           | Manual M                | I +Fracción 1 + M   | 5   | 5       | 5       |
| 2                            | Tipo I           | Fracción 2           | Manual M                | I +Fracción 2 + M   | 5   | 5       | 5       |
| 3                            | Tipo I           | Fracción 3           | Manual M                | I +Fracción 3 + M   | 5   | 5       | 5       |
| 4                            | Tipo II          | Fracción 1           | Manual M                | II +Fracción 1 + M  | 5   | 5       | 5       |
| 5                            | Tipo II          | Fracción 2           | Manual M                | II +Fracción 2 + M  | 5   | 5       | 5       |
| 6                            | Tipo II          | Fracción 3           | Manual M                | II +Fracción 3 + M  | 5   | 5       | 5       |
| 7                            | Tipo III         | Fracción 1           | Manual M                | III +Fracción 1 + M | 5   | 5       | 5       |
| 8                            | Tipo III         | Fracción 2           | Manual M                | III +Fracción 2 + M | 5   | 5       | 5       |
| 9                            | Tipo III         | Fracción 3           | Manual M                | III +Fracción 3 + M | 5   | 5       | 5       |
| Número de probetas a ensayar |                  |                      |                         |                     | 45  | 45      | 45      |
| <b>TOTAL</b>                 |                  |                      |                         |                     | 135                                       |         |         |

Fuente: El autor



#### 4.1.4. Probeta a tracción

Las dimensiones de las probetas se determinaron bajo la Norma ASTM 3039-00 que muestra en la figura 4.2.



**Figura 4.2** Dimensiones de probeta a Tracción

**Fuente:** El autor

Acorde a estas medidas obtenemos el área y el volumen de las probetas para ensayos a tracción.

- Cálculo de área en (mm)

$$A = l * a$$

$$A = (250 * 25) \text{ mm}^2$$

$$A = 6250 \text{ mm}^2 = 6.250 \text{ cm}^2$$

- Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

$$V = 6250 \text{ mm}^2 * 3 \text{ mm}^2$$

$$V = 18750 \text{ mm}^3 = 18.750 \text{ cm}^3$$

Donde:

A= Área de la probeta

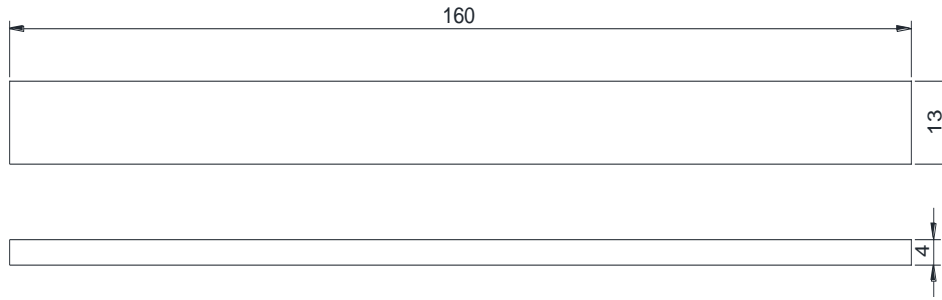
l= largo de la probeta

a=ancho de la probeta

V= Volumen de la probeta

#### 4.1.5. Probeta a flexión

Las dimensiones de las probetas se determinaron bajo la Norma ASTM 7264-07 que muestra en la figura 4.3.



**Figura 4.3** Dimensiones probeta a flexión

**Fuente:** El autor

Acorde a estas medidas obtenemos el área y el volumen de las probetas para ensayos a flexión.

- Cálculo de área en (mm)

$$A = l * a$$

$$A = (160 * 13) \text{ mm}^2$$

$$A = 2080 \text{ mm}^2 = 2.080 \text{ cm}^2$$

- Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

$$V = 2080 \text{ mm}^2 * 6 \text{ mm}^2$$

$$V = 12480 \text{ mm}^3 = 12.480 \text{ cm}^3$$

Donde:

A= Área de la probeta

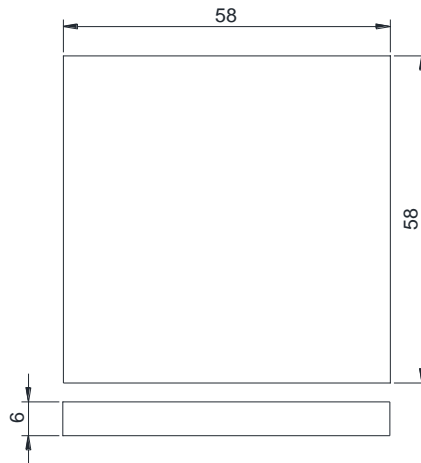
l= largo de la probeta

a=ancho de la probeta

V= Volumen de la probeta

#### 4.1.6. Probeta a impacto

Las dimensiones de las probetas se determinaron bajo la Norma ASTM D5628-10 que muestra en la figura 4.4.



**Figura 4.4.** Dimensiones probeta a impacto

**Fuente:** El autor

Este tipo de probeta se realizó en un molde que pueda sacar 5 probetas ya que son pequeñas y una vez realizado el moldeo final se procedió a cortar en la medida indicada en la norma.

- Cálculo de área en (mm)

$$A = l * a$$

$$A = (58 * 58) \text{ mm}^2$$

$$A = 3368 \text{ mm}^2 = 33.68 \text{ cm}^2$$

- Cálculo del volumen

$$V = A * e$$

$$V = 3364 \text{ mm}^2 * 6 \text{ mm}^2$$

$$V = 20184 \text{ mm}^3 = 20.184 \text{ cm}^3$$

Donde:

A= Área de la probeta

l= largo de la probeta

a=ancho de la probeta

V= Volumen de la probeta

## 4.2. Cálculos

Se procedió a los cálculos respectivos de masa, una vez obtenido los datos de los volúmenes de cada tipo de probeta.

Con la densidad obtenida de  $0.54 \frac{g}{cm^3}$  se procedió a obtener la masa para cada fracción volumétrica.

Para probetas a tracción el volumen total es de  $18750 mm^3 = 18.750 cm^3$

El número de probetas por cada configuración y tipo de fibra son:

- 15 probetas con una fracción volumétrica de 35% va  $6.56 cm^3$
- 15 probetas con una fracción volumétrica de 30% va  $5.63 cm^3$
- 15 probetas con una fracción volumétrica de 25% va  $4.68 cm^3$

Masa de fibra Tipo I:

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

$$m_I = \rho * v$$

$$m_I = 0.54 \frac{g}{cm^3} * 6.56 cm^3$$

$$m_I = 3.54 g$$

$$m_I = 3.54 g * 15$$

$$m_I = 53.1 g$$

Masa de fibra Tipo II:

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

$$m_{II} = \rho * v$$

$$m_{II} = 0.54 \frac{g}{cm^3} * 5.53 cm^3$$

$$m_{II} = 3.04 g$$

$$m_{II} = 3.04 g * 15$$

$$m_{II} = 45.6 g$$

Masa de fibra Tipo III:

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

$$m_{III} = \rho * v$$

$$m_{III} = 0.54 \frac{g}{cm^3} * 4.68 cm^3$$

$$m_{III} = 2.53 g$$

$$m_{III} = 2.53 g * 15$$

$$m_{III} = 37.95 g$$

Una vez obtenido la masa por cada tipo de fracción volumétrica la masa total en probetas a tracción:

$$m_T = m_I + m_{II} + m_{III}$$

$$m_T = 53.1 g + 45.6 g + 37.95 g$$

$$m_T = 136.65 g$$

Para probetas a flexión el volumen total es de  $12480 mm^3 = 12.480 cm^3$

El número de probetas por cada configuración y tipo de fibra son:

- 15 probetas con una fracción volumétrica de 35% va  $4.37 cm^3$
- 15 probetas con una fracción volumétrica de 30% va  $3.74 cm^3$
- 15 probetas con una fracción volumétrica de 25% va  $3.12 cm^3$

Masa de fibra Tipo I:

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

$$m_I = \rho * v$$

$$m_I = 0.54 \frac{g}{cm^3} * 4.37 cm^3$$

$$m_I = 2.36 g$$

$$m_I = 2.36 g * 15$$

$$m_I = 35.39 g$$

Masa de fibra Tipo II:

$$\rho \frac{m}{v}$$

$$m_{II} = \rho * v$$

$$m_{II} = 0.54 \frac{g}{cm^3} * 3.74 cm^3$$

$$m_{II} = 2.02 g$$

$$m_{II} = 2.02 g * 15$$

$$m_{II} = 30.29 g$$

Masa de fibra Tipo III:

$$\rho \frac{m}{v}$$

$$m_{III} = \rho * v$$

$$m_{III} = 0.54 \frac{g}{cm^3} * 3.12 cm^3$$

$$m_{III} = 1.68 g$$

$$m_{III} = 1.68 g * 15$$

$$m_{III} = 25.27 g$$

Una vez obtenido la masa por cada tipo de fracción volumétrica la masa total en probetas a flexión:

$$m_T = m_I + m_{II} + m_{III}$$

$$m_T = 35.39 g + 30.29 g + 25.27 g$$

$$m_T = 136.65 g$$

Para probetas a impacto el volumen total es de  $20184 mm^3 = 20.184 cm^3$

El número de probetas por cada configuración y tipo de fibra son:

- 15 probetas con una fracción volumétrica de 35% va  $7.06 cm^3$
- 15 probetas con una fracción volumétrica de 30% va  $6.06 cm^3$
- 15 probetas con una fracción volumétrica de 25% va  $5.04 cm^3$

Masa de fibra Tipo I:

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

$$m_I = \rho * v$$

$$m_I = 0.54 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 7.06 \text{ cm}^3$$

$$m_I = 3.81 \text{ g}$$

$$m_I = 3.81 \text{ g} * 15$$

$$m_I = 57.186 \text{ g}$$

Masa de fibra Tipo II:

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

$$m_{II} = \rho * v$$

$$m_{II} = 0.54 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 6.06 \text{ cm}^3$$

$$m_{II} = 3.27 \text{ g}$$

$$m_{II} = 3.27 \text{ g} * 15$$

$$m_{II} = 49.08 \text{ g}$$

Masa de fibra Tipo III:

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

$$m_{III} = \rho * v$$

$$m_{III} = 0.54 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 5.04 \text{ cm}^3$$

$$m_{III} = 2.72 \text{ g}$$

$$m_{III} = 2.72 \text{ g} * 15$$

$$m_{III} = 40.82 \text{ g}$$

Una vez obtenido la masa por cada tipo de fracción volumétrica la masa total en probetas a impacto:

$$m_T = m_I + m_{II} + m_{III}$$

$$m_T = 57.186 \text{ g} + 49.08 \text{ g} + 40.82 \text{ g}$$

$$m_T = 147.08 \text{ g}$$

### 4.3. Secado de la corteza de la tuna

El proceso de secado se realizó con varias hojas ya que al momento de iniciar con el secado no se contaba con un dato exacto de fibra para poder hacer uso en las probetas. Este tipo de hoja tiene diferente tamaño y grosor, de las hojas se extrajo una sustancia llamada pectina que es la parte neutra entre las cortezas siendo aquella que aporta con la mayor cantidad de humedad en la hoja de tuna.

De las hojas que se extrajo la pectina se pusieron a secar al medio ambiente en el periodo de un mes y medio en un techo de tol galvanizado expuesta al sol que ayudaría a secar de una mejor manera, como se puede observar en la figura 4.5.



**Figura 4.5** Secado de corteza de tuna

**Fuente:** El autor

Este proceso de secado se lo realizó de forma manual utilizando un cepillo de alambre eliminando así el mucílago que esta adherido a la fibra, esta saldrá en forma de polvo.



**Figura 4.6** limpieza de fibra

**Fuente:** El autor

Una vez realizado este proceso obtenemos la fibra de tuna, se procedió a realizar el pesaje para cada tipo de configuración.





**Figura 4.7.** Pesaje de fibra para cada composición de probetas

**Fuente:** El autor

#### **4.4. Construcción de moldes para probetas**

Los moldes se realizaron en acero A36 bajo las normas ASTM. Para tracción será estrictamente bajo la norma ASTM D-3039-00, las dimensiones que debe tener el molde (250\*25\*espesor) mm.



**Figura 4.8.** Molde para ensayos a tracción

**Fuente:** El autor

Para flexión será estrictamente bajo la norma ASTM D-7264-07, las dimensiones que debe tener el molde (160\*16\*espesor) mm.



**Figura 4.9.** Molde para ensayos a flexión

**Fuente:** El autor

Para impacto será estrictamente bajo la norma ASTM D-5628-10, las dimensiones que debe tener el molde (58\*58\*espesor) mm.



**Figura 4.10.** Molde para ensayos a impacto

**Fuente:** El autor

Al molde se le adjuntaría una platina de base sólida que se uniría al molde por juntas empernadas en los diferentes casos de ensayo.

#### **4.5. Elaboración de probetas**

##### **Fracciones volumétricas de fibra de tuna**

Las fracciones volumétricas que se propusieron a trabajar son las siguientes:

**Fracción 1:** 65% resina poliéster, 35% fibra de tuna

**Fracción 2:** 70% resina poliéster, 30% fibra de tuna

**Fracción 3:** 75% resina poliéster, 25% fibra de tuna

#### **4.6. Configuración de las fibras**

Como proyecto experimental se ha tomado la decisión de utilizar tres configuraciones.

Fibra a 0°



**Figura 4.11.** Fibra horizontal o cero grados

**Fuente:** El autor

Fibra inclinada a 45°



**Figura 4.12** Fibra a 45° o inclinada

**Fuente:** El autor

Fibra Entrecruzada



**Figura 4.13.** Fibra entrecruzada

**Fuente:** El autor

#### 4.7. Proceso de fabricación de probetas

**Tabla 4.3.** Proceso de fabricación de probetas a tracción, flexión e impacto

| <b>FABRICACIÓN DE PROBETAS</b>  |   |   |
|---|---|---|
| Tener una superficie totalmente lisa, limpia cualquier rugosidad.   |   |   |
|                                |  |  |
| <b>Tracción</b>   | <b>Flexión</b>  | <b>Impacto</b>  |
| Encerar el molde con cera desmoldante, esperar entre 10 a 15 minutos a que se seque la cera que se haya aplicado. |   |   |



**Tracción**

**Flexión**

**Impacto**

Realizar el pesaje de cada configuración y fracción volumétrica que fue calculada anteriormente.



**Tracción**

**Flexión**

**Impacto**

Preparar la mezcla de resina poliéster con el catalizador al 2%, obteniendo una sustancia homogénea de un color semejante a un verde olivo



**Tracción**

**Flexión**

**Impacto**

Colocar la fibra en el molde y posteriormente la resina teniendo presente en que no se produzca burbujas de aire.



**Tracción**

**Flexión**

**Impacto**

Esperar entre 15 a 20 minutos que se solidifique la resina y la fibra de tuna en el molde y realizar la posterior desmoldada con mucha precaución a tener algún desperfecto.



**Tracción**

**Flexión**

**Impacto**

Mantener a temperatura ambiente para un buen curado de la probeta.

Realizar un control minucioso de todas las probetas elaboradas que no tengan fallas e impidan tener excelentes resultados en los ensayos a realizar

Realizar el corte bajo la medida reglamentaria para ensayos a impacto.



**Tracción**



**Flexión**



**Impacto**

Los ensayos se realizaron en el Centro de Fomento Carrocero Metalmecánico del Ilustre Concejo Provincial de Tungurahua.

Este tipo de ensayo se realizó en el laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería mecánica

La máquina utilizada para los ensayos es la Metrotec MTE50 con los instrumentos para tracción y flexión

La máquina del laboratorio es utilizada con los instrumentos de impacto.



Fuente: El autor

#### 4.8. Ensayo de tracción

Este tipo de ensayo se rige bajo las características geométricas de la norma ASTM D3039-00 en la detalla cómo realizarlo, debe ser con un mínimo de 5 probetas por cada familia o estructuración elaborada con las dimensiones estandarizadas (250x25x3) mm, se realiza en la Máquina Universal Electromecánica Metrotec MTE-50.

##### 4.8.1. Esfuerzo máximo a tracción

Se caracterizan con el nuevo material compuesto 5 probetas dependiendo la configuración y la fracción volumétrica establecidas. El esfuerzo máximo se obtiene mediante la ecuación 4.1.

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec4.1})$$

Donde:

$\sigma_{\text{max}}$  = Esfuerzo máximo MPa

F = Carga máxima para producir la fractura (N)

A = Área en la sección transversal (mm<sup>2</sup>)

##### 4.8.2. Porcentaje de deformación

Se realiza la medición de alargamiento por medio del extensómetro, calculando por medio de la ecuación 4.2.

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad (\text{Ec 4.2})$$

Donde:

$\varepsilon_i$  = Deformación producida en el punto i por tracción

$\delta_i$  = Desplazamiento en el punto i por parte del extensómetro [mm]

$L_g$  = Longitud del extensómetro calibrada [mm]

##### 4.8.3. Módulo de elasticidad

Módulo de elasticidad o conocido también como módulo de Young, se lo calcula por medio de la siguiente ecuación 4.3.

$$E = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_i} \quad (\text{Ec 4.3})$$

$\sigma$  = esfuerzo máximo

$\varepsilon$  = elongación

E = Módulo de elasticidad

**Tabla 4.4.** Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a tracción reglamentadas por la norma ASTM-3039-00

| Nomenclatura establecida bajo la norma ASTM 3039-00 |        |                             |        |                        |        |
|---|--------|-----------------------------|--------|------------------------|--------|
| Primer Carácter                                     |        | Segundo Carácter            |        | Tercer Carácter        |        |
| Modo de fallo                                       | Código | Área de fallo               | Código | Localización del fallo | Código |
| Angular   | A      | Agarre interior/<br>pestaña | I      | Al fondo               | B      |
| De laminación<br>del borde                          | D      | Al agarre a la<br>pestaña   | A      | Parte superior         | T      |
| Agarre/pestaña                                      | G      | 1 W de agarre<br>de pestaña | W      | Izquierda              | L      |
| Lateral   | L      | Calibrar                    | G      | Derecha                | R      |
| Modo múltiple                                       | M(xyz) | Varias áreas                | M      | Medio                  | M      |
| División<br>longitudinal                            | S      | Varios                      | V      | Varios                 | V      |
| Explosivo   | X      | Desconocido                 | U      | Desconocido            | U      |
| Otro  | O      | -                           | -      | -                      | -      |

Fuente: ASTM D3039-00

#### 4.9. Ensayo de flexión

Este tipo de ensayo se rige bajo las características geométricas de la norma ASTM D7264-07 en la detalla cómo realizarlo, debe ser con un mínimo de 5 probetas por cada familia o estructuración elaborada con las dimensiones estandarizadas (160x13x3) mm, se realiza en la Máquina Universal Electromecánica Metrotec MTE-50.

##### 4.9.1. Esfuerzo máximo a flexión

Las probetas a ensayar son sometidas a una velocidad constante que al aplicar carga después de un tiempo determinado se espera la ruptura o el colapso, llegando a la carga máxima obteniendo así la deflexión máxima que soporta la probeta, dicho esfuerzo se puede obtener mediante la ecuación 4.4.

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

Donde:

$\sigma_{\max f}$  = Esfuerzo producido en la superficie externa dela probeta (MPa)

P = fuerza aplicada (N)

$l$  = longitud entre apoyos (mm)

$b$  = ancho de probeta (mm)

$h$  = espesor de la probeta (mm)

#### 4.9.2. Deformación de la ruptura

La deflexión máxima que se produce al momento del ensayo en la superficie externa se produce por medio de la ecuación 4.5.

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (\text{Ec 4.5})$$

Donde:

$\varepsilon$  = Deformación producida en la superficie externa

$\delta$  = Deflexión de viga en el centro

#### 4.9.3. Módulo de flexión

El módulo de flexión se obtiene en relación de la región elástica entre el esfuerzo máximo y la deflexión, como muestra la ecuación 4.6.

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta} \quad (\text{Ec 4.6})$$

Donde:

$E_f$  = Módulo de ruptura en flexión

$L$  = Longitud entre apoyos (mm)

$F$  = Fuerza aplicada (N)

$b$  = Ancho de probeta (mm)

$h$  = Espesor de probeta (mm)

$\delta$  = Deflexión de probeta (mm)



**Tabla 4.5.** Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a flexión reglamentadas por la norma ASTM-D7264-07

| Nomenclatura establecida bajo la norma ASTM D7264-07 |        |                                 |        |                        |        |
|--|--------|---------------------------------|--------|------------------------|--------|
| Primer Carácter                                      |        | Segundo Carácter                |        | Tercer Carácter        |        |
| Modo de fallo  | Código | Área de fallo                   | Código | Localización del fallo | Código |
| Tensión  | T      | Punto de carga                  | A      | Parte superior         | T      |
| Compresión   | C      | Entre el punto de carga         | B      | Fondo                  | B      |
| Pandeo   | B      | Entre el punto de carga         | S      | Parte izquierda        | L      |
| Cizallamiento interlaminar                           | S      | Entre el punto de carga y apoyo | L      | Parte derecha          | R      |
| Multimodo  | M(xyz) | Desconocido                     | U      | Mitad                  | M      |
|  | O      | -                               | -      | Varios                 | V      |
| -  | -      | -                               | -      | Desconocido            | U      |

Fuente: ASTM D7264-07

#### 4.10. Ensayo por impacto

Este tipo de ensayo se rige bajo las características geométricas de la norma ASTM D-5628 en la que consta el descenso de un dardo, pudiendo variar su masa y la altura hasta determinar una máxima altura en que las probetas se rompían, debe ser con un mínimo de 5 probetas por cada familia o estructuración elaborada con las dimensiones estandarizadas (58x58xe) mm basadas en la geometría FE, en esta ocasión se realizará en los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato, Carrera Ingeniería Mecánica.

La energía absorbida se determina con la ecuación 4.7.

$$MEF = hwf \quad (\text{Ec 4.7})$$

Donde:

MEF = Efecto producido por el impacto en la probeta

h = Altura con que se trabaja el ensayo

w = Masa

f = factor de conversión  $9.80665 \times 10^{-3}$

El análisis de caracterización del material se detalla a continuación en fichas técnicas, elaboradas por el autor, en base al desarrollo realizado y los resultados obtenidos.

**Tabla 4.6.** Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a impacto reglamentadas por la norma ASTM-D5628-10

| Geometría     | Dimensiones mm  |         |                     |
|---------------|---|---------|---------------------|
|               | Diámetro del dardo  | Probeta | Diámetro de probeta |
| FE            | 20 ±0.2   | 58X58Xe | 58                  |
| Tipo de falla | Carácter de falla   |         | Análisis            |
| A             | Fisura o grieta producida en la parte frontal de la probeta, puede contener agua                        |         | NO FALLA            |
| B             | Gritas que penetran la parte frontal y todo el espesor, es decir el agua penetra a través de la probeta |         | NO FALLA            |
| C             | Fracturado en varias partes   |         | FALLA               |
| D             | Atraviesa el espesor de la probeta, ruptura total   |         | FALLA               |

Fuente: El autor

#### 4.11. FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO

##### 4.11.1. FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR TRACCIÓN

**Tabla 4.7.** Ficha técnica de grupo 1 ensayado a tracción

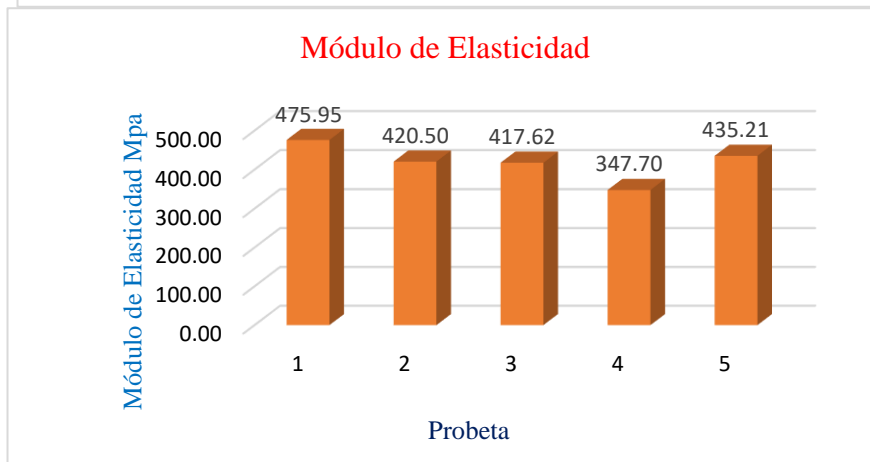
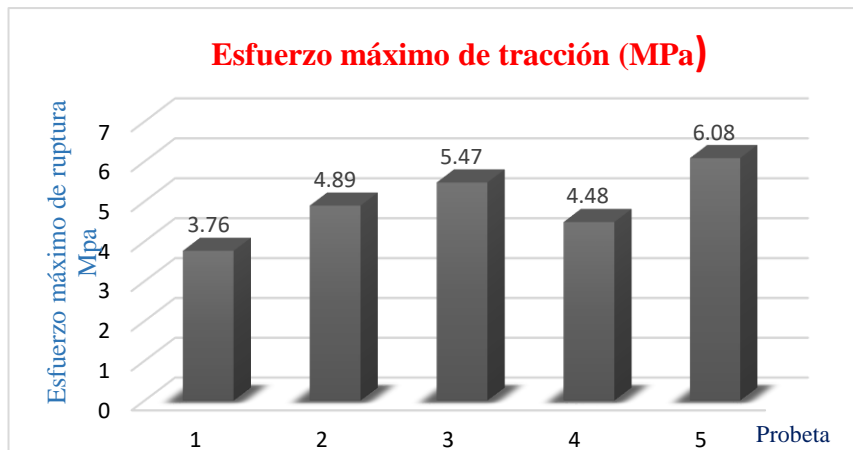
|  |  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |                    |  |  |
|---|--|--|--------------------|---|--|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS                            |  |  |                    |   |  |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |  |                    |   |  |
| Fecha:  | 02/08/2017   | Ciudad:  | Ambato             |   |  |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |  |                    |   |  |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |  |                    |   |  |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín |   |  |
| Parámetros de Ensayos a Tracción  |  |  |                    |   |  |
| Norma: ASTM- D3039-2015   |  |  |                    |   |  |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado  | Natural            |   |  |
| Orientación:  | 0°   | N° de probetas   | 5                  |   |  |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción   | Matriz             | 65%   |  |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  | Volumétrica  | Refuerzo           | 35%   |  |
| Temperatura:  | 15°C   | Dimensiones  | 250*25*espesor     |   |  |
| Humedad:  | 75%  | Promedio de espesor  | 5.0 mm             |   |  |
| RESULTADOS DEL ENSAYO   |  |  |                    |   |  |

| Probeta                       | Dimensiones mm |         | Carga Máxima (N) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|-------------------------------|----------------|---------|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
|                               | Ancho          | Espesor |                  |                           |                             |                          |               |
| 1                             | 25.51          | 4.66    | 446.52           | 3.76                      | 475.95                      | 0.79                     | LGM           |
| 2                             | 26.14          | 5.04    | 643.74           | 4.89                      | 420.50                      | 1.16                     | LGM           |
| 3                             | 25.52          | 4.43    | 618.5            | 5.47                      | 417.62                      | 1.31                     | LGM           |
| 4                             | 26.93          | 5.82    | 702.12           | 4.48                      | 347.70                      | 1.29                     | AGM           |
| 5                             | 26.45          | 5.41    | 869.37           | 6.08                      | 435.21                      | 1.40                     | AGM           |
| Promedio                      |                |         | 656.05           | 4.93                      | 419.40                      | 1.19                     | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |                |         | 152.56           | 0.89                      | 46.35                       | 0.24                     | -             |
| Coeficiente de variación CV   |                |         | 23.25            | 18.09                     | 11.05                       | 20.07                    | -             |

FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS



GRÁFICAS DE RESULTADOS



OBSERVACIONES

EVALUACIÓN

|   |                                |               |                    |
|---|--------------------------------|---------------|--------------------|
| <p>Se ensayaron 5 probetas de las cuales se descarta la primera probeta y se evalúan las 4 restantes.</p> <p>En su mayoría las fallas son por SGM haciendo referencia a una ruptura longitudinal en la zona calibrada de las probetas.</p> <p>El tipo de fallo por AGM hace referencia a una ruptura en la zona de calibración de la probeta en la parte media.</p> | <b>Valores Promedio</b>        |               |                    |
|   | Esfuerzo Máximo Promedio       | 5.23 MPa      |                    |
|   | Módulo de elasticidad promedio | 437.32 MPa    |                    |
| Revisado por:   | Ing. Segundo Espín             |               |                    |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas              | Aprobado por: | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

**Tabla 4.8.** Ficha técnica de grupo 2 ensayado a tracción

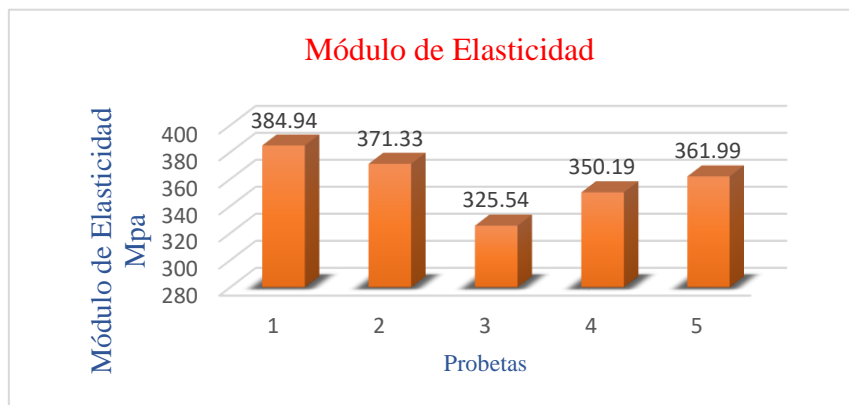
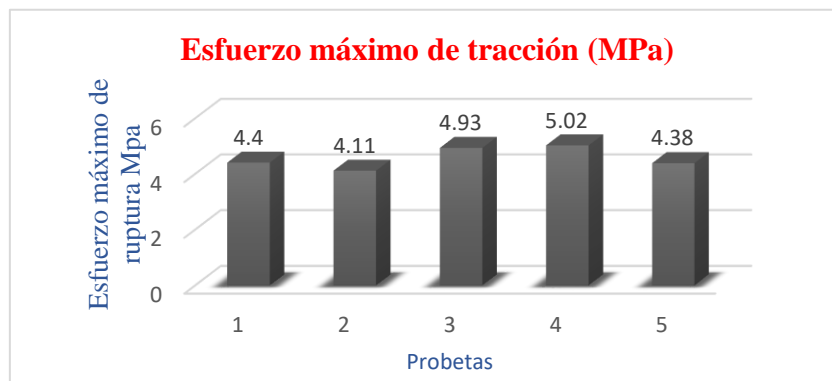
|   |  |   |                    |   |                             |                          |               |
|---|--|---|--------------------|---|-----------------------------|--------------------------|---------------|
|  |  | <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> |                    |  |                             |                          |               |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                   |  |   |                    |   |                             |                          |               |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |   |                    |   |                             |                          |               |
| Fecha:  | 02/08/2017   | Ciudad:   | Ambato             |   |                             |                          |               |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |   |                    |   |                             |                          |               |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |   |                    |   |                             |                          |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín |   |                             |                          |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Tracción</b>   |  |   |                    |   |                             |                          |               |
| Norma: ASTM- D3039-2015   |  |   |                    |   |                             |                          |               |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado   | Natural            |   |                             |                          |               |
| Orientación:  | 0°   | N° de probetas  | 5                  |   |                             |                          |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica  | Matriz             | 70%   |                             |                          |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |   | Refuerzo           | 30%   |                             |                          |               |
| Temperatura:  | 15°C   | Dimensiones   | 250*25*espesor     |   |                             |                          |               |
| Humedad:  | 75%  | Promedio de espesor   | 5.8 mm             |   |                             |                          |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |  |   |                    |   |                             |                          |               |
|   | Dimensiones mm   |   | Carga Máxima (N)   | Esfuerzo de ruptura (MPa)   | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|   | Ancho  | Espesor   |                    |   |                             |                          |               |
| 1   | 26.67  | 6   | 703.7              | 4.40  | 384.94                      | 1.14                     | LGM           |
| 2   | 26.8   | 6   | 661.1              | 4.11  | 371.33                      | 1.11                     | AGM           |
| 3   | 25.87  | 5.46  | 695.81             | 4.93  | 325.54                      | 1.51                     | LIT           |
| 4   | 26.25  | 6   | 790.48             | 5.02  | 350.19                      | 1.43                     | LGM           |
| 5   | 26.78  | 5.93  | 695.81             | 4.38  | 361.99                      | 1.21                     | AGM           |
| Promedio  |  |   | 709.38             | 4.57  | 358.80                      | 1.28                     | -             |

|                               |       |      |       |       |   |
|-------------------------------|-------|------|-------|-------|---|
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ | 48.24 | 0.39 | 22.53 | 0.18  | - |
| Coefficiente de variación CV  | 6.80  | 8.51 | 6.28  | 14.15 | - |

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS**




**GRÁFICAS DE RESULTADOS**

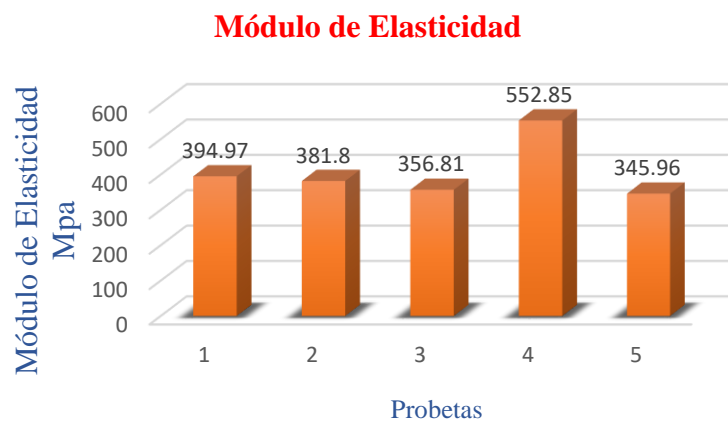
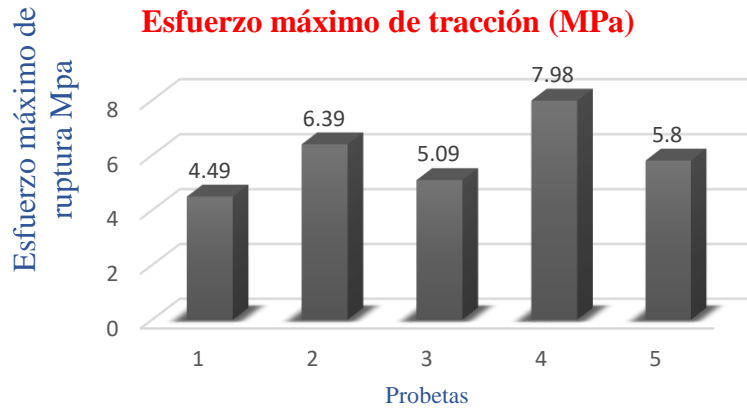


| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN              |                    |  |
|---|-------------------|-------------------------|--------------------|--|
| <p>Se ensayaron 5 probetas, de las cuales una se descarta y cuatro se reportan presentando la ruptura en la zona calibrada.</p> <p>El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta.</p> <p>El carácter LGM se produce en zona calibrada en la parte media lateral de la probeta.</p> |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |  |
|   |                   | Esfuerzo Máximo         | 4.61 MPa           |  |
|   |                   | Módulo de elasticidad   | 384.94 MPa         |  |
|   |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |  |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |  |

Fuente: El autor




**Tabla 4.9.** Ficha técnica de grupo 3 ensayado a tracción

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
|--|--|----------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| DATOS INFORMATIVOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:              | Ambato             |                           |                             |                          |               |
| Establecimiento:   | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:        | Ing. Segundo Espín |                           |                             |                          |               |
| Parámetros de Ensayos a Tracción   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Norma: ASTM- D3039-2015  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado      | Natural            |                           |                             |                          |               |
| Orientación:   | 0°   | N° de probetas       | 5                  |                           |                             |                          |               |
| Matriz   | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica | Matriz             | 75%                       |                             |                          |               |
| Refuerzo   | Fibra de tuna  |                      | Refuerzo           | 25%                       |                             |                          |               |
| Temperatura:   | 16°C   | Dimensiones          | 250*25* espesor    |                           |                             |                          |               |
| Humedad:   | 73%  | Promedio de espesor  | 5.14 mm            |                           |                             |                          |               |
| RESULTADOS DEL ENSAYO  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Probeta  | Dimensiones mm   |                      | Carga Máxima (N)   | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|  | Ancho  | Espesor              |                    |                           |                             |                          |               |
| 1  | 24.74  | 4.49                 | 498.59             | 4.49                      | 394.97                      | 1.14                     | LGM           |
| 2  | 26.45  | 5.56                 | 940.37             | 6.39                      | 381.80                      | 1.67                     | LAT           |
| 3  | 25.68  | 5.71                 | 746.3              | 5.09                      | 356.81                      | 1.43                     | AGM           |
| 4  | 25.19  | 4.7                  | 945.11             | 7.98                      | 552.85                      | 1.44                     | AGM           |
| 5  | 26.52  | 5.26                 | 809.41             | 5.80                      | 345.96                      | 1.68                     | LAT           |
| Promedio   |  |                      | 787.96             | 5.95                      | 406.47                      | 1.47                     | -             |
| Desviación Estándar  | $S_{n-1}$  |                      | 182.93             | 1.34                      | 84.10                       | 0.22                     | -             |
| Coefficiente de variación CV   |  |                      | 23.22              | 22.59                     | 20.69                       | 15.14                    | -             |
| FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
|    |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| GRÁFICAS DE RESULTADOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |

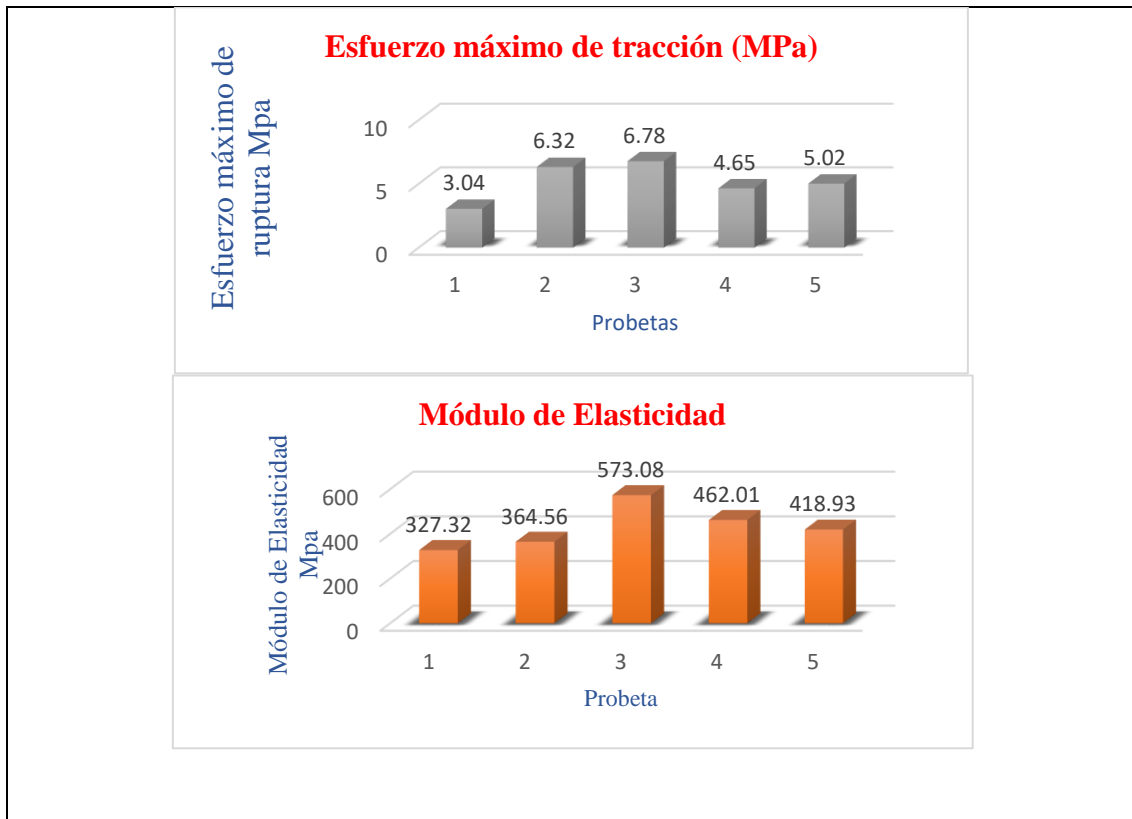


| OBSERVACIONES  |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|--|-------------------|-------------------------|--------------------|
| <p>Se ensayaron 5 probetas y se reportan todas presentando rupturas en la zona calibradas y el agarre</p> <p>El carácter LAT se produce en la parte superior del agarre de la probeta.</p> <p>El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta.</p> <p>El carácter LGM se produce en zona calibrada en la parte media lateral de la probeta.</p> |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|  |                   | Esfuerzo Máximo         | 5.95 MPa           |
|  |                   | Módulo de elasticidad   | 406.48 MPa         |
|  |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:   | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

**Tabla 4.10.** Ficha técnica de grupo 4 ensayado a tracción

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
|--|--|----------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| DATOS INFORMATIVOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:              | Ambato             |                           |                             |                          |               |
| Establecimiento:   | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:        | Ing. Segundo Espín |                           |                             |                          |               |
| Parámetros de Ensayos a Tracción   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Norma: ASTM- D3039-2015  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado      | Natural            |                           |                             |                          |               |
| Orientación:   | 45°  | N° de probetas       | 5                  |                           |                             |                          |               |
| Matriz   | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica | Matriz             | 65%                       |                             |                          |               |
| Refuerzo   | Fibra de tuna  |                      | Refuerzo           | 35%                       |                             |                          |               |
| Temperatura:   | 17°C   | Dimensiones          | 250*25* espesor    |                           |                             |                          |               |
| Humedad:   | 69%  | Promedio de espesor  | 4.8 mm             |                           |                             |                          |               |
| RESULTADOS DEL ENSAYO  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Probeta  | Dimensiones mm   |                      | Carga Máxima (N)   | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|  | Ancho  | Espesor              |                    |                           |                             |                          |               |
| 1  | 26.02  | 5.37                 | 424.43             | 3.04                      | 327.32                      | 0.93                     | AGM           |
| 2  | 27.01  | 5.16                 | 880.42             | 6.32                      | 364.56                      | 1.73                     | AGM           |
| 3  | 25.18  | 4.3                  | 733.68             | 6.78                      | 573.08                      | 1.18                     | AGM           |
| 4  | 25.99  | 4.65                 | 561.7              | 4.65                      | 462.01                      | 1.01                     | AGM           |
| 5  | 26.45  | 4.53                 | 601.74             | 5.02                      | 418.93                      | 1.20                     | AGM           |
| Promedio   |  |                      | 95.98              | 3.92                      | 427.06                      | 1.21                     | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$  |  |                      | 38.96              | 0.72                      | 191.09                      | 0.31                     | -             |
| Coeficiente de variación CV  |  |                      | 40.59              | 18.38                     | 44.74                       | 26.00                    | -             |
| FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
|    |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| GRÁFICAS DE RESULTADOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |







| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|---|-------------------|-------------------------|--------------------|
| <p>Se ensayan cinco probetas pero descartan dos y tres se reportan en los resultados.<br/>           La rotura se produce en el la zona calibrada.<br/>           El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta.</p> |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|   |                   | Esfuerzo Máximo         | 5.7 MPa            |
|   |                   | Módulo de elasticidad   | 484.67 MPa         |
|   |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

Tabla 4.11. Ficha técnica de grupo 5 ensayado a tracción

|   |  |   |        |
|---|--|---|--------|
|  | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE IGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |        |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |  |   |        |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |   |        |
| Fecha:  | 02/08/2017   | Ciudad:   | Ambato |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero   |   |        |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50  |   |        |

|                |               |               |                    |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|
| Elaborado por: | Daniel Vargas | Revisado por: | Ing. Segundo Espín |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|

### Parámetros de Ensayos a Tracción

Norma: ASTM- D3039-2015

|                 |                  |                      |                 |     |
|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|-----|
| Estratificación | Manual           | Forma de secado      | Natural         |     |
| Orientación:    | 45°              | N° de probetas       | 5               |     |
| Matriz          | Resina Poliéster | Fracción Volumétrica | Matriz          | 70% |
| Refuerzo        | Fibra de tuna    |                      | Refuerzo        | 30% |
| Temperatura:    | 16°C             | Dimensiones          | 250*25* espesor |     |
| Humedad:        | 68%              | Promedio de espesor  | 4.7 mm          |     |

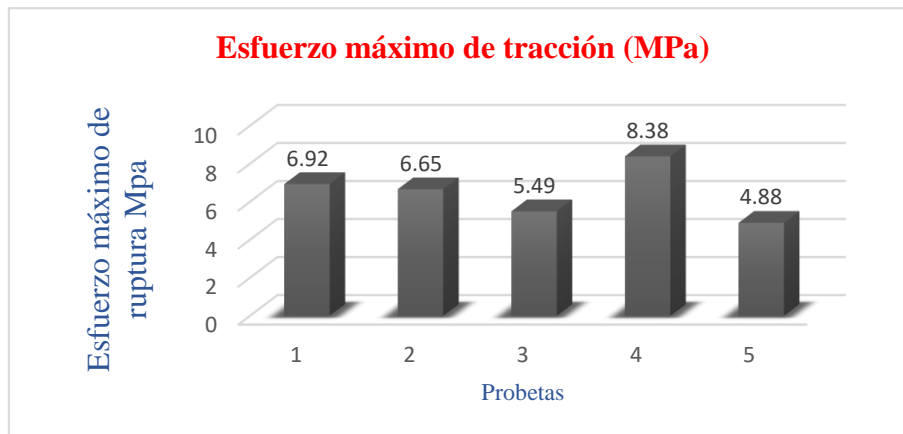
### RESULTADOS DEL ENSAYO

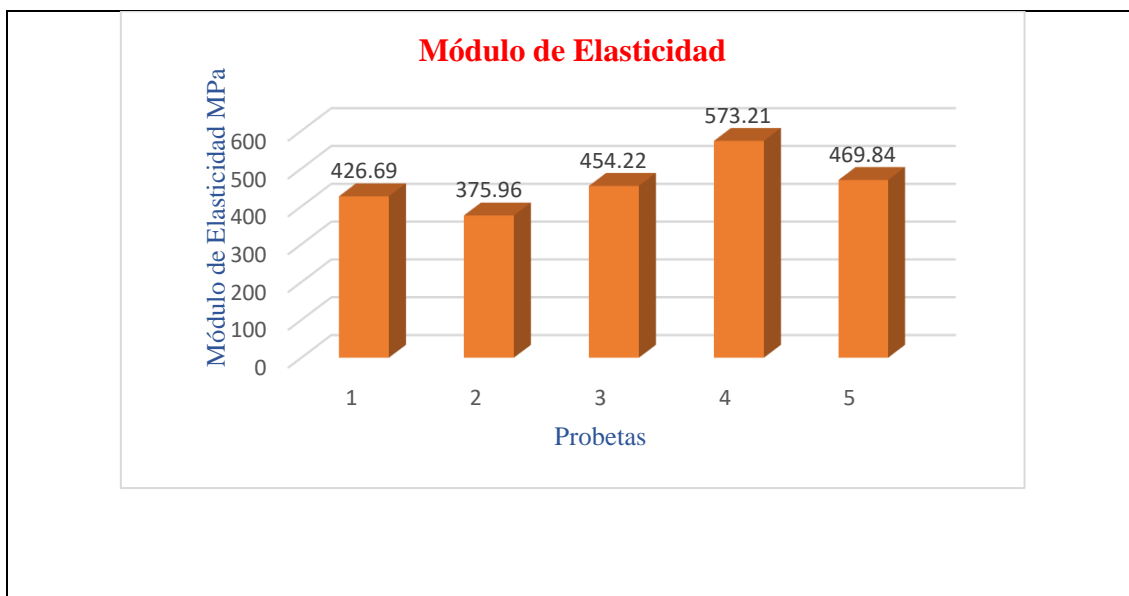
| Probeta                       | Dimensiones mm |         | Carga Máxima (N) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|-------------------------------|----------------|---------|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
|                               | Ancho          | Espesor |                  |                           |                             |                          |               |
| 1                             | 24.77          | 4.87    | 834.66           | 6.92                      | 426.69                      | 1.62                     | AGM           |
| 2                             | 25.67          | 4.84    | 826.77           | 6.65                      | 375.96                      | 1.77                     | SGM           |
| 3                             | 25.72          | 4.79    | 676.88           | 5.49                      | 454.22                      | 1.21                     | AGM           |
| 4                             | 25.47          | 4.62    | 986.13           | 8.38                      | 573.21                      | 1.46                     | AGM           |
| 5                             | 25.25          | 4.94    | 609.03           | 4.88                      | 469.84                      | 1.04                     | SGM           |
| Promedio                      |                |         | 127.83           | 3.92                      | 295.66                      | 1.42                     | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |                |         | 43.83            | 0.72                      | 81.08                       | 0.30                     | -             |
| Coefficiente de variación CV  |                |         | 34.29            | 18.38                     | 27.42                       | 20.95                    | -             |

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS



### GRÁFICAS DE RESULTADOS





| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN            |                    |
|---|-------------------|-----------------------|--------------------|
| Se ensayaron 5 probetas y se reportan todas presentando rupturas en la zona calibradas<br>El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta. |                   | Valores promedio      |                    |
|   |                   | Esfuerzo Máximo       | 6.86 MPa           |
|   |                   | Módulo de elasticidad | 459.98 MPa         |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Revisado por:         | Ing. Segundo Espín |
|   |                   | Aprobado por:         | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

Tabla 4.12. Ficha técnica de grupo 6 ensayado a tracción

|   |  |   |                    |
|---|--|---|--------------------|
|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE IGENIERÍA MECÁNICA |  |  |                    |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>   |  |   |                    |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |   |                    |
| Fecha:  | 02/08/2017   | Ciudad:   | Ambato             |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |   |                    |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |   |                    |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín |
| <b>Parámetros de Ensayos a Tracción</b>   |  |   |                    |
| Norma: ASTM- D3039-2015   |  |   |                    |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado   | Natural            |
| Orientación:  | 45°  | N° de probetas  | 5                  |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica  | Matriz 75%         |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |   | Refuerzo 25%       |
| Temperatura:  | 16°C   | Dimensiones   | 250*25* espesor    |

|          |     |                     |        |
|----------|-----|---------------------|--------|
| Humedad: | 73% | Promedio de espesor | 5.6 mm |
|----------|-----|---------------------|--------|

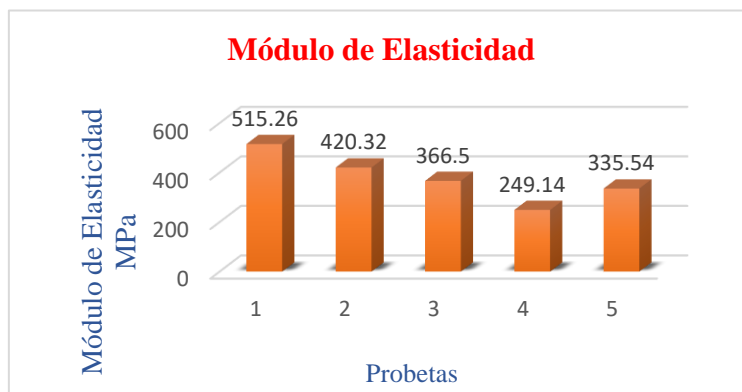
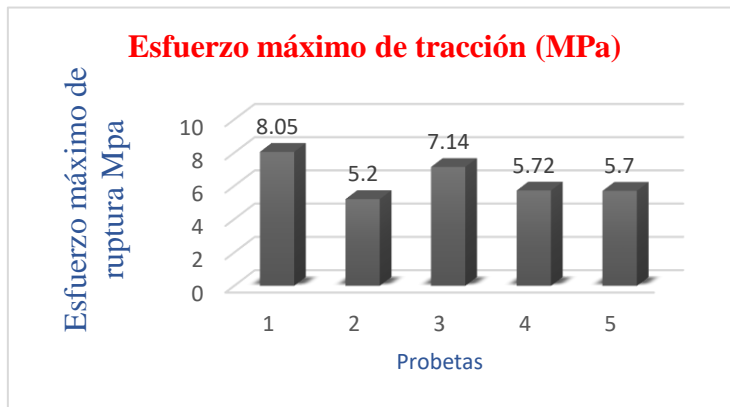
**RESULTADOS DEL ENSAYO**

| Probeta                       | Dimensiones mm |         | Carga Máxima (N) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|-------------------------------|----------------|---------|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
|                               | Ancho          | Espesor |                  |                           |                             |                          |               |
| 1                             | 25.48          | 5.52    | 1132.86          | 8.05                      | 515.26                      | 1.56                     | LGM           |
| 2                             | 25.55          | 6.28    | 834.66           | 5.20                      | 420.32                      | 1.24                     | LAT           |
| 3                             | 24.25          | 5.41    | 937.22           | 7.14                      | 366.50                      | 1.95                     | LAT           |
| 4                             | 24.46          | 5.41    | 757.35           | 5.72                      | 249.14                      | 2.30                     | SGM           |
| 5                             | 25.74          | 5.53    | 810.99           | 5.70                      | 335.54                      | 1.70                     | AGM           |
| Promedio                      |                |         | 894.62           | 6.36                      | 337.35                      | 1.75                     | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |                |         | 148.33           | 1.19                      | 98.95                       | 0.40                     | -             |
| Coeficiente de variación CV   |                |         | 16.58            | 18.71                     | 26.22                       | 22.86                    | -             |

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS**



**GRÁFICAS DE RESULTADOS**



OBSERVACIONES

EVALUACIÓN

Valores promedio

|   |                       |                    |                    |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------|
| <p>Se descartan dos probetas y tres se reportan, presentando rupturas en la zona calibra y en el agarre.</p> <p>Se ensayaron 5 probetas y se reportan todas presentando rupturas en la zona calibradas y ael agarre</p> <p>El carácter LAT se produce en la parte superior del agarre de la probeta.</p> <p>El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta.</p> | Esfuerzo Máximo       | 6.79MPa            |                    |
|   | Módulo de elasticidad | 434.03 MPa         |                    |
|   | Revisado por:         | Ing. Segundo Espín |                    |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas     | Aprobado por:      | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

Tabla 4.13. Ficha técnica de grupo 7 ensayado a tracción

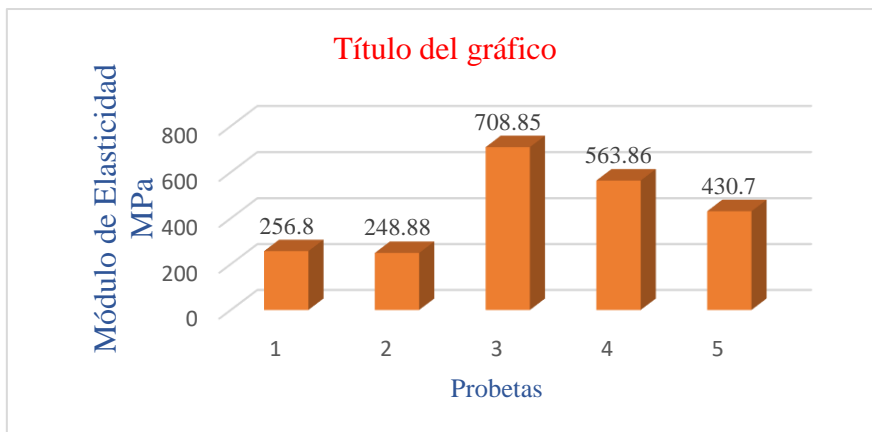
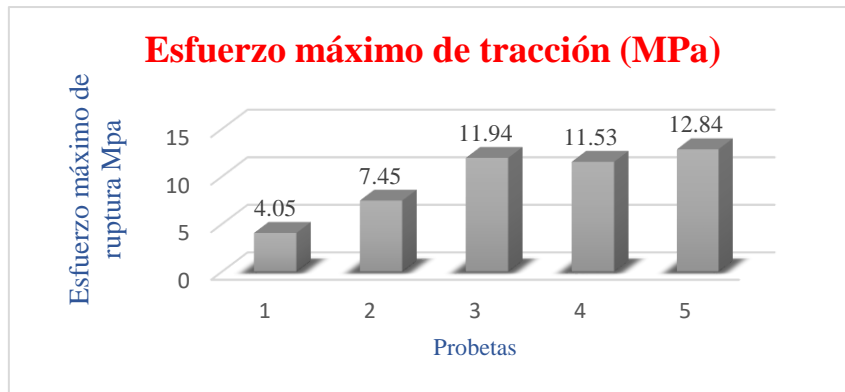
|  |  | <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>CARRERA DE IGENIERÍA MECÁNICA</p> |                    |  |                             |                          |               |
|---|--|--|--------------------|---|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                   |  |  |                    |   |                             |                          |               |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |  |                    |   |                             |                          |               |
| Fecha:  | 02/08/2017   | Ciudad:  | Ambato             |   |                             |                          |               |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |  |                    |   |                             |                          |               |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |  |                    |   |                             |                          |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín |   |                             |                          |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Tracción</b>   |  |  |                    |   |                             |                          |               |
| Norma: ASTM- D3039-2015   |  |  |                    |   |                             |                          |               |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado  | Natural            |   |                             |                          |               |
| Orientación:  | Entrecruzada   | Nº de probetas   | 5                  |   |                             |                          |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica   | Matriz             | 65%   |                             |                          |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |  | Refuerzo           | 35%   |                             |                          |               |
| Temperatura:  | 18°C   | Dimensiones  | 250*25* espesor    |   |                             |                          |               |
| Humedad:  | 67%  | Promedio de espesor  | 4.86 mm            |   |                             |                          |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |  |  |                    |   |                             |                          |               |
| Probeta   | Dimensiones mm   |  | Carga Máxima (N)   | Esfuerzo de ruptura (MPa)   | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|   | Ancho  | Espesor  |                    |   |                             |                          |               |
| 1   | 25.16  | 6.62   | 675.3              | 4.05  | 256.80                      | 1.58                     | LGM           |
| 2   | 25.59  | 7.66   | 1461.05            | 7.45  | 248.88                      | 3.07                     | AGM           |
| 3   | 16.77  | 3.49   | 698.97             | 11.94   | 708.85                      | 1.68                     | AGM           |
| 4   | 21.72  | 3.87   | 968.77             | 11.53   | 563.86                      | 2.04                     | SGM           |
| 5   | 21.87  | 4.44   | 1246.47            | 12.84   | 430.70                      | 2.98                     | AGM           |
| Promedio  |  |  | 1010.11            | 9.56  | 440.62                      | 2.27                     | -             |

|                               |        |       |        |       |   |
|-------------------------------|--------|-------|--------|-------|---|
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ | 342.72 | 3.71  | 200.07 | 0.70  | - |
| Coefficiente de variación CV  | 33.93  | 38.79 | 45.41  | 31.24 | - |

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS**






**GRÁFICAS DE RESULTADOS**

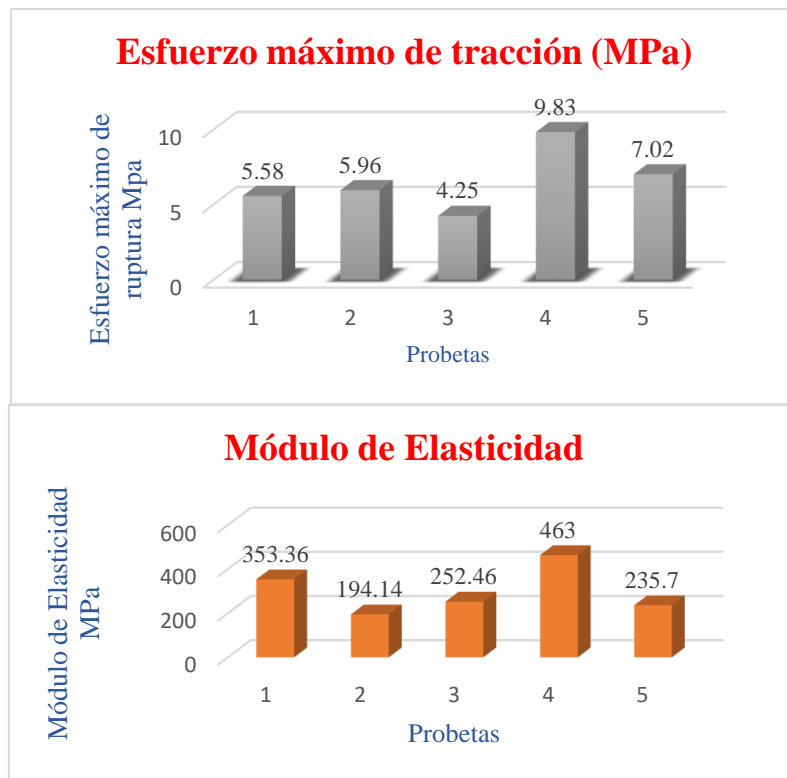


| OBSERVACIONES  |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|--|-------------------|-------------------------|--------------------|
| Se ensayaron 5 probetas, se descarta una y se reportan todas presentando rupturas en la zona calibradas.<br>El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta.<br>El carácter LGM se produce en zona calibrada en la parte media lateral de la probeta. |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|  |                   | Esfuerzo Máximo         | 10.94 MPa          |
|  |                   | Módulo de elasticidad   | 441.81 MPa         |
|  |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:   | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

**Tabla 4.14.** Ficha técnica de grupo 8 ensayado a tracción


|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
|--|--|----------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| DATOS INFORMATIVOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:              | Ambato             |                           |                             |                          |               |
| Establecimiento:   | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:        | Ing. Segundo Espín |                           |                             |                          |               |
| Parámetros de Ensayos a Tracción   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Norma: ASTM- D3039-2015  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado      | Natural            |                           |                             |                          |               |
| Orientación:   | Entrecruzada   | N° de probetas       | 5                  |                           |                             |                          |               |
| Matriz   | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica | Matriz             | 70%                       |                             |                          |               |
| Refuerzo   | Fibra de tuna  |                      | Refuerzo           | 30%                       |                             |                          |               |
| Temperatura:   | 18°C   | Dimensiones          | 250*25* espesor    |                           |                             |                          |               |
| Humedad:   | 65%  | Promedio de espesor  | 6.8 mm             |                           |                             |                          |               |
| RESULTADOS DEL ENSAYO  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| Probeta  | Dimensiones mm   |                      | Carga Máxima (N)   | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|  | Ancho  | Espesor              |                    |                           |                             |                          |               |
| 1  | 25.75  | 8.6                  | 1235.42            | 5.58                      | 353.36                      | 1.58                     | SGM           |
| 2  | 26.4   | 6.38                 | 1003.48            | 5.96                      | 194.14                      | 3.07                     | LAT           |
| 3  | 25.3   | 6.29                 | 676.88             | 4.25                      | 252.46                      | 1.68                     | AGM           |
| 4  | 25.7   | 7.66                 | 1935.97            | 9.83                      | 463.00                      | 2.12                     | AGM           |
| 5  | 24.81  | 7.17                 | 1249.62            | 7.02                      | 235.70                      | 2.98                     | SGM           |
| Promedio   |  |                      | 1220.27            | 6.53                      | 299.73                      | 2.29                     | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$  |  |                      | 462.49             | 2.10                      | 108.42                      | 0.70                     | -             |
| Coeficiente de variación CV  |  |                      | 37.90              | 32.10                     | 36.17                       | 30.78                    | -             |
| FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
|    |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
| GRÁFICAS DE RESULTADOS   |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |
|  |  |                      |                    |                           |                             |                          |               |



| OBSERVACIONES  |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|--|-------------------|-------------------------|--------------------|
| <p>Se descarta una probeta y tres se reportan, presentando rupturas en la zona calibra y en el agarre.</p> <p>El carácter LAT se produce en la parte superior del agarre de la probeta.</p> <p>El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta.</p> |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|  |                   | Esfuerzo Máximo         | 7.09 MPa           |
|  |                   | Módulo de elasticidad   | 350.7 MPa          |
|  |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:   | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

Tabla 4.15. Ficha técnica de grupo 9 ensayado a tracción

|   |   |   |        |
|---|---|---|--------|
|  | <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> |  |        |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |   |   |        |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |   |   |        |
| Fecha:  | 02/08/2017  | Ciudad:   | Ambato |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero  |   |        |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50   |   |        |



|                |               |               |                    |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|
| Elaborado por: | Daniel Vargas | Revisado por: | Ing. Segundo Espín |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|

### Parámetros de Ensayos a Tracción

Norma: ASTM- D3039-2015

|                 |                  |                      |                 |     |
|-----------------|------------------|----------------------|-----------------|-----|
| Estratificación | Manual           | Forma de secado      | Natural         |     |
| Orientación:    | Entrecruzada     | N° de probetas       | 5               |     |
| Matriz          | Resina Poliéster | Fracción Volumétrica | Matriz          | 75% |
| Refuerzo        | Fibra de tuna    |                      | Refuerzo        | 25% |
| Temperatura:    | 18°C             | Dimensiones          | 250*25* espesor |     |
| Humedad:        | 65%              | Promedio de espesor  | 6.47 mm         |     |

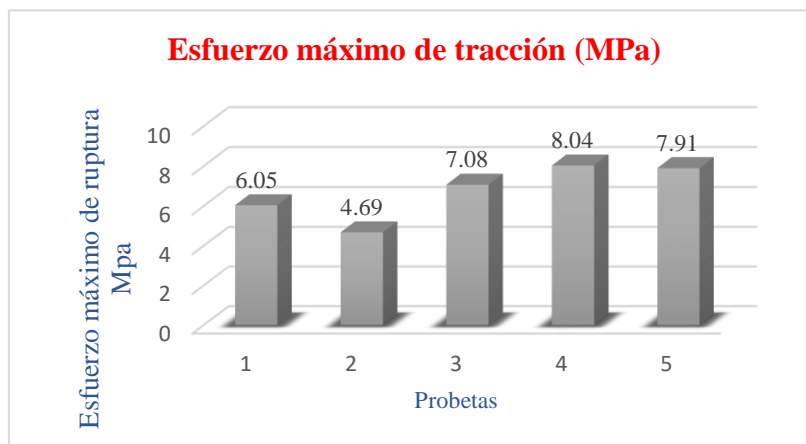
### RESULTADOS DEL ENSAYO

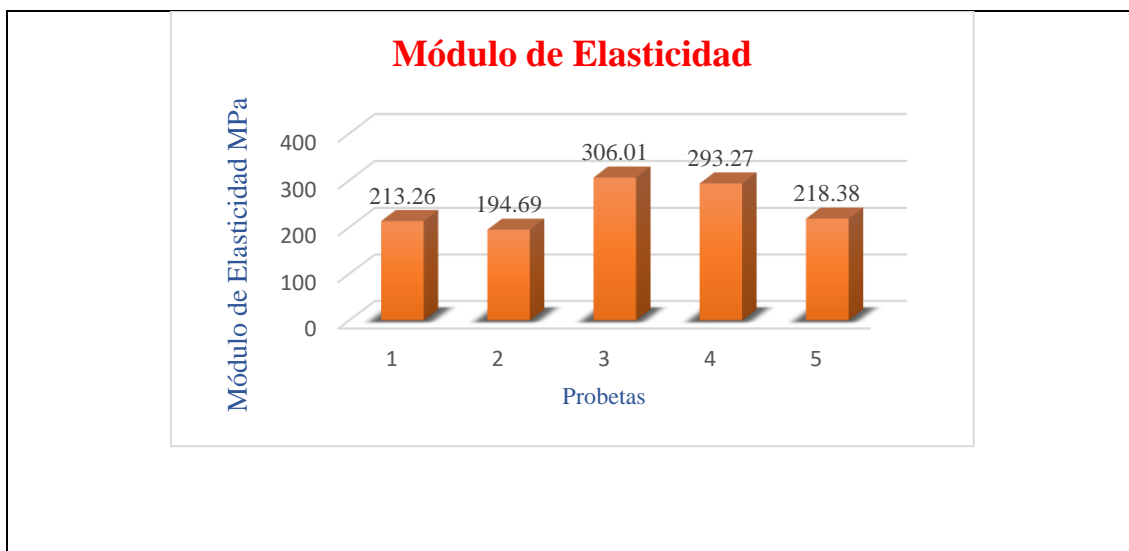
| Probeta                       | Dimensiones mm |         | Carga Máxima (N) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (MPa) | Deformación a la Ruptura | Tipo de falla |
|-------------------------------|----------------|---------|------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
|                               | Ancho          | Espesor |                  |                           |                             |                          |               |
| 1                             | 26.63          | 7.76    | 1249.62          | 6.05                      | 213.26                      | 2.84                     | LAT           |
| 2                             | 24.85          | 5.09    | 687.92           | 4.69                      | 194.69                      | 2.41                     | AGM           |
| 3                             | 27.23          | 6.17    | 1189.67          | 7.08                      | 306.01                      | 2.31                     | SGM           |
| 4                             | 25.48          | 7.05    | 1443.69          | 8.04                      | 293.27                      | 2.74                     | SGM           |
| 5                             | 26.09          | 7.57    | 1562.03          | 7.91                      | 218.38                      | 3.62                     | SGM           |
| Promedio                      |                |         | 1226.59          | 6.75                      | 245.12                      | 2.78                     | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |                |         | 336.05           | 1.40                      | 50.74                       | 0.52                     | -             |
| Coefficiente de variación CV  |                |         | 27.40            | 20.73                     | 20.70                       | 18.55                    | -             |

### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS



### GRÁFICAS DE RESULTADOS





| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|---|-------------------|-------------------------|--------------------|
| Se ensayaron 5 probetas y se reportan todas presentando rupturas en la zona calibradas.<br>El carácter LAT se produce en la parte superior del agarre de la probeta.<br>El carácter AGM se produce en zona calibrada en la parte media de la probeta. |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|   |                   | Esfuerzo Máximo         | 6.75 MPa           |
|   |                   | Módulo de elasticidad   | 272.6 MPa          |
|   |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

#### 4.11.2. FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR FLEXIÓN

Tabla 4.16. Ficha técnica de grupo1 ensayado a flexión

|  |  |                 |                    |
|--|--|-----------------|--------------------|
|  <div style="text-align: center;"> <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br/> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br/> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> </div>  |  |                 |                    |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>  |  |                 |                    |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>  |  |                 |                    |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:         | Ambato             |
| Establecimiento :  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |                 |                    |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |                 |                    |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín |
| <b>Parámetros de Ensayos a Flexión</b>   |  |                 |                    |
| Norma: ASTM- D7264-2015  |  |                 |                    |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado | Natural            |

|              |                  |                      |                 |     |
|--------------|------------------|----------------------|-----------------|-----|
| Orientación: | 0°               | N° de probetas       | 5               |     |
| Matriz       | Resina Poliéster | Fracción Volumétrica | Matriz          | 65% |
| Refuerzo     | Fibra de tuna    |                      | Refuerzo        | 35% |
| Temperatura: | 11°C             | Dimensiones          | 160*13* espesor |     |
| Humedad:     | 92%              | Promedio de espesor  | 6.7 mm          |     |

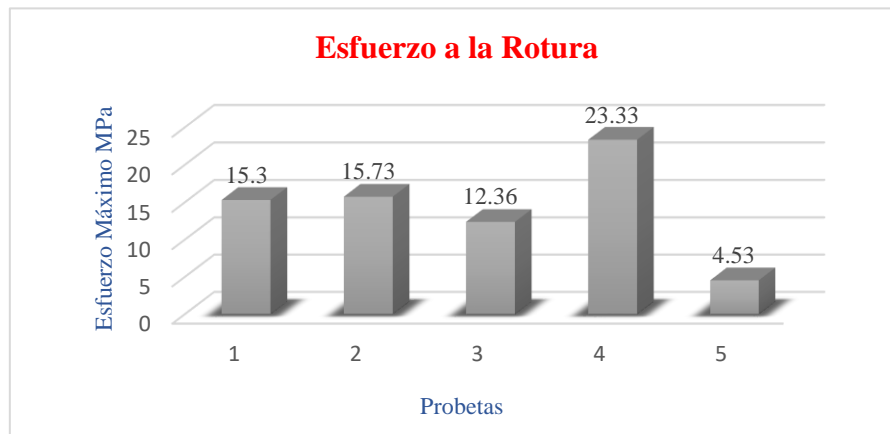
### RESULTADOS DEL ENSAYO

| Probeta                       | Dimensiones mm |         | Carga Máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|-------------------------------|----------------|---------|------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
|                               | Ancho          | Espesor |                  |                |                           |                             |                              |               |
| 1                             | 13.20          | 6.75    | 43.81            | 2.612          | 15.30                     | 2834.26                     | 0.54                         | OBB           |
| 2                             | 13.21          | 6.78    | 45.49            | 2.552          | 15.73                     | 2970.08                     | 0.53                         | OBB           |
| 3                             | 13.22          | 6.73    | 35.25            | 1.388          | 12.36                     | 4323.32                     | 0.29                         | OBV           |
| 4                             | 13.20          | 6.75    | 66.81            | 4.079          | 23.33                     | 2767.75                     | 0.84                         | OBV           |
| 5                             | 13.22          | 6.82    | 13.26            | 1.293          | 4.53                      | 1677.59                     | 0.27                         | OAB           |
| Promedio                      |                |         | 40.92            | 2.38           | 14.25                     | 2914.60                     | 0.49                         | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |                |         | 19.34            | 1.13           | 6.78                      | 941.51                      | 0.23                         | -             |
| Coeficiente de variación CV   |                |         | 47.27            | 47.51          | 47.57                     | 32.30                       | 47.35                        | -             |

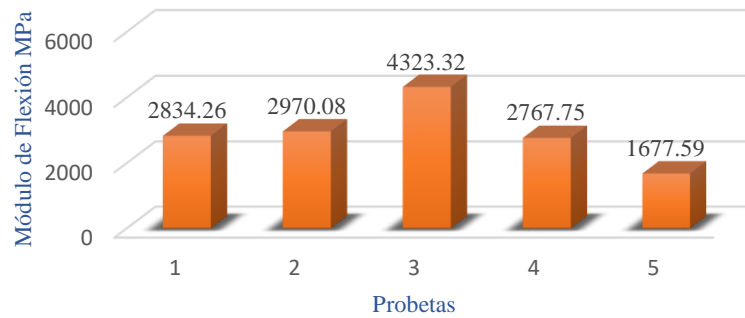
### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS



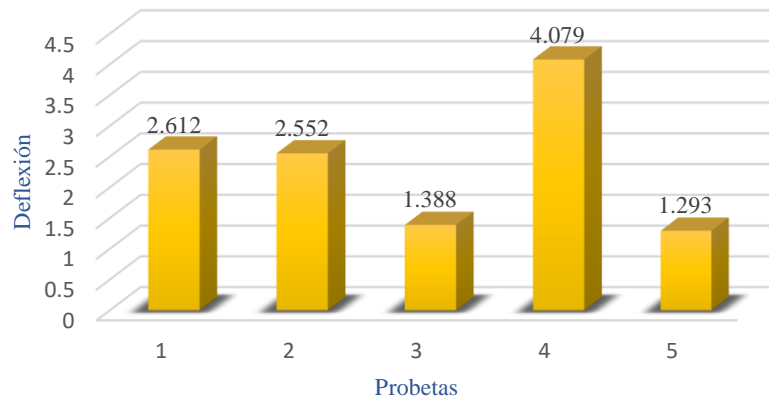
### GRÁFICAS DE RESULTADOS



### Módulo de Flexión






### Deflexión



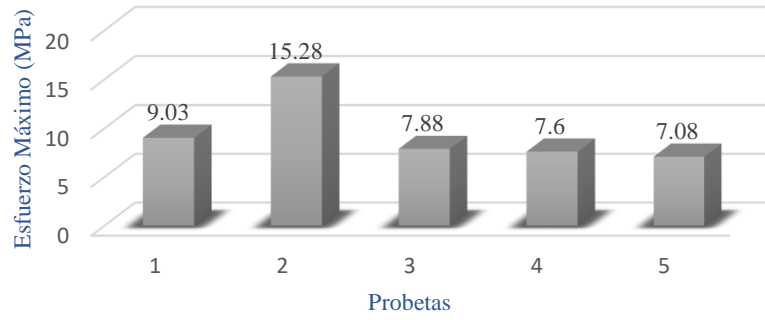
| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN         |                    |
|---|-------------------|--------------------|--------------------|
| El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.         | Valores promedio  |                    |                    |
|   | Esfuerzo Máximo   | 16.58 MPa          |                    |
| El carácter OAV está en el área del punto de carga ubicado en varios puntos de la probeta produciendo la falla. | Módulo de flexión | 3223.85 MPa        |                    |
|   | Revisado por:     | Ing. Segundo Espín |                    |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:      | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

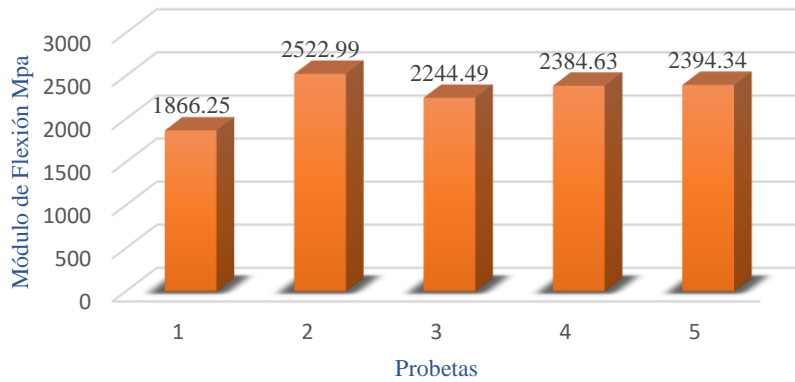
**Tabla 4.17.** Ficha técnica de grupo 2 ensayado a flexión

| <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> </div>  </div> |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
|---|--|---------|----------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS  |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| Fecha:  | 02/08/2017   |         | Ciudad:              | Ambato             |                           |                             |                              |               |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  |         | Revisado por:        | Ing. Segundo Espín |                           |                             |                              |               |
| Parámetros de Ensayos a Flexión   |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| Norma: ASTM- D7264-2015   |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| Estratificación   | Manual   |         | Forma de secado      | Natural            |                           |                             |                              |               |
| Orientación:  | 0°   |         | N° de probetas       | 5                  |                           |                             |                              |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   |         | Fracción Volumétrica | Matriz             | 70%                       |                             |                              |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |         |                      | Refuerzo           | 30%                       |                             |                              |               |
| Temperatura:  | 11°C   |         | Dimensiones          | 160*13* espesor    |                           |                             |                              |               |
| Humedad:  | 92%  |         | Promedio de espesor  | 6.4 mm             |                           |                             |                              |               |
| RESULTADOS DEL ENSAYO   |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| Probeta   | Dimensiones mm   |         | Carga Máxima (N)     | Deflexión (mm)     | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|   | Ancho  | Espesor |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| 1   | 13.40  | 6.06    | 21.15                | 2.607              | 9.03                      | 1866.25                     | 0.48                         | OAV           |
| 2   | 13.38  | 6.13    | 36.59                | 3.228              | 15.28                     | 2522.99                     | 0.61                         | OBB           |
| 3   | 13.52  | 6.88    | 24.00                | 1.666              | 7.88                      | 2244.49                     | 0.35                         | OAV           |
| 4   | 12.80  | 6.34    | 18.63                | 1.643              | 7.60                      | 2384.63                     | 0.32                         | OAB           |
| 5   | 13.42  | 6.67    | 20.14                | 1.449              | 7.08                      | 2394.34                     | 0.30                         | OAB           |
| Promedio  |  |         | 24.10                | 2.12               | 9.37                      | 2282.54                     | 0.41                         | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$   |  |         | 7.25                 | 0.77               | 3.38                      | 252.72                      | 0.13                         | -             |
| Coeficiente de variación CV   |  |         | 30.09                | 36.17              | 36.04                     | 11.07                       | 31.85                        | -             |
| FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS  |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
|   |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |
| GRÁFICAS DE RESULTADOS  |  |         |                      |                    |                           |                             |                              |               |

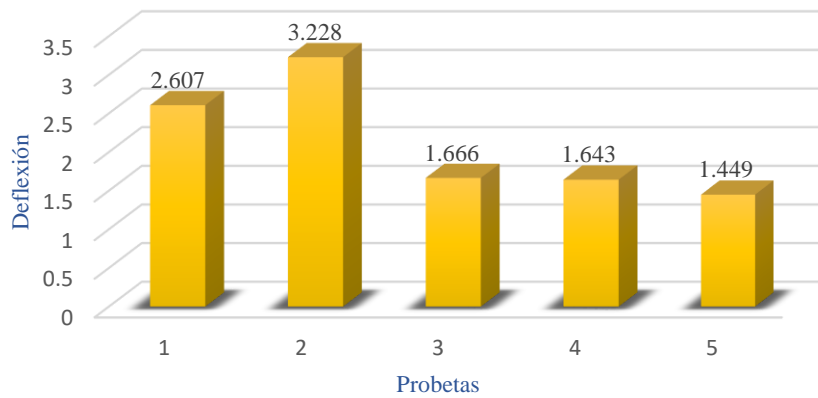
### Esfuerzo a la Rotura



### Módulo de Flexión



### Deflexión





| OBSERVACIONES  | EVALUACIÓN       |          |
|--|------------------|----------|
| El carácter OAA está en el área del punto de carga de la probeta produciendo la falla. | Valores promedio |          |
|  | Esfuerzo Máximo  | 9.37 MPa |

|  |                   |                                  |
|--|-------------------|----------------------------------|
| El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.<br>El carácter OAV está en el área del punto de carga ubicado en varios puntos de la probeta produciendo la falla. | Módulo de flexión | 2433.99 MPa                      |
|  | Revisado por:     | Ing. Segundo Espín               |
| Elaborado por:   | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por: Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

Tabla 4.18. Ficha técnica de grupo 3 ensayado a flexión

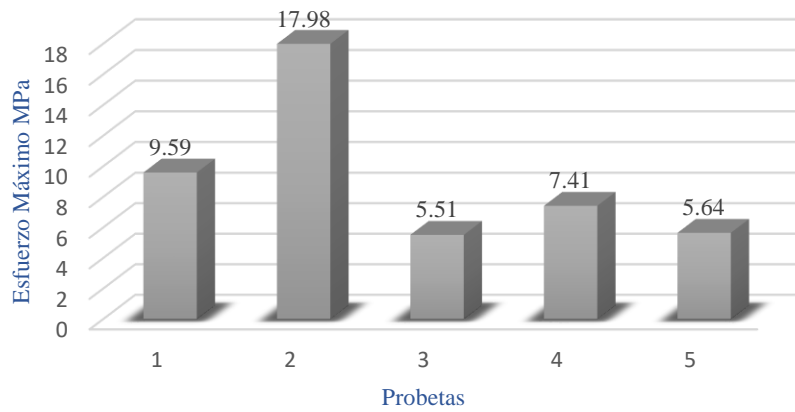
|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
|--|--|---------------------|--------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:             | Ambato             |                |                           |                             |                              |               |
| Establecimiento :  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:       | Ing. Segundo Espín |                |                           |                             |                              |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Flexión</b>   |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Norma: ASTM- D7264-2015  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado     | Natural            |                |                           |                             |                              |               |
| Orientación:   | 0°   | N° de probetas      | 5                  |                |                           |                             |                              |               |
| Matriz   | Resina Poliéster   | Fracción            | Matriz             | 75%            |                           |                             |                              |               |
| Refuerzo   | Fibra de tuna  | Volumétrica         | Refuerzo           | 25%            |                           |                             |                              |               |
| Temperatura:   | 12°C   | Dimensiones         | 160*13* espesor    |                |                           |                             |                              |               |
| Humedad:   | 85%  | Promedio de espesor | 6.2 mm             |                |                           |                             |                              |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>   |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Probeta  | Dimensiones mm   |                     | Carga Máxima (N)   | Deflexión (mm) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|  | Ancho  | Espesor             |                    |                |                           |                             |                              |               |
| 1  | 12.83  | 6.51                | 24.84              | 2.639          | 9.59                      | 1824.18                     | 0.53                         | OAB           |
| 2  | 13.21  | 6.20                | 43.47              | 3.563          | 17.98                     | 2658.40                     | 0.68                         | OBV           |
| 3  | 13.40  | 6.37                | 14.27              | 1.015          | 5.51                      | 2784.58                     | 0.20                         | OAV           |
| 4  | 12.82  | 6.15                | 17.12              | 1.657          | 7.41                      | 2376.80                     | 0.31                         | OAB           |
| 5  | 13.31  | 6.17                | 13.60              | 1.139          | 5.64                      | 2620.03                     | 0.22                         | OAB           |
| Promedio   |  |                     | 22.66              | 2.00           | 9.23                      | 2452.79                     | 0.39                         | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$  |  |                     | 12.46              | 1.08           | 5.16                      | 381.20                      | 0.21                         | -             |
| Coeficiente de variación CV  |  |                     | 54.99              | 54.02          | 55.97                     | 15.54                       | 54.09                        | -             |

## FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS

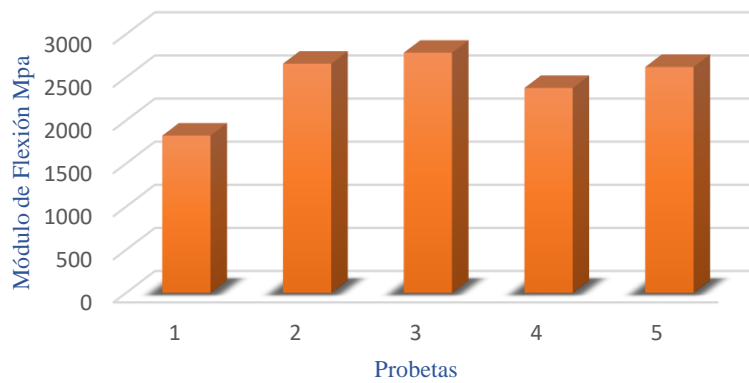


## GRÁFICAS DE RESULTADOS

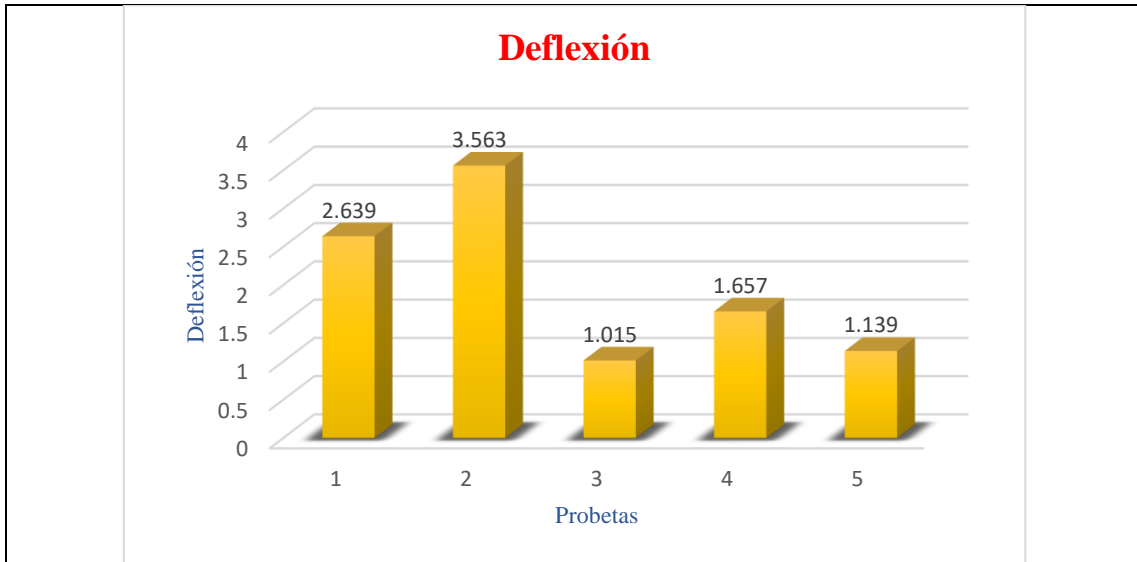
### Esfuerzo a la Rotura



### Módulo de Flexión







| OBSERVACIONES  |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|--|-------------------|-------------------------|--------------------|
| <p>El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.</p> <p>El carácter OAV está en el área del punto de carga ubicado en varios puntos de la probeta produciendo la falla.</p> <p>El carácter OBV está en el fondo en varios puntos de la probeta produciendo la falla.</p> |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|  |                   | Esfuerzo Máximo         | 9.23 MPa           |
|  |                   | Módulo de flexión       | 2452.80 MPa        |
|  |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:   | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

**Tabla 4.19.** Ficha técnica de grupo 4 ensayado a flexión

|   |   |   |                    |
|---|---|---|--------------------|
|  | <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> |  |                    |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |   |   |                    |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |   |   |                    |
| Fecha:  | 02/08/2017  | Ciudad:   | Ambato             |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero  |   |                    |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50   |   |                    |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas   | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín |
| <b>Parámetros de Ensayos a Flexión</b>  |   |   |                    |

| Norma: ASTM- D7264-2015 |                  |                     |                 |     |
|-------------------------|------------------|---------------------|-----------------|-----|
| Estratificación         | Manual           | Forma de secado     | Natural         |     |
| Orientación:            | 45°              | N° de probetas      | 5               |     |
| Matriz                  | Resina Poliéster | Fracción            | Matriz          | 65% |
| Refuerzo                | Fibra de tuna    | Volumétrica         | Refuerzo        | 35% |
| Temperatura:            | 12°C             | Dimensiones         | 160*13* espesor |     |
| Humedad:                | 85%              | Promedio de espesor | 6.9 mm          |     |

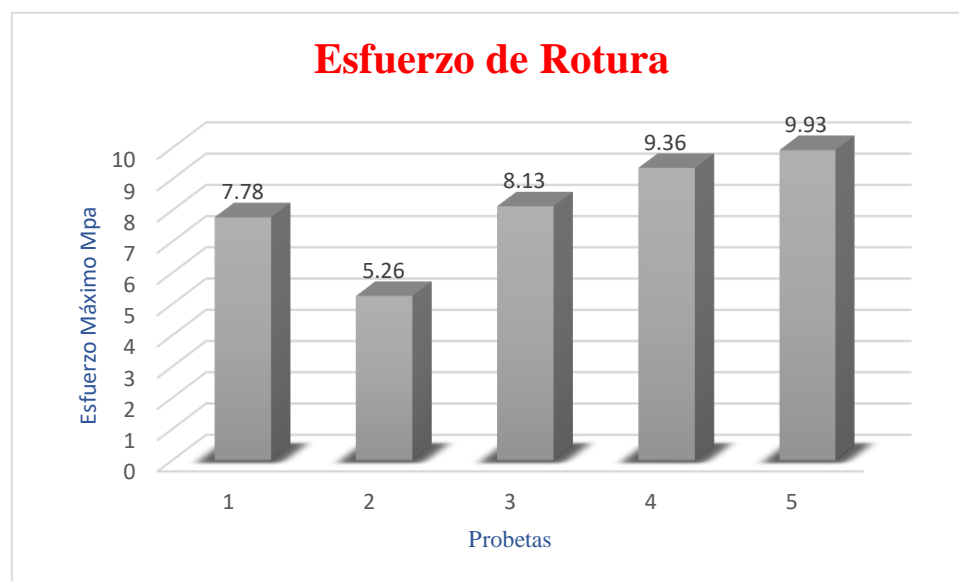
### RESULTADOS DEL ENSAYO

| Probeta                       | Dimensiones mm |         | Carga Máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|-------------------------------|----------------|---------|------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
|                               | Ancho          | Espesor |                  |                |                           |                             |                              |               |
| 1                             | 13.46          | 7.18    | 44.98            | 7.971          | 7.78                      | 776.98                      | 1.75                         | OBB           |
| 2                             | 13.50          | 7.72    | 35.25            | 1.565          | 5.26                      | 2487.62                     | 0.37                         | OBB           |
| 3                             | 12.75          | 6.31    | 34.41            | 1.972          | 8.13                      | 3736.83                     | 0.38                         | OAB           |
| 4                             | 13.56          | 6.62    | 46.33            | 4.729          | 9.36                      | 1708.38                     | 0.96                         | OAB           |
| 5                             | 13.02          | 7.56    | 61.60            | 4.962          | 9.93                      | 1513.81                     | 1.15                         | OBB           |
| Promedio                      |                |         | 44.51            | 4.24           | 8.09                      | 2044.72                     | 0.92                         | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |                |         | 10.99            | 2.60           | 1.81                      | 1124.89                     | 0.58                         | -             |
| Coeficiente de variación CV   |                |         | 24.69            | 61.26          | 22.38                     | 55.01                       | 62.76                        | -             |

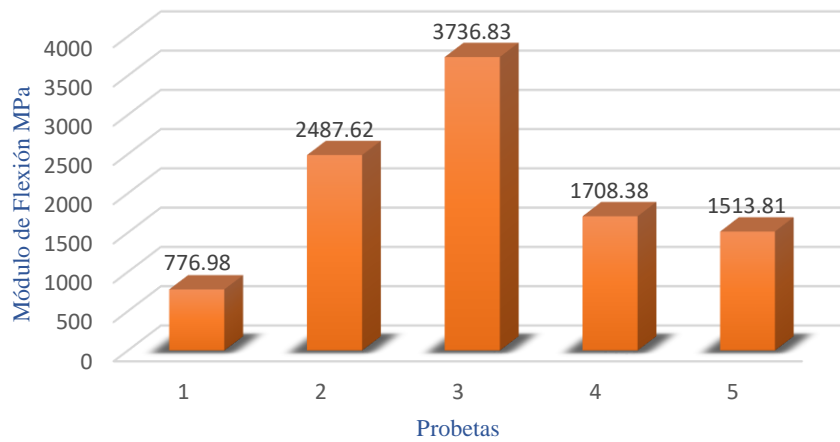
### FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS



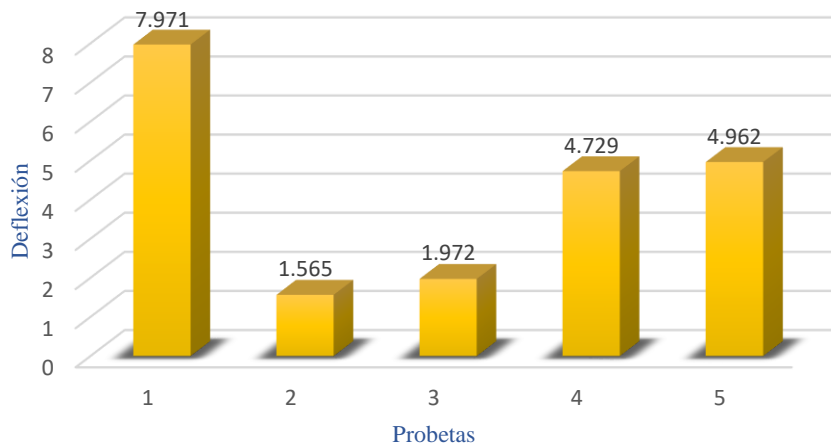
### GRÁFICAS DE RESULTADOS



### Módulo de Flexión






### Deflexión



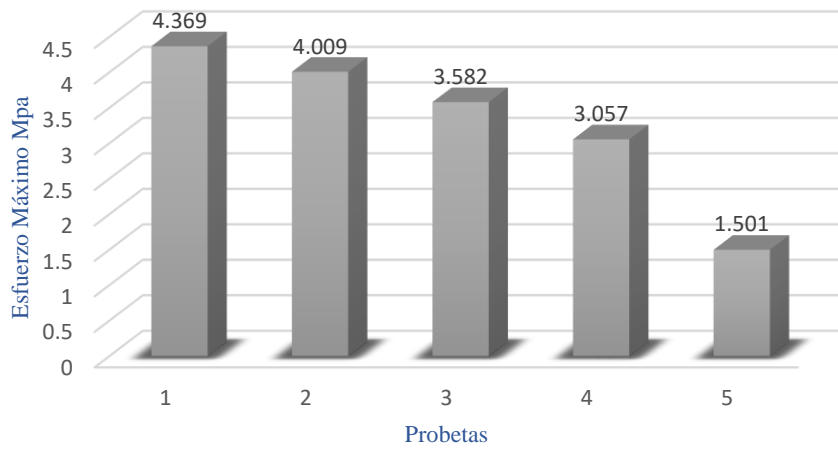
| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN        |                    |
|---|-------------------|-------------------|--------------------|
| El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.<br>El carácter OBB está en el intervalo de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla. |                   | Valores promedio  |                    |
|   |                   | Esfuerzo Máximo   | 8.8 MPa            |
|   |                   | Módulo de flexión | 2044.70MPa         |
|   |                   | Revisado por:     | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:     | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

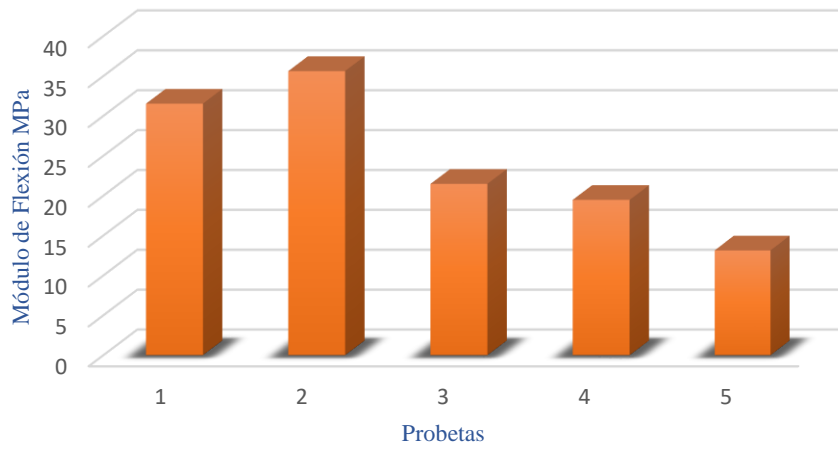
**Tabla 4.20.** Ficha técnica de grupo 5 ensayado a flexión

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  |  |                            |                |                           |                             |                              |               |
|--|--|---|----------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>  |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>  |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:   | Ambato                     |                |                           |                             |                              |               |
| Establecimiento :  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín         |                |                           |                             |                              |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Flexión</b>   |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| Norma: ASTM- D7264-2015  |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado   | Natural                    |                |                           |                             |                              |               |
| Orientación:   | 45°  | N° de probetas  | 5                          |                |                           |                             |                              |               |
| Matriz   | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica  | Matriz 70%<br>Refuerzo 30% |                |                           |                             |                              |               |
| Refuerzo   | Fibra de tuna  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| Temperatura:   | 11°C   | Dimensiones   | 160*13* espesor            |                |                           |                             |                              |               |
| Humedad:   | 93%  | Promedio de espesor   | 6.5 mm                     |                |                           |                             |                              |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>   |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| Probeta  | Dimensiones mm   |   | Carga Máxima (N)           | Deflexión (mm) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|  | Ancho  | Espesor   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| 1  | 12.76  | 6.32  | 76.54                      | 4.369          | 31.54                     | 3731.03                     | 0.85                         | OAB           |
| 2  | 13.49  | 5.72  | 74.86                      | 4.009          | 35.62                     | 5073.85                     | 0.70                         | OBV           |
| 3  | 13.00  | 7.08  | 66.64                      | 3.582          | 21.48                     | 2766.24                     | 0.78                         | OAB           |
| 4  | 13.39  | 6.70  | 55.73                      | 3.057          | 19.47                     | 3105.37                     | 0.63                         | OAB           |
| 5  | 13.27  | 6.73  | 37.60                      | 1.501          | 13.14                     | 4248.30                     | 0.31                         | OAV           |
| Promedio   |  |   | 62.27                      | 3.30           | 24.25                     | 3784.96                     | 0.65                         | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$  |  |   | 16.07                      | 1.12           | 9.17                      | 919.03                      | 0.21                         | -             |
| Coeficiente de variación CV  |  |   | 25.80                      | 33.91          | 37.82                     | 24.28                       | 31.94                        | -             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>  |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
|    |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |
| <b>GRÁFICAS DE RESULTADOS</b>  |  |   |                            |                |                           |                             |                              |               |

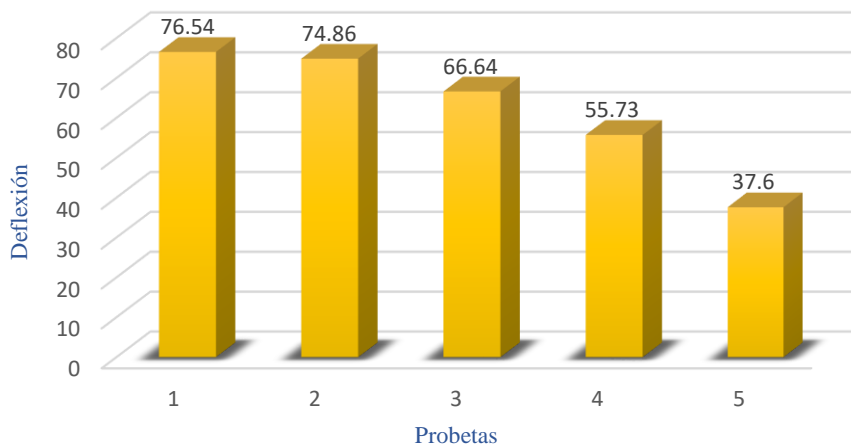
### Esfuerzo a la Rotura



### Módulo de Flexión



### Deflexión



| OBSERVACIONES  |  | EVALUACIÓN              |               |                    |
|--|--|-------------------------|---------------|--------------------|
| El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.<br>El carácter OAV está en el área del punto de carga ubicado en varios puntos de la probeta produciendo la falla.<br>El carácter OBV está en el intervalo de carga en varios puntos de la probeta produciendo la falla. |  | <b>Valores promedio</b> |               |                    |
|  |  | Esfuerzo Máximo         | 24.25 MPa     |                    |
|  |  | Módulo de flexión       | 3784.96 MPa   |                    |
| Elaborado por:   |  | Sr. Daniel Vargas       | Revisado por: | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:   |  | Sr. Daniel Vargas       | Aprobado por: | Ing. Segundo Espín |

**Fuente:** El autor

**Tabla 4.21.** Ficha técnica de grupo 6 ensayado a flexión

|  UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
|--|--|---------------------|--------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:             | Ambato             |                |                           |                             |                              |               |
| Establecimiento :  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:       | Ing. Segundo Espín |                |                           |                             |                              |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Flexión</b>   |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Norma: ASTM- D7264-2015  |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado     | Natural            |                |                           |                             |                              |               |
| Orientación:   | 45°  | N° de probetas      | 5                  |                |                           |                             |                              |               |
| Matriz   | Resina Poliéster   | Fracción            | Matriz 75%         |                |                           |                             |                              |               |
| Refuerzo   | Fibra de tuna  | Volumétrica         | Refuerzo 25%       |                |                           |                             |                              |               |
| Temperatura:   | 12°C   | Dimensiones         | 160*13* espesor    |                |                           |                             |                              |               |
| Humedad:   | 91%  | Promedio de espesor | 6.4 mm             |                |                           |                             |                              |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>   |  |                     |                    |                |                           |                             |                              |               |
| Probeta  | Dimensiones mm   |                     | Carga Máxima (N)   | Deflexión (mm) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|  | Ancho  | Espesor             |                    |                |                           |                             |                              |               |
| 1  | 13.25  | 6.51                | 66.13              | 3.159          | 24.73                     | 3928.39                     | 0.63                         | OAV           |
| 2  | 12.80  | 6.31                | 61.60              | 5.076          | 25.38                     | 2588.72                     | 0.98                         | OBV           |
| 3  | 13.31  | 6.41                | 53.04              | 4.149          | 20.37                     | 2501.68                     | 0.81                         | OAV           |
| 4  | 12.73  | 6.19                | 40.79              | 3.370          | 17.56                     | 2750.09                     | 0.64                         | OBB           |

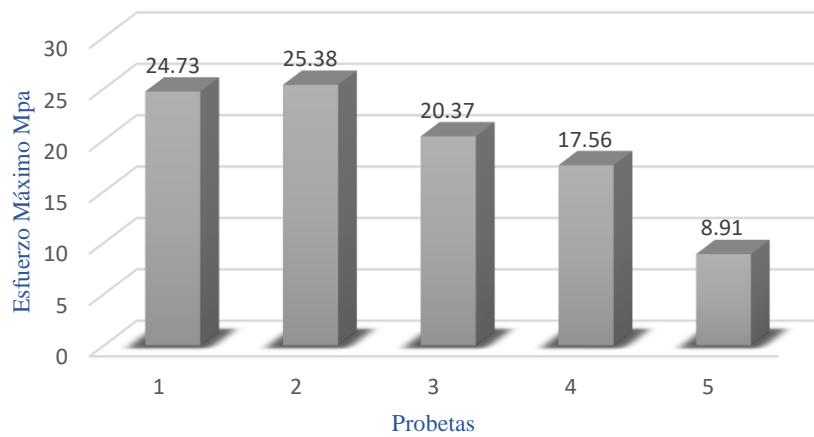
|                              |           |      |       |       |       |         |       |     |
|------------------------------|-----------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-----|
| 5                            | 13.28     | 7.01 | 27.70 | 2.838 | 8.91  | 1463.66 | 0.61  | OBB |
| Promedio                     |           |      | 49.85 | 3.72  | 19.39 | 2646.51 | 0.73  | -   |
| Desviación Estándar          | $S_{n-1}$ |      | 15.70 | 0.90  | 6.68  | 877.123 | 0.16  | -   |
| Coefficiente de variación CV |           |      | 31.89 | 24.20 | 34.45 | 33.14   | 2.183 | -   |

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS**

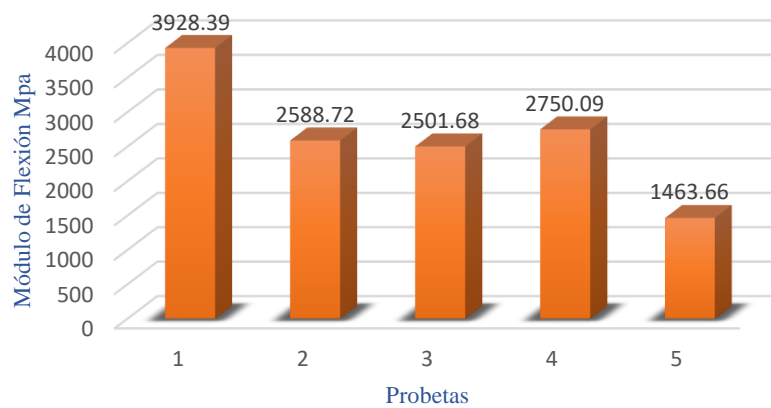


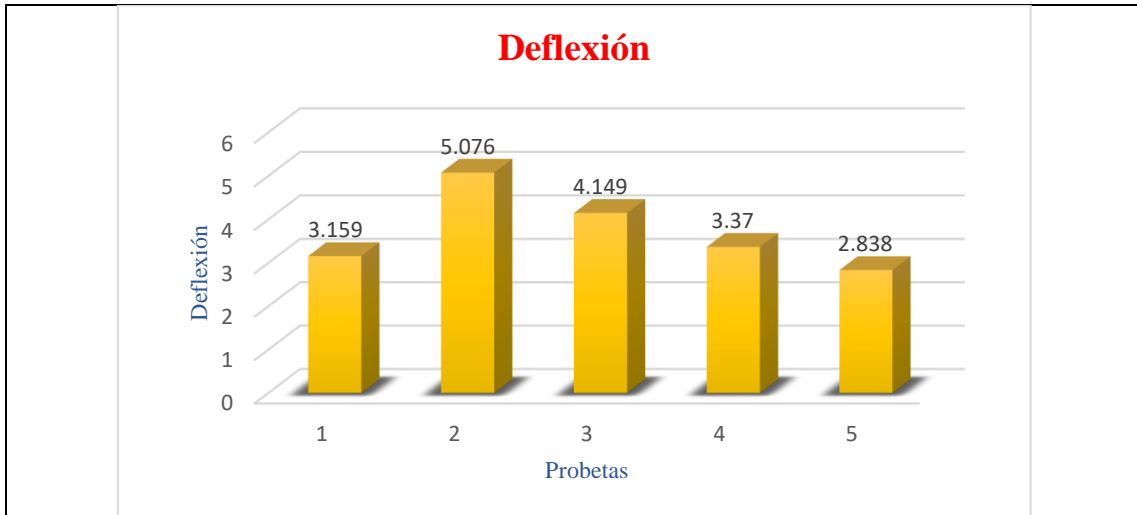
**GRÁFICAS DE RESULTADOS**

**Esfuerzo a la Rotura**



**Módulo de Elasticidad**







| OBSERVACIONES  |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|--|-------------------|-------------------------|--------------------|
| <p>El carácter OAV está en el área del punto de carga ubicado en varios puntos de la probeta produciendo la falla.</p> <p>El carácter OBV está en el intervalo de carga en varios puntos de la probeta produciendo la falla.</p> <p>El carácter OBB está en el intervalo de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.</p> |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|  |                   | Esfuerzo Máximo         | 19.39 MPa          |
|  |                   | Módulo de flexión       | 2646.51 MPa        |
|  |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:   | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

**Tabla 4.22.** Ficha técnica de grupo 7 ensayado a flexión

|   |  |   |                    |
|---|--|---|--------------------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  |                    |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |  |   |                    |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |   |                    |
| Fecha:  | 02/08/2017   | Ciudad:   | Ambato             |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero                                   |   |                    |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50  |   |                    |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín |



| Parámetros de Ensayos a Flexión |                  |                      |                 |
|---------------------------------|------------------|----------------------|-----------------|
| Norma: ASTM- D7264-2015         |                  |                      |                 |
| Estratificación                 | Manual           | Forma de secado      | Natural         |
| Orientación:                    | Entrecruzada     | N° de probetas       | 5               |
| Matriz                          | Resina Poliéster | Fracción Volumétrica | Matriz 65%      |
| Refuerzo                        | Fibra de tuna    |                      | Refuerzo 35%    |
| Temperatura:                    | 12°C             | Dimensiones          | 160*13* espesor |
| Humedad:                        | 88%              | Promedio de espesor  | 8.5 mm          |

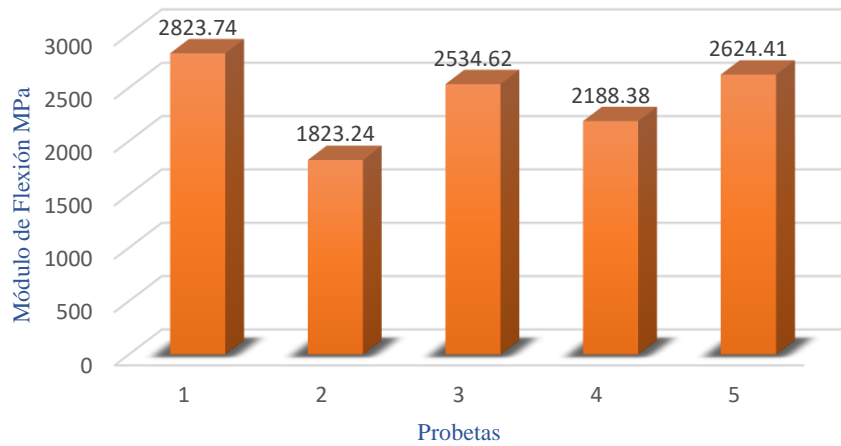
| RESULTADOS DEL ENSAYO         |                |         |                  |                |                           |                             |                              |               |
|-------------------------------|----------------|---------|------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| Probeta                       | Dimensiones mm |         | Carga Máxima (N) | Deflexión (mm) | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|                               | Ancho          | Espesor |                  |                |                           |                             |                              |               |
| 1                             | 13.07          | 7.41    | 55.73            | 2.546          | 16.31                     | 2823.74                     | 0.58                         | OAB           |
| 2                             | 13.33          | 9.31    | 106.58           | 106.58         | 19.37                     | 1823.24                     | 1.06                         | OAB           |
| 3                             | 12.76          | 8.01    | 76.37            | 76.37          | 19.59                     | 2534.62                     | 0.77                         | OBV           |
| 4                             | 13.03          | 9.02    | 73.18            | 73.18          | 14.50                     | 2188.38                     | 0.66                         | OAB           |
| 5                             | 12.81          | 9.06    | 132.77           | 132.77         | 26.53                     | 2624.41                     | 1.01                         | OBV           |
| Promedio                      |                |         | 88.93            | 88.93          | 19.26                     | 2398.88                     | 0.82                         | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |                |         | 30.58            | 30.58          | 4.59                      | 395.43                      | 0.21                         | -             |
| Coeficiente de variación CV   |                |         | 34.39            | 34.39          | 23.82                     | 16.48                       | 26.02                        | -             |



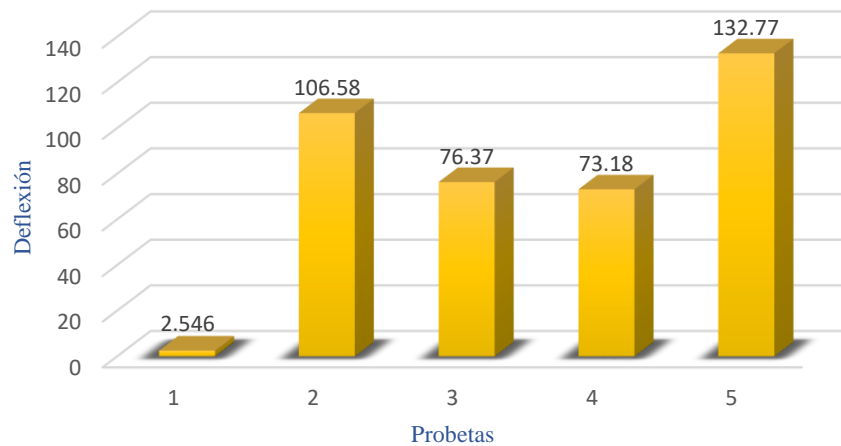
**GRÁFICAS DE RESULTADOS**



### Módulo de Flexión






### Deflexión



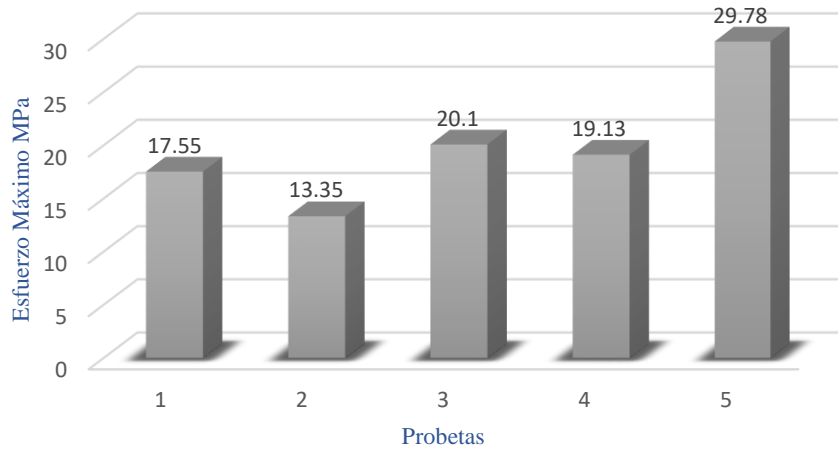
| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN        |                    |
|---|-------------------|-------------------|--------------------|
| El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.<br>El carácter OBV está en el intervalo de carga en varios puntos de la probeta produciendo la falla. |                   | Valores promedio  |                    |
|   |                   | Esfuerzo Máximo   | 19.26 MPa          |
|   |                   | Módulo de flexión | 2398.88 MPa        |
|   |                   | Revisado por:     | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:     | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

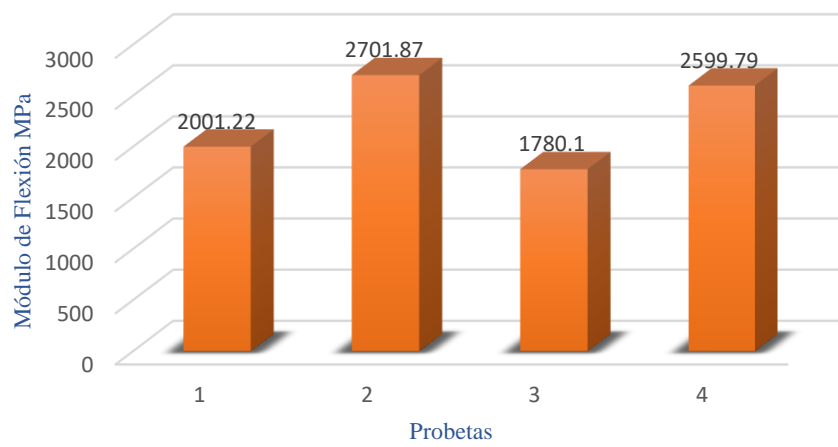
**Tabla 4.23.** Ficha técnica de grupo 8 ensayado a flexión

|     |  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |                    |  |                           |                             |                              |               |
|--|--|--|--------------------|---|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                      |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>  |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Fecha:   | 02/08/2017   | Ciudad:  | Ambato             |   |                           |                             |                              |               |
| Establecimiento :  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Máquina:   | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín |   |                           |                             |                              |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Flexión</b>   |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Norma: ASTM- D7264-2015  |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Estratificación  | Manual   | Forma de secado  | Natural            |   |                           |                             |                              |               |
| Orientación:   | Entrecruzada   | N° de probetas   | 5                  |   |                           |                             |                              |               |
| Matriz   | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica   | Matriz             | 70%   |                           |                             |                              |               |
| Refuerzo   | Fibra de tuna  |  | Refuerzo           | 30%   |                           |                             |                              |               |
| Temperatura:   | 13°C   | Dimensiones  | 160*13* espesor    |   |                           |                             |                              |               |
| Humedad:   | 86%  | Promedio de espesor  | 8.1 mm             |   |                           |                             |                              |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>   |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Probeta  | Dimensiones mm   |  | Carga Máxima (N)   | Deflexión (mm)  | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|  | Ancho  | Espesor  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| 1  | 13.27  | 7.78   | 67.14              | 3.683   | 17.55                     | 2001.22                     | 0.88                         | OBB           |
| 2  | 13.16  | 9.08   | 68.99              | 1.778   | 13.35                     | 2701.87                     | 0.49                         | OAB           |
| 3  | 13.20  | 8.61   | 93.66              | 4.284   | 20.10                     | 1780.10                     | 1.13                         | OBV           |
| 4  | 13.03  | 8.04   | 76.71              | 2.989   | 19.13                     | 2599.79                     | 0.74                         | OAB           |
| 5  | 13.24  | 7.33   | 100.88             | 5.232   | 29.78                     | 2536.66                     | 1.17                         | OAB           |
| Promedio   |  |  | 81.48              | 3.59  | 19.98                     | 2323.93                     | 0.88                         | -             |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$  |  |  | 15.08              | 1.31  | 6.05                      | 407.46                      | 0.28                         | -             |
| Coeficiente de variación CV  |  |  | 18.50              | 36.37   | 30.30                     | 17.53                       | 31.97                        | -             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>  |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
|  |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| <b>GRÁFICAS DE RESULTADOS</b>  |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |

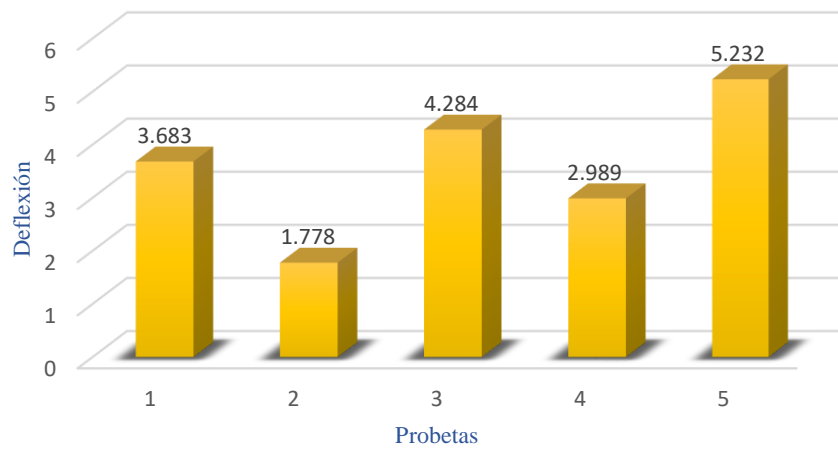
### Esfuerzo a la Rotura



### Módulo de Flexión



### Deflexión



| OBSERVACIONES   |                   | EVALUACIÓN    |                    |
|---|-------------------|---------------|--------------------|
| El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.<br>El carácter OBV está en el intervalo de carga en varios puntos de la probeta produciendo la falla.<br>El carácter OBB está en el intervalo de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla. | Valores promedio  |               |                    |
|   | Esfuerzo Máximo   | 24.98 MPa     |                    |
|   | Módulo de flexión | 2459.99 MPa   |                    |
| Elaborado por:  | Sr. Daniel Vargas | Revisado por: | Ing. Segundo Espín |
|   |                   | Aprobado por: | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor

Tabla 4.24. Ficha técnica de grupo 9 ensayado a flexión

|  |  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |                    |  |                           |                             |                              |               |
|---|--|--|--------------------|---|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------|
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                   |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Fecha:  | 02/08/2017   | Ciudad:  | Ambato             |   |                           |                             |                              |               |
| Establecimiento:  | Área de Materiales Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Máquina:  | Máquina Universal para Ensayos- Metroteck MTE50                          |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín |   |                           |                             |                              |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Flexión</b>  |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Norma: ASTM- D7264-2015   |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado  | Natural            |   |                           |                             |                              |               |
| Orientación:  | Entrecruzada   | N° de probetas   | 5                  |   |                           |                             |                              |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción   | Matriz             | 75%   |                           |                             |                              |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  | Volumétrica  | Refuerzo           | 25%   |                           |                             |                              |               |
| Temperatura:  | 21°C   | Dimensiones  | 160*13* espesor    |   |                           |                             |                              |               |
| Humedad:  | 57%  | Promedio de espesor  | 8.2 mm             |   |                           |                             |                              |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |  |  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| Probeta   | Dimensiones mm   |  | Carga Máxima (N)   | Deflexión (mm)  | Esfuerzo de ruptura (MPa) | Módulo de Elasticidad (Mpa) | Deformación a la Ruptura (%) | Tipo de falla |
|   | Ancho  | Espesor  |                    |   |                           |                             |                              |               |
| 1   | 13.44  | 8.34   | 93.09              | 4.100   | 20.91                     | 1997.77                     | 1.05                         | OBB           |
| 2   | 13.18  | 8.96   | 45.76              | 1.455   | 9.08                      | 2275.66                     | 0.40                         | OAB           |
| 3   | 13.88  | 8.45   | 25.24              | 0.622   | 5.35                      | 3324.02                     | 0.16                         | OBV           |
| 4   | 13.20  | 8.02   | 36.29              | 2.562   | 8.98                      | 1427.04                     | 0.63                         | OAB           |

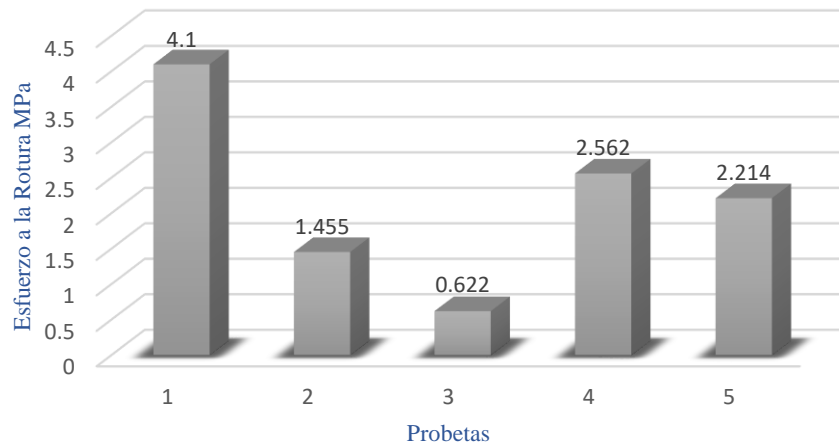
|                               |       |      |       |       |       |         |       |     |
|-------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-----|
| 5                             | 13.42 | 7.40 | 37.87 | 2.214 | 10.82 | 2157.72 | 0.50  | OAB |
| Promedio                      |       |      | 47.65 | 2.19  | 11.03 | 2236.44 | 0.55  | -   |
| Desviación Estándar $S_{n-1}$ |       |      | 26.44 | 1.30  | 5.87  | 689.68  | 0.33  | -   |
| Coefficiente de variación CV  |       |      | 55.48 | 59.46 | 53.26 | 30.84   | 59.86 | -   |

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS**

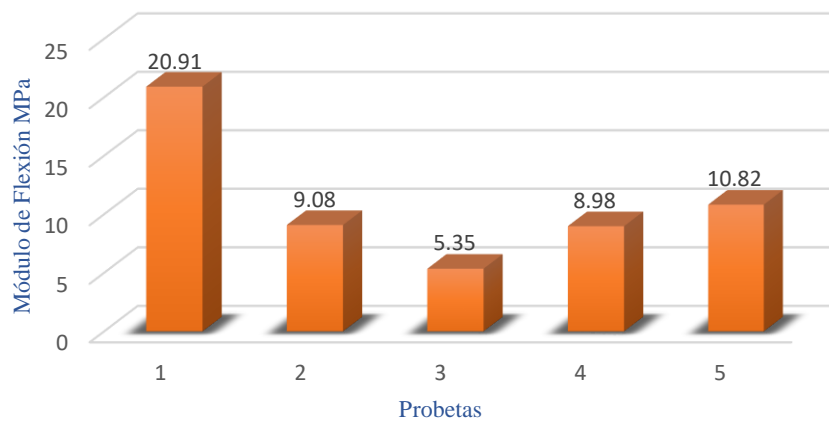


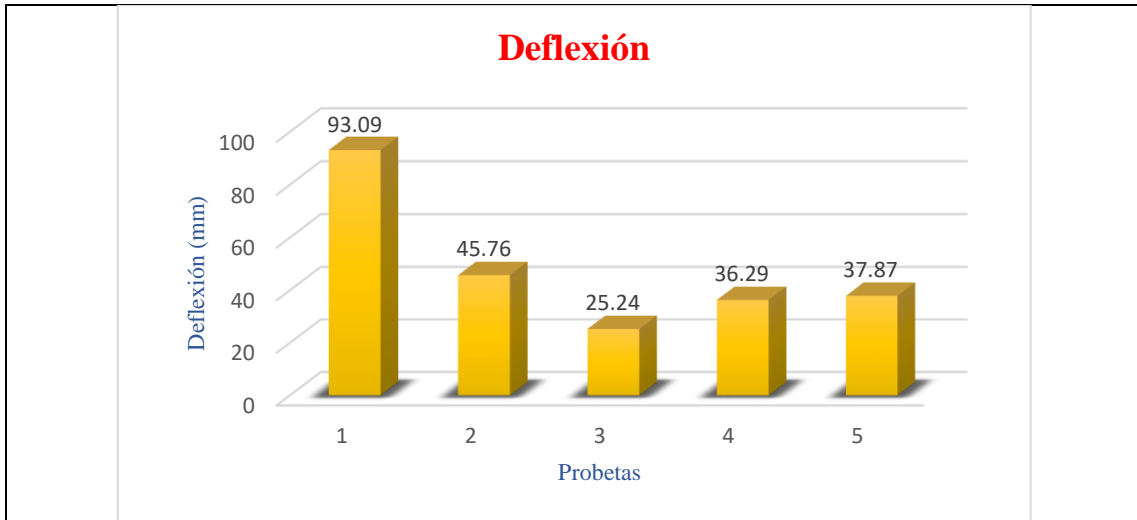
**GRÁFICAS DE RESULTADOS**

**Esfuerzo a la Rotura**



**Módulo de Flexión**







| OBSERVACIONES  |                   | EVALUACIÓN              |                    |
|--|-------------------|-------------------------|--------------------|
| <p>El carácter OBB está en el intervalo de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.</p> <p>El carácter OAB está en el área del punto de carga ubicado al fondo de la probeta produciendo la falla.</p> <p>El carácter OBV está en el intervalo de carga en varios puntos de la probeta produciendo la falla.</p> |                   | <b>Valores promedio</b> |                    |
|  |                   | Esfuerzo Máximo         | 11.028 MPa         |
|  |                   | Módulo de flexión       | 2236.442 MPa       |
|  |                   | Revisado por:           | Ing. Segundo Espín |
| Elaborado por:   | Sr. Daniel Vargas | Aprobado por:           | Ing. Segundo Espín |

Fuente: El autor







#### 4.11.3. FICHAS TÉCNICAS DE ENSAYOS POR IMPACTO

Tabla 4.25. Ficha técnica de grupo 1 ensayado a impacto

|   |   |   |                    |
|---|---|---|--------------------|
|  | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |                    |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |   |   |                    |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |   |   |                    |
| Fecha:  | 14/08/2017  | Ciudad:   | Ambato             |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica  |   |                    |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo   |   |                    |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas   | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín |

| Parámetros de Ensayos a Impacto   |                  |                               |   |                |                            |               |
|---|------------------|-------------------------------|---|----------------|----------------------------|---------------|
| Norma: ASTM- 5628-10  |                  |                               |   |                |                            |               |
| Estratificación   | Manual           | Tipo de Secado                |   | Natural        |                            |               |
| Orientación:  | 0°               | N° de probetas                |   | 5              |                            |               |
| Matriz  | Resina Poliéster | Fracción                      |   | Matriz         | 65%                        |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna    | Volumétrica                   |   | Refuerzo       | 35%                        |               |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg        | Dimensiones                   |   | 58*58* espesor |                            |               |
| Geometría   | FE               | Espesor promedio              |   | 6 mm           |                            |               |
| Diámetro de dardo   | 20 mm            | Diámetro interior del soporte |   | 40 mm          |                            |               |
| RESULTADOS DEL ENSAYO   |                  |                               |   |                |                            |               |
| Probeta   | Altura (mm)      | Peso del dardo (Kg)           | Coeficiente   |                | Resistencia al impacto (J) | Tipo de falla |
| 1   | 400              | 0.581                         | 9.80665x10 <sup>-3</sup>  |                | 2.279                      | B             |
| 2   | 400              | 0.229                         | 9.80665x10 <sup>-3</sup>  |                | 0.898                      | A             |
| 3   | 450              | 0.581                         | 9.80665x10 <sup>-3</sup>  |                | 2.564                      | A             |
| 4   | 500              | 0.405                         | 9.80665x10 <sup>-3</sup>  |                | 1.986                      | A             |
| 5   | 600              | 0.405                         | 9.80665x10 <sup>-3</sup>  |                | 2.383                      | A             |
| FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS  |                  |                               |   |                |                            |               |
| Probeta 1   |                  |                               |   |                |                            |               |
|   |                  |                               |              |                |                            |               |
| Frontal   |                  |                               | Posterior   |                |                            |               |
| OBSERVACIONES   |                  |                               |   |                |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 2                |                               | Peso total  | 0.352 Kg       |                            |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr         | Tipo de falla                 | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa |                |                            |               |
| Probeta 2   |                  |                               |   |                |                            |               |
|  |                  |                               |             |                |                            |               |
| Frontal   |                  |                               | Posterior   |                |                            |               |
| OBSERVACIONES   |                  |                               |   |                |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 0                |                               | Peso total  | 0.229 Kg       |                            |               |
| Peso adicional  | 0                | Tipo de falla                 | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.            |                |                            |               |
| Probeta 3   |                  |                               |   |                |                            |               |











|   |          |  |  |
|---|----------|--|--|
|    |          |                                        |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua. |
| Probeta 4   |          |  |  |
|    |          |                                        |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua. |
| Probeta 5   |          |  |  |
|  |          |                                      |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua. |
| <b>EVALUACIÓN</b>   |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |  |
| Energía promedio absorbida  | 2.022 J  | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, sigue la orientación de las fibras pero no causando ruptura total |  |

Fuente: El autor

**Tabla 4.26.** Ficha técnica de grupo 2 ensayado a impacto



|   |  |  |   |   |               |
|---|--|--|---|---|---------------|
|    |  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |   |  |               |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |  |  |   |   |               |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |  |   |   |               |
| Fecha:  | 14/08/2017   | Ciudad:  | Ambato  |   |               |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica |  |   |   |               |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo                              |  |   |   |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín  |   |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Impacto</b>  |  |  |   |   |               |
| Norma: ASTM- 5628-10  |  | Diámetro de dardo  | 20 mm   |   |               |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado  | Natural   |   |               |
| Orientación:  | 0°   | N° de probetas   | 5   |   |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica   | Matriz  | 70%   |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |  | Refuerzo  | 30%   |               |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg  | Dimensiones  | 58*58* espesor  |   |               |
| Geometría   | FE   | Espesor promedio   | 5.85 mm   |   |               |
| Diámetro del dardo  | 20 mm  | Diámetro interior del soporte  | 40 mm   |   |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |  |  |   |   |               |
| Probeta   | Altura (mm)  | Peso del dardo (Kg)  | Coeficiente   | Resistencia al impacto (J)  | Tipo de falla |
| 1   | 400  | 0.405  | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 1.589   | B             |
| 2   | 400  | 0.405  | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 1.589   | B             |
| 3   | 450  | 0.581  | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 2.564   | A             |
| 4   | 500  | 0.581  | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 2.849   | A             |
| 5   | 600  | 0.581  | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 3.419   | B             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>   |  |  |   |   |               |
| Probeta 1   |  |  |   |   |               |
|  |  |  |             |   |               |
| Frontal   |  |  | Posterior   |   |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |  |  |   |   |               |
| Rodelas adicionales   | 1  |  | Peso total  | 0.176 gr  |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr   | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa |   |               |







| Probeta 2   |          |  |  |
|---|----------|--|--|
|    |          |    |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| OBSERVACIONES   |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| Probeta 3   |          |  |  |
|   |          |   |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| OBSERVACIONES   |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| Probeta 4   |          |  |  |
|  |          |  |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| OBSERVACIONES   |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| Probeta 5   |          |  |  |





|   |          |  |   |
|---|----------|--|---|
|  |          |    |   |
| Frontal   |          | Posterior  |   |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |   |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso total   | 0.352 gr  |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa |
| <b>EVALUACIÓN</b>   |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |   |
| Energía promedio absorbida  | 2.402 J  | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, sigue la orientación de las fibras no causa un ruptura total en las dos caras de la probeta pero puede penetrar agua a través de la placa |   |

Fuente: El autor

Tabla 4.27. Ficha técnica de grupo 3 ensayado a impacto



|   |  |  |                    |   |  |
|---|--|--|--------------------|---|--|
|  |  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |                    |  |  |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |  |  |                    |   |  |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |  |                    |   |  |
| Fecha:  | 14/08/2017   | Ciudad:  | Ambato             |   |  |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica |  |                    |   |  |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo                              |  |                    |   |  |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín |   |  |
| <b>Parámetros de Ensayos a Impacto</b>  |  |  |                    |   |  |
| Norma:  | ASTM- 5628-10  | Diámetro de dardo  | 20 mm              |   |  |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado  | Natural            |   |  |
| Orientación:  | 0°   | N° de probetas   | 5                  |   |  |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica   | Matriz             | 75%   |  |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |  | Refuerzo           | 25%   |  |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg  | Dimensiones  | 58*58* espesor     |   |  |
| Geometría   | FE   | Espesor promedio   | 5.94 mm            |   |  |





| Diámetro del dardo  | 20 mm       | Diámetro interior del soporte | 40 mm  |                            |               |
|---|-------------|-------------------------------|--|----------------------------|---------------|
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |             |                               |  |                            |               |
| Probeta   | Altura (mm) | Peso del dardo (Kg)           | Coeficiente  | Resistencia al impacto (J) | Tipo de falla |
| 1   | 400         | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.347                      | B             |
| 2   | 400         | 0.581                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.564                      | A             |
| 3   | 450         | 0.581                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.564                      | A             |
| 4   | 500         | 0.581                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.564                      | A             |
| 5   | 600         | 0.581                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.564                      | B             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>   |             |                               |  |                            |               |
| <b>Probeta 1</b>  |             |                               |  |                            |               |
|    |             |                               |                |                            |               |
| Frontal   |             |                               | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |             |                               |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1           |                               | Peso total   | 0.352 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr    | Tipo de falla                 | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |                            |               |
| <b>Probeta 2</b>  |             |                               |  |                            |               |
|  |             |                               |              |                            |               |
| Frontal   |             |                               | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |             |                               |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 2           |                               | Peso total   | 0.352 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr    | Tipo de falla                 | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |                            |               |
| <b>Probeta 3</b>  |             |                               |  |                            |               |
|  |             |                               |              |                            |               |
| Frontal   |             |                               | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |             |                               |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 2           |                               | Peso total   | 0.352 gr                   |               |







|  |          |  |  |
|--|----------|--|--|
| Peso adicional   | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| Probeta 4  |          |  |  |
|   |          |    |  |
| Frontal  |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |          |  |  |
| Rodelas adicionales  | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional   | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| Probeta 5  |          |  |  |
|  |          |   |  |
| Frontal  |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |          |  |  |
| Rodelas adicionales  | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional   | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| <b>EVALUACIÓN</b>  |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |  |
| Energía promedio absorbida   | 2.3206 J | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, sigue la orientación de las fibras, existe fisuras homogéneas pero no causando ruptura total. |  |

**Fuente:** El autor

**Tabla 4.28.** Ficha técnica de grupo 4 ensayado a impacto

|   |   |   |        |
|---|---|---|--------|
|  | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |        |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |   |   |        |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |   |   |        |
| Fecha:  | 14/08/2017  | Ciudad:   | Ambato |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica  |   |        |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo   |   |        |

|   |                  |                               |  |                            |               |
|---|------------------|-------------------------------|--|----------------------------|---------------|
| Elaborado por:  | Daniel Vargas    | Revisado por:                 | Ing. Segundo Espín   |                            |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Impacto</b>  |                  |                               |  |                            |               |
| Norma: ASTM- 5628-10  |                  | Diámetro de dardo             |  | 20 mm                      |               |
| Estratificación   | Manual           | Forma de secado               |  | Natural                    |               |
| Orientación:  | 45°              | N° de probetas                |  | 5                          |               |
| Matriz  | Resina Poliéster | Fracción Volumétrica          |  | Matriz                     | 65%           |
| Refuerzo  | Fibra de tuna    |                               |  | Refuerzo                   | 35%           |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg        | Dimensiones                   |  | 58*58* espesor             |               |
| Geometría   | FE               | Espesor promedio              |  | 6.2 mm                     |               |
| Diámetro del dardo  | 20 mm            | Diámetro interior del soporte |  | 40 mm                      |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |                  |                               |  |                            |               |
| Probeta   | Altura (mm)      | Peso del dardo (Kg)           | Coefficiente   | Resistencia al impacto (J) | Tipo de falla |
| 1   | 400              | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.589                      | B             |
| 2   | 400              | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.589                      | B             |
| 3   | 450              | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.564                      | B             |
| 4   | 500              | 0.581                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.787                      | B             |
| 5   | 600              | 0.581                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 3.419                      | A             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>   |                  |                               |  |                            |               |
| Probeta 1   |                  |                               |  |                            |               |
|  |                  |                               |              |                            |               |
| Frontal   |                  |                               | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |                  |                               |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1                |                               | Peso total   | 0.176 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr         | Tipo de falla                 | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |                            |               |
| Probeta 2   |                  |                               |  |                            |               |
|  |                  |                               |              |                            |               |
| Frontal   |                  |                               | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |                  |                               |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1                |                               | Peso total   | 0.176 gr                   |               |







|   |          |  |  |
|---|----------|--|--|
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| Probeta 3   |          |  |  |
|    |          |    |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>EVALUACIÓN</b>   |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |  |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| Probeta 4   |          |  |  |
|   |          |   |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>EVALUACIÓN</b>   |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |  |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| Probeta 5   |          |  |  |
|  |          |    |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>EVALUACIÓN</b>   |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |  |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| <b>EVALUACIÓN</b>   |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |  |
| Promedio de energía absorbida   | 2.25 J   | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, sigue la orientación de las fibras, existe fisuras homogéneas pero su mayoría causan ruptura en las dos caras de las probetas |  |

**Fuente:** El autor



**Tabla 4.29.** Ficha técnica de grupo 5 ensayado a impacto

|   |  |   |  |   |               |
|---|--|---|--|---|---------------|
|    |  | <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b><br><b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b><br><b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> |  |  |               |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |  |   |  |   |               |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |   |  |   |               |
| Fecha:  | 14/08/2017   | Ciudad:   | Ambato   |   |               |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica |   |  |   |               |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo                              |   |  |   |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:   | Ing. Segundo Espín   |   |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Impacto</b>  |  |   |  |   |               |
| Norma:  | ASTM- 5628-10  | Diámetro de dardo   | 20 mm  |   |               |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado   | Natural  |   |               |
| Orientación:  | 45°  | N° de probetas  | 5  |   |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica  | Matriz   | 70%   |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |   | Refuerzo   | 30%   |               |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg  | Dimensiones   | 58*58* espesor   |   |               |
| Geometría   | FE   | Espesor promedio  | 6 mm   |   |               |
| Diámetro del dardo  | 20 mm  | Diámetro interior del soporte   | 40 mm  |   |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |  |   |  |   |               |
| Probeta   | Altura (mm)  | Peso del dardo (Kg)   | Coeficiente  | Resistencia al impacto (J)  | Tipo de falla |
| 1   | 400  | 0.405   | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.59  | B             |
| 2   | 400  | 0.405   | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.59  | B             |
| 3   | 450  | 0.405   | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.79  | A             |
| 4   | 500  | 0.405   | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.99  | A             |
| 5   | 600  | 0.581   | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 3.42  | C             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>   |  |   |  |   |               |
| Probeta 1   |  |   |  |   |               |
|  |  |   |              |   |               |
| Frontal   |  |   | Posterior  |   |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |  |   |  |   |               |
| Rodelas adicionales   | 1  |   | Peso total   | 0.176 gr  |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr   | Tipo de falla   | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |   |               |







| Probeta 2   |          |  |  |          |
|---|----------|--|--|----------|
|    |          |    |  |          |
| Frontal   |          | Posterior  |  |          |
| OBSERVACIONES   |          |  |  |          |
| Rodelas adicionales   | 1        |  | Peso total   | 0.176 gr |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |          |
| Probeta 3   |          |  |  |          |
|   |          |   |  |          |
| Frontal   |          | Posterior  |  |          |
| OBSERVACIONES   |          |  |  |          |
| Rodelas adicionales   | 1        |  | Peso total   | 0.176 gr |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |          |
| Probeta 4   |          |  |  |          |
|  |          |  |  |          |
| Frontal   |          | Posterior  |  |          |
| OBSERVACIONES   |          |  |  |          |
| Rodelas adicionales   | 1        |  | Peso total   | 0.176 gr |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |          |
| Probeta 5   |          |  |  |          |





|  |  |                         |   |
|---|--|---|---|
| Frontal   |  | Posterior   |   |
| OBSERVACIONES   |  |   |   |
| Rodelas adicionales   |  | 2   | Peso total  |
| 0.176 gr  |  | Tipo de falla   | 0.352 gr  |
| Peso adicional  |  | Falla tipo C.- La probeta fue quebradiza, tuvo roturas en varios pedazos la placa no puede contener agua. |   |
| EVALUACIÓN  |  | OBSERVACIONES   |   |
| Promedio de energía absorbida   |  | 2.07 J  | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, sigue la orientación de las fibras, existe fisuras homogéneas y también ruptura total de la probeta. |

Fuente: El autor

Tabla 4.30. Ficha técnica de grupo 6 ensayado a impacto



|  |  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |                    |  |  |
|---|--|--|--------------------|---|--|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS                            |  |  |                    |   |  |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |  |                    |   |  |
| Fecha:  | 14/08/2017   | Ciudad:  | Ambato             |   |  |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica |  |                    |   |  |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo                              |  |                    |   |  |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín |   |  |
| Parámetros de Ensayos a Impacto   |  |  |                    |   |  |
| Norma: ASTM- 5628-10  |  | Diámetro de dardo  | 20 mm              |   |  |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado  | Natural            |   |  |
| Orientación:  | 45°  | N° de probetas   | 5                  |   |  |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica   | Matriz             | 75%   |  |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |  | Refuerzo           | 25%   |  |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg  | Dimensiones  | 58*58* espesor     |   |  |
| Geometría   | FE   | Espesor promedio   | 6 mm               |   |  |
| Diámetro del dardo  | 20 mm  | Diámetro interior del soporte  | 40 mm              |   |  |
| RESULTADOS DEL ENSAYO   |  |  |                    |   |  |



| Probeta   | Altura (mm) | Peso del dardo (Kg) | Coeficiente  | Resistencia al impacto (J) | Tipo de falla |
|---|-------------|---------------------|--|----------------------------|---------------|
| 1   | 400         | 0.405               | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.589                      | A             |
| 2   | 400         | 0.405               | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.589                      | B             |
| 3   | 450         | 0.581               | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.654                      | A             |
| 4   | 500         | 0.581               | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.849                      | B             |
| 5   | 600         | 0.581               | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 3.419                      | A             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>   |             |                     |  |                            |               |
| <b>Probeta 1</b>  |             |                     |  |                            |               |
|    |             |                     |                |                            |               |
| Frontal   |             |                     | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |             |                     |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1           |                     | Peso total   | 0.176 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr    | Tipo de falla       | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |                            |               |
| <b>Probeta 2</b>  |             |                     |  |                            |               |
|  |             |                     |              |                            |               |
| Frontal   |             |                     | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |             |                     |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1           |                     | Peso total   | 0.176 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr    | Tipo de falla       | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |                            |               |
| <b>Probeta 3</b>  |             |                     |  |                            |               |
|  |             |                     |              |                            |               |
| Frontal   |             |                     | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |             |                     |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 2           |                     | Peso total   | 0.352 gr                   |               |









|  |          |  |  |
|--|----------|--|--|
| Peso adicional   | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| Probeta 4  |          |  |  |
|   |          |    |  |
| Frontal  |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |          |  |  |
| Rodelas adicionales  | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional   | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| Probeta 5  |          |  |  |
|  |          |   |  |
| Frontal  |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>   |          |  |  |
| Rodelas adicionales  | 2        | Peso total   | 0.352 gr   |
| Peso adicional   | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| <b>EVALUACIÓN</b>  |          | <b>OBSERVACIONES</b>   |  |
| Promedio de energía absorbida  | 2.42 J   | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, sigue la orientación de las fibras, existe fisuras homogéneas en la cara superior de la probeta pero no causando ruptura total. |  |

**Fuente:** El autor

**Tabla 4.31.** Ficha técnica de grupo 7 ensayado a impacto

|   |  |   |        |
|---|--|---|--------|
|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  |        |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |  |   |        |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |   |        |
| Fecha:  | 14/08/2017   | Ciudad:   | Ambato |

|   |  |                               |  |                            |               |
|---|--|-------------------------------|--|----------------------------|---------------|
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica |                               |  |                            |               |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo                              |                               |  |                            |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:                 | Ing. Segundo Espín   |                            |               |
| <b>Parámetros de Ensayos a Impacto</b>  |  |                               |  |                            |               |
| Norma: ASTM- 5628-10  | Diámetro de dardo  |                               | 20 mm  |                            |               |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado               |  | Natural                    |               |
| Orientación:  | Entrecruzada   | N° de probetas                |  | 5                          |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica          |  | Matriz                     | 65%           |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |                               |  | Refuerzo                   | 35%           |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg  | Dimensiones                   |  | 58*58* espesor             |               |
| Geometría   | FE   | Espesor promedio              |  | 6.12 mm                    |               |
| Diámetro del dardo  | 20 mm  | Diámetro interior del soporte |  | 40 mm                      |               |
| <b>RESULTADOS DEL ENSAYO</b>  |  |                               |  |                            |               |
| Probeta   | Altura (mm)  | Peso del dardo (Kg)           | Coeficiente  | Resistencia al impacto (J) | Tipo de falla |
| 1   | 400  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.59                       | B             |
| 2   | 400  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.59                       | A             |
| 3   | 450  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.79                       | B             |
| 4   | 500  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 1.99                       | B             |
| 5   | 600  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$   | 2.38                       | C             |
| <b>FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS</b>   |  |                               |  |                            |               |
| Probeta 1   |  |                               |  |                            |               |
|  |  |                               |              |                            |               |
| Frontal   |  |                               | Posterior  |                            |               |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |  |                               |  |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1  |                               | Peso total   | 0.176 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr   | Tipo de falla                 | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |                            |               |
| Probeta 2   |  |                               |  |                            |               |

|   |          |  |  |
|---|----------|--|--|
|    |          |    |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| Probeta 3   |          |  |  |
|    |          |    |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| Probeta 4   |          |  |  |
|  |          |  |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |  |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| Probeta 5   |          |  |  |
|  |          |  |  |
| Frontal   |          | Posterior  |  |









| OBSERVACIONES                 |          |   |   |
|-------------------------------|----------|---|---|
| Rodelas adicionales           | 1        | Peso total  | 0.176 gr  |
| Peso adicional                | 0.176 gr | Tipo de falla   | Falla tipo C.- La probeta fue quebradiza, tuvo roturas en varios pedazos la placa no puede contener agua. |
| EVALUACIÓN                    |          | OBSERVACIONES   |   |
| Promedio de energía absorbida | 1.87 J   | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, existe fisuras homogéneas y también ruptura total de la probeta. |   |



Fuente: El autor

Tabla 4.32. Ficha técnica de grupo 8 ensayado a impacto

|  <p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>  |  |                               |                          |                            |               |
|---|--|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS  |  |                               |                          |                            |               |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |                               |                          |                            |               |
| Fecha:  | 14/08/2017   | Ciudad:                       | Ambato                   |                            |               |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica |                               |                          |                            |               |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo                              |                               |                          |                            |               |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:                 | Ing. Segundo Espín       |                            |               |
| Parámetros de Ensayos a Impacto   |  |                               |                          |                            |               |
| Norma:  | ASTM- 5628-10  | Diámetro de dardo             | 20 mm                    |                            |               |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado               | Natural                  |                            |               |
| Orientación:  | Entrecruzada   | Nº de probetas                | 5                        |                            |               |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica          | Matriz                   | 70%                        |               |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |                               | Refuerzo                 | 30%                        |               |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg  | Dimensiones                   | 58*58* espesor           |                            |               |
| Geometría   | FE   | Diámetro interior del soporte | 40 mm                    |                            |               |
| RESULTADOS DEL ENSAYO   |  |                               |                          |                            |               |
| Probeta   | Altura (mm)  | Peso del dardo (Kg)           | Coefficiente             | Resistencia al impacto (J) | Tipo de falla |
| 1   | 400  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$ | 1.59                       | C             |
| 2   | 400  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$ | 1.59                       | A             |
| 3   | 450  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$ | 1.79                       | B             |
| 4   | 500  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$ | 1.99                       | A             |
| 5   | 600  | 0.405                         | $9.80665 \times 10^{-3}$ | 2.38                       | B             |
| FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS  |  |                               |                          |                            |               |
| Probeta 1   |  |                               |                          |                            |               |









|   |          |  |   |
|---|----------|--|---|
|    |          |    |   |
| Frontal   |          | Posterior  |   |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |   |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso adicional   | 0.176 gr  |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo C.- La probeta fue quebradiza, tuvo roturas en varios pedazos la placa no puede contener agua. |
| Probeta 2   |          |  |   |
|    |          |    |   |
| Frontal   |          | Posterior  |   |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |   |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr  |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.                      |
| Probeta 3   |          |  |   |
|  |          |  |   |
| Frontal   |          | Posterior  |   |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |   |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr  |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa.          |
| Probeta 4   |          |  |   |
|  |          |  |   |
| Frontal   |          | Posterior  |   |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |  |   |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso total   | 0.176 gr  |





|   |          |   |  |
|---|----------|---|--|
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla   | Falla tipo A.- Grieta o fisura en una sola superficie, la placa puede contener agua.             |
| Probeta 5   |          |   |  |
|  |          |   |  |
| Frontal   |          | Posterior   |  |
| <b>OBSERVACIONES</b>  |          |   |  |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso adicional  | 0.352 gr   |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla   | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa. |
| <b>EVALUACIÓN</b>   |          | <b>OBSERVACIONES</b>  |  |
| Promedio de energía absorbida   | 1.87 J   | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, existe fisuras homogéneas en las dos caras de la probeta pero no causando ruptura total. |  |

Fuente: El autor

**Tabla 4.33.** Ficha técnica de grupo 9 ensayado a impacto

|   |  |  |                    |   |  |
|---|--|--|--------------------|---|--|
|  |  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |                    |  |  |
| <b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS</b>                     |  |  |                    |   |  |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |  |  |                    |   |  |
| Fecha:  | 14/08/2017   | Ciudad:  | Ambato             |   |  |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica |  |                    |   |  |
| Máquina:  | Máquina de Ensayo de Impacto por caída de dardo                              |  |                    |   |  |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas  | Revisado por:  | Ing. Segundo Espín |   |  |
| <b>Parámetros de Ensayos a Impacto</b>  |  |  |                    |   |  |
| Norma:  | ASTM- 5628-10  | Diámetro de dardo  | 20 mm              |   |  |
| Estratificación   | Manual   | Forma de secado  | Natural            |   |  |
| Orientación:  | Entrecruzada   | N° de probetas   | 5                  |   |  |
| Matriz  | Resina Poliéster   | Fracción Volumétrica   | Matriz             | 75%   |  |
| Refuerzo  | Fibra de tuna  |  | Refuerzo           | 25%   |  |
| Masa de dardo   | 0.2293 Kg  | Dimensiones  | 58*58* espesor     |   |  |
| Geometría   | FE   | Espesor promedio   | 6 mm               |   |  |
| Diámetro del dardo  | 20 mm  | Diámetro interior del soporte  | 40 mm              |   |  |



| RESULTADOS DEL ENSAYO   |             |                     |   |                            |               |
|---|-------------|---------------------|---|----------------------------|---------------|
| Probeta   | Altura (mm) | Peso del dardo (Kg) | Coefficiente  | Resistencia al impacto (J) | Tipo de falla |
| 1   | 400         | 0.405               | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 1.59                       | B             |
| 2   | 400         | 0.405               | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 1.59                       | C             |
| 3   | 450         | 0.405               | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 1.79                       | C             |
| 4   | 500         | 0.405               | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 1.99                       | B             |
| 5   | 600         | 0.405               | $9.80665 \times 10^{-3}$  | 2.38                       | C             |
| FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS  |             |                     |   |                            |               |
| Probeta 1   |             |                     |   |                            |               |
|    |             |                     |                         |                            |               |
| Frontal   |             |                     | Posterior   |                            |               |
| EVALUACIÓN  |             |                     | OBSERVACIONES   |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1           |                     | Peso adicional  | 0.176 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr    | Tipo de falla       | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa.          |                            |               |
| Probeta 2   |             |                     |   |                            |               |
|  |             |                     |                       |                            |               |
| Frontal   |             |                     | Posterior   |                            |               |
| EVALUACIÓN  |             |                     | OBSERVACIONES   |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1           |                     | Peso adicional  | 0.176 gr                   |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr    | Tipo de falla       | Falla tipo C.- La probeta fue quebradiza, tuvo roturas en varios pedazos la placa no puede contener agua. |                            |               |
| Probeta 3   |             |                     |   |                            |               |
|  |             |                     |                       |                            |               |
| Frontal   |             |                     | Posterior   |                            |               |
| EVALUACIÓN  |             |                     | OBSERVACIONES   |                            |               |
| Rodelas adicionales   | 1           |                     | Peso adicional  | 0.176gr                    |               |
| Peso adicional  | 0.176 gr    | Tipo de falla       | Falla tipo C.- La probeta fue quebradiza, tuvo roturas en varios pedazos la placa no puede contener agua. |                            |               |

| Probeta 4   |          |  |   |
|---|----------|--|---|
|  |          |    |   |
| Frontal   |          | Posterior  |   |
| EVALUACIÓN  |          | OBSERVACIONES  |   |
| Rodelas adicionales   | 1        | Peso adicional   | 0.176 gr  |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo B.- Grieta que penetra por el espesor, es decir el agua penetra a través de la placa.          |
| Probeta 5   |          |  |   |
|  |          |    |   |
| Frontal   |          | Posterior  |   |
| EVALUACIÓN  |          | OBSERVACIONES  |   |
| Rodelas adicionales   | 2        | Peso adicional   | 0.352 gr  |
| Peso adicional  | 0.176 gr | Tipo de falla  | Falla tipo C.- La probeta fue quebradiza, tuvo roturas en varios pedazos la placa no puede contener agua. |
| EVALUACIÓN  |          | OBSERVACIONES  |   |
| Promedio de energía absorbida   | 1.87 J   | La falla inicia en la matriz distribuyendo el impacto, existe fisuras homogéneas rupturas parciales y rupturas totales probetas. |   |

Fuente: El autor

#### 4.12. ENSAYO DE FRACTOGRAFÍA, MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Tabla 4.34. Adherencia entre la matriz y el refuerzo vista al microscopio

|  | UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA |  |
|---|--|---|
| FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE EN ENSAYOS                            |  |   |
| DATOS INFORMATIVOS  |  |   |
| Fecha:  | 17/08/2017   | Ciudad: Ambato  |

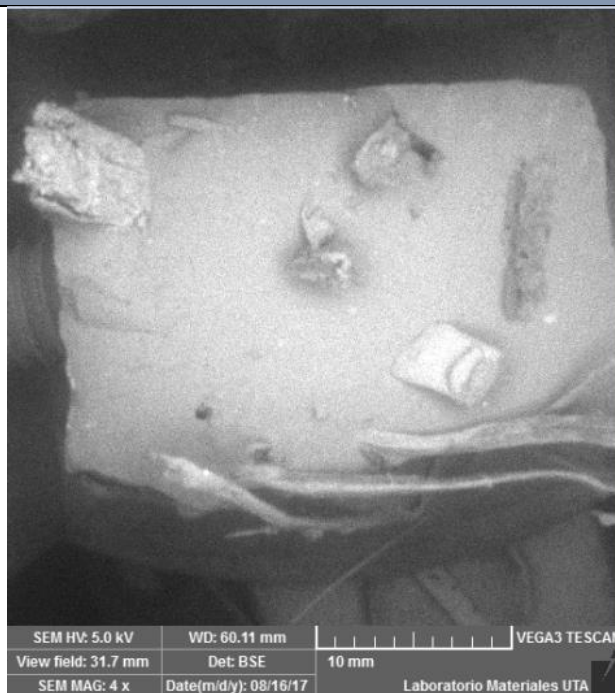
|                  |  |               |                    |
|------------------|--|---------------|--------------------|
| Establecimiento: | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica- Área de Materiales |               |                    |
| Máquina:         | Microscopio de barrido- TESCAN VEGA 3SBU   |               |                    |
| Elaborado por:   | Daniel Vargas  | Revisado por: | Ing. Segundo Espín |

**Parámetros de Ensayos por Fractografía**

|                 |                  |                      |          |     |
|-----------------|------------------|----------------------|----------|-----|
| Estratificación | Manual           | N° de probetas       | 1        |     |
| Orientación:    | 0°               | Dimensiones          | 15x10x5  |     |
| Matriz          | Resina Poliéster | Fracción Volumétrica | Matriz   | 70% |
| Refuerzo        | Fibra de tuna    |                      | Refuerzo | 30% |

**FOTOMICROGRAFÍAS DEL ENSAYO EN PROBETAS**

**IMÁGEN VISTAS EN EL ENSAYO**



**OBSERVACIÓN**

Existe una muy buena adherencia entre la matriz y el refuerzo, la fibra se distribuye en en toda el área de la probeta como se puede observar el interfaz a 5.0 kV la fractura del material.

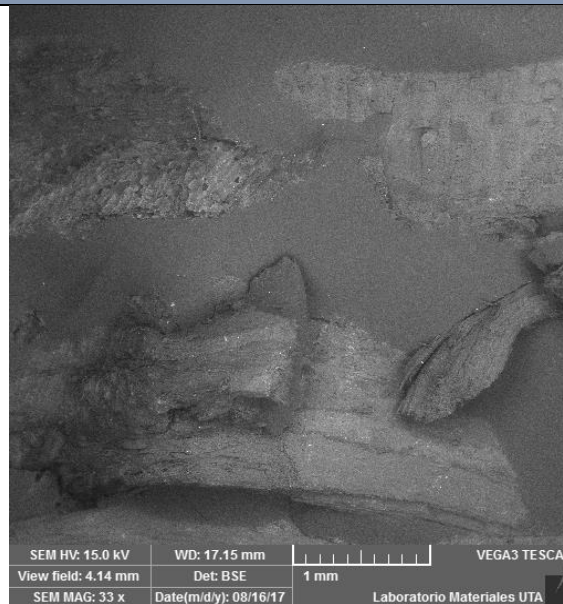
**IMÁGEN VISTA EN EL ENSAYO**



### OBSERVACIÓN

En cuanto a las probetas de fibra entrecruzada existe muy buena adhesión, el refuerzo no se desprende de la matriz y el espacio que se genera en la ruptura es homogéneo, el ensayo fue realizado a 10 kV.

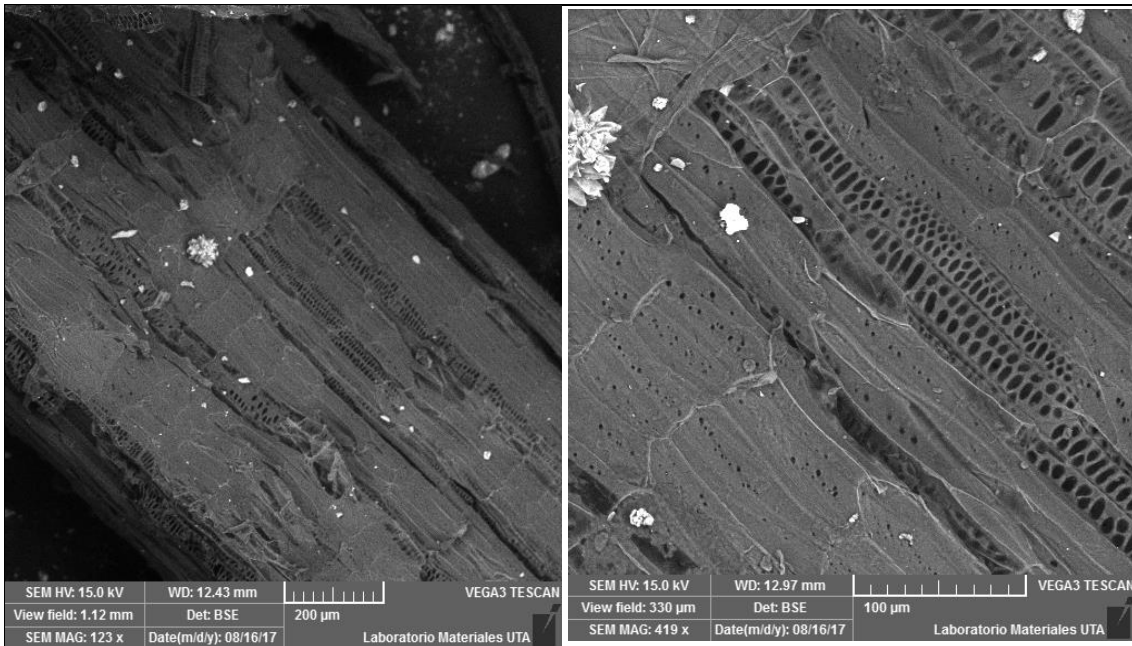
### IMÁGEN VISTA EN EL ENSAYO



### OBSERVACIÓN

La fibra mantiene su espesor normal no hay presencia de dilatación, en ciertas partes existe acumulación de fibra y otras de resina.

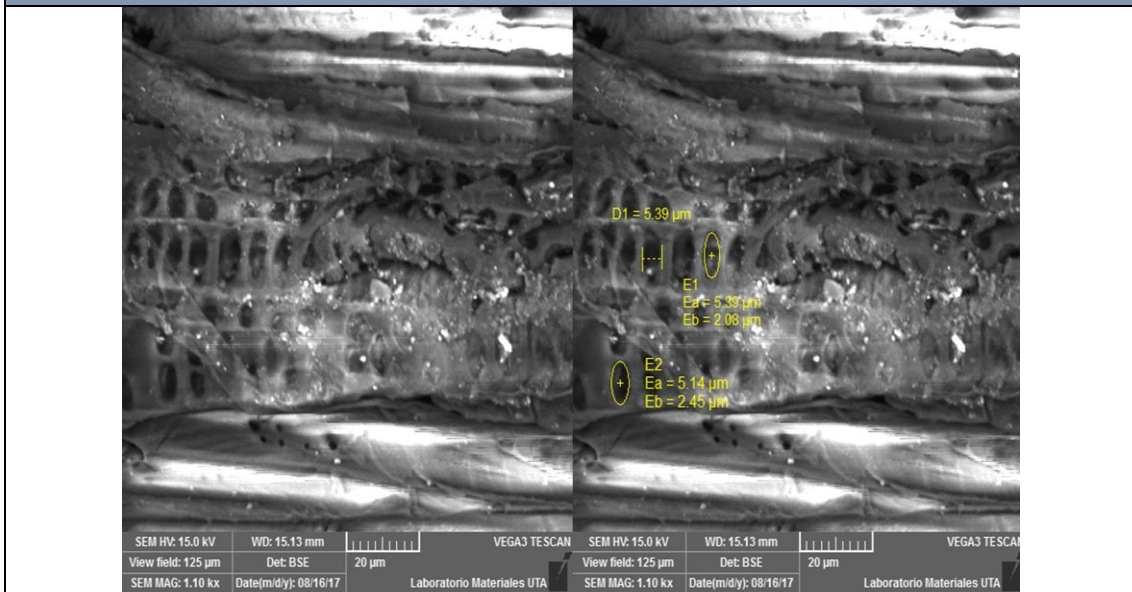
### IMÁGEN VISTA EN EL ENSAYO



### OBSERVACIÓN

Una de las características principales es que mantiene su estructura formada por celdas vista en fotomicrografías no alterando la unión de las celdas formadas.

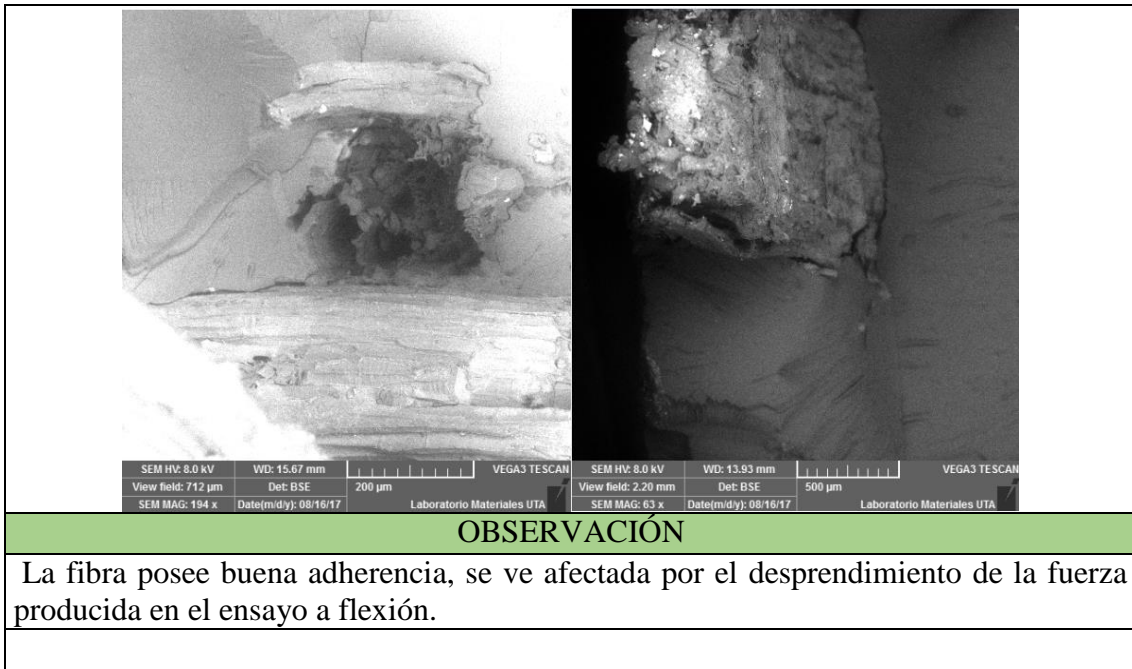
### IMÁGEN VISTA EN EL ENSAYO



### OBSERVACIÓN

En la sección transversal de la fibra se puede observar que su estructura interna, forma una especie de celdas elípticas alineadas manteniendo similitud en las dimensiones en toda su configuración.

### IMÁGEN VISTA EN EL ENSAYO



**Fuente:** El autor

#### **4.13. ANALISIS DE RESULTADOS**

Acorde a los resultados obtenidos por los ensayos aplicados al material compuesto



**Tabla 4.35.** Identificación y caracterización de los grupos de probetas para los ensayos aplicados al material compuesto

| Probetas | Descripción   |
|----------|---|
| Grupo 1  | Probeta de ensayo a tracción con 65% resina poliéster, 35% fibra de tuna, orientación 0°      |
| Grupo 2  | Probeta de ensayo a tracción con 70% resina poliéster, 30% fibra de tuna, orientación 0°      |
| Grupo 3  | Probeta de ensayo a tracción con 75% resina poliéster, 25% fibra de tuna, orientación 0°      |
| Grupo 4  | Probeta de ensayo a flexión con 65% resina poliéster, 35% fibra de tuna, orientación 45°      |
| Grupo 5  | Probeta de ensayo a flexión con 70% resina poliéster, 30% fibra de tuna, orientación 45°      |
| Grupo 6  | Probeta de ensayo a flexión con 75% resina poliéster, 25% fibra de tuna, orientación 45°      |
| Grupo 7  | Probeta de ensayo a impacto con 65% resina poliéster, 35% fibra de tuna, fibras entrecruzadas |
| Grupo 8  | Probeta de ensayo a impacto con 70% resina poliéster, 30% fibra de tuna, fibras entrecruzadas |
| Grupo 9  | Probeta de ensayo a impacto con 75% resina poliéster, 25% fibra de tuna, fibras entrecruzadas |

Fuente: El autor

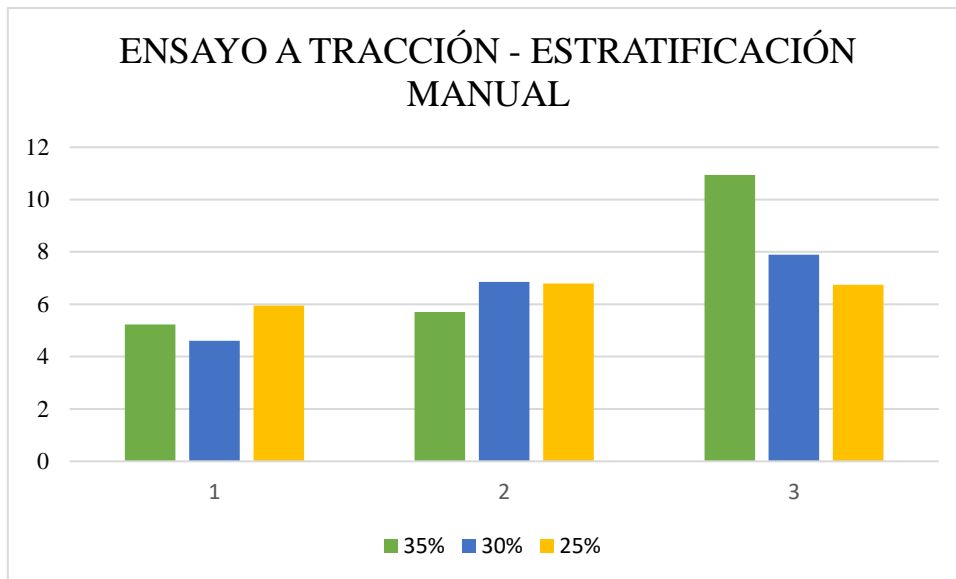
#### 4.13.1. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MEJORES GRUPOS DE ENSAYO

##### 4.13.1.1. Resultados obtenidos por ensayos a tracción

**Tabla 4.36.** Resultado de probetas ensayadas a tracción método estratificación manual

| ESTRATIFICACIÓN MANUAL |                |          |              |
|------------------------|----------------|----------|--------------|
| FRACCIÓN VOLUMÉTRICA   | TIPO DE FIBRAS |          |              |
| REFUERZO               | 0°             | 45°      | Entrecruzada |
| 35%                    | 5.23 MPa       | 5.7 Mpa  | 10.94 MPa    |
| 30%                    | 4.61 MPa       | 6.86 Mpa | 7.9 MPa      |
| 25%                    | 5.95 MPa       | 6.79 MPa | 6.75 MPa     |

Fuente: El autor



**Figura 4.14.** Gráfica de las probetas ensayadas a tracción

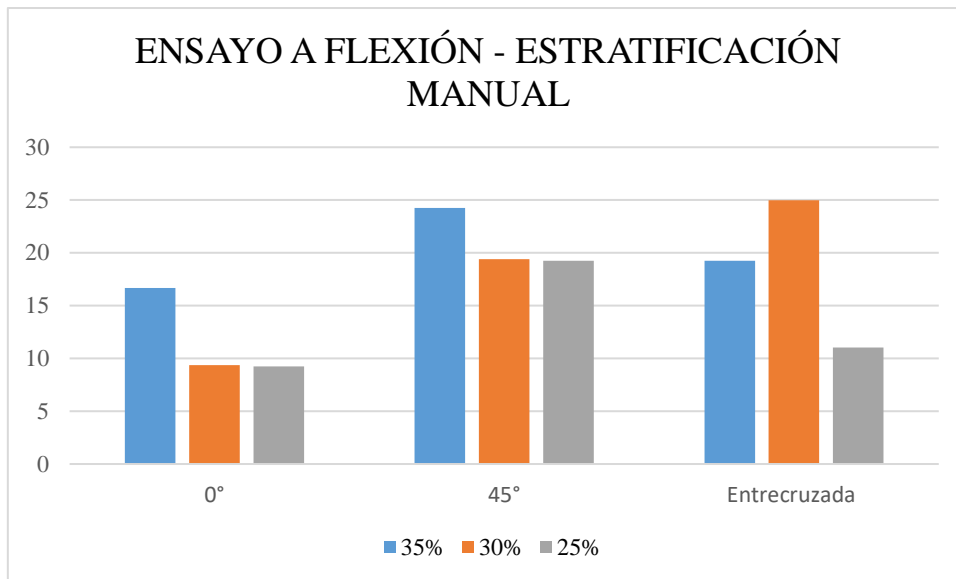
**Fuente:** El autor

Mediante la representación de resultados, se puede apreciar que los valores obtenidos en relación al esfuerzo de la rotura por ensayos a tracción los mejores son de la primera ficha técnica con fibra entrecruzada y caracterización de 75% matriz con 25% refuerzo con un esfuerzo de tracción máximo de 10.94 MPa y un módulo de elasticidad de 450 MPa. El segundo caso con obtener excelentes resultados son de la segunda ficha técnica con fibra entrecruzada y caracterización de 70% matriz con 30% refuerzo con un esfuerzo de tracción máximo de 7.9 MPa y un módulo de elasticidad de 350.7 MPa.

**Tabla 4.37.** Resultado de probetas ensayadas a flexión método estratificación manual

| ESTRATIFICACIÓN MANUAL |                |           |              |
|------------------------|----------------|-----------|--------------|
| FRACCIÓN VOLUMÉTRICA   | TIPO DE FIBRAS |           |              |
| REFUERZO               | 0°             | 45°       | Entrecruzada |
| 35%                    | 16.68 MPa      | 24.25MPa  | 19.26 MPa    |
| 30%                    | 9.37 MPa       | 19.39 MPa | 24.98 MPa    |
| 25%                    | 9.23 MPa       | 19.26 MPa | 11.03MPa     |

**Fuente:** El autor



**Figura 4.15.** Gráfica de las probetas ensayadas a flexión

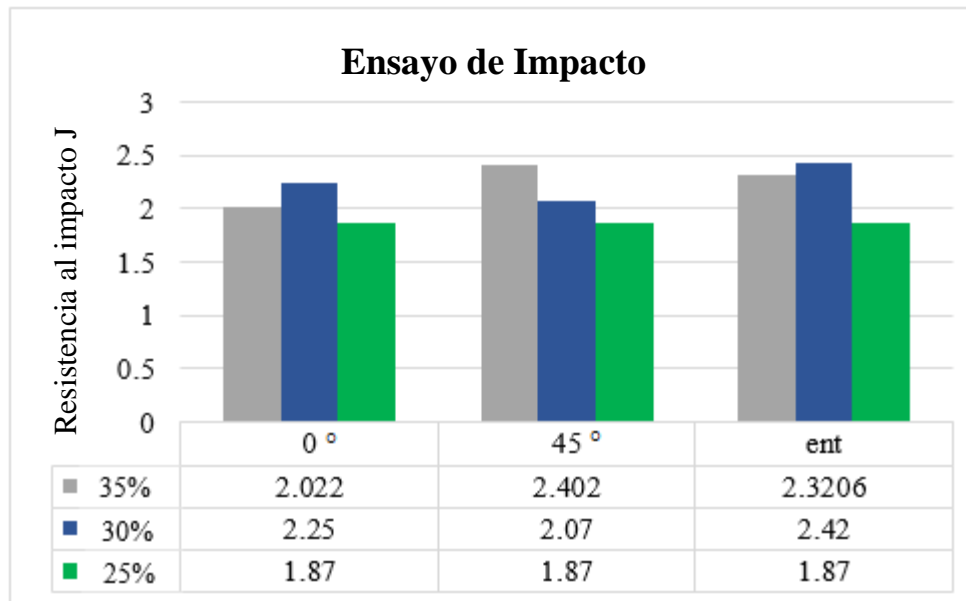
**Fuente:** El autor

Para ensayos a flexión en la representación, se puede apreciar que los valores obtenidos en relación al esfuerzo de la rotura fue la segunda ficha técnica con fibra entrecruzada y caracterización de 70% matriz con 30% refuerzo con un esfuerzo de flexión máximo de 24.98 MPa y un módulo de elasticidad de 2500 MPa. El segundo caso con obtener excelentes resultados son de la segunda ficha técnica fibra con orientación a 45° y caracterización de 70% matriz con 30% refuerzo con un esfuerzo de flexión máxima de 24.25 MPa y un módulo de elasticidad de 3810 MPa.

**Tabla 4.38.** Resultado de probetas ensayadas a impacto método estratificación manual

| Fracción volumétrica (Refuerzo) | Tipo de fibra | J      | Estratificación |
|---------------------------------|---------------|--------|-----------------|
| 35%                             | 0°            | 2.022  | Manual          |
|                                 | 45°           | 2.402  |                 |
|                                 | Entrecruzada  | 2.3206 |                 |
| 30%                             | 0°            | 2.25   |                 |
|                                 | 45°           | 2.07   |                 |
|                                 | Entrecruzada  | 2.42   |                 |
| 25%                             | 0°            | 1.87   |                 |
|                                 | 45°           | 1.87   |                 |
|                                 | Entrecruzada  | 1.87   |                 |

**Fuente:** El autor



**Figura 4.16.** Gráfica de las probetas ensayadas a impacto

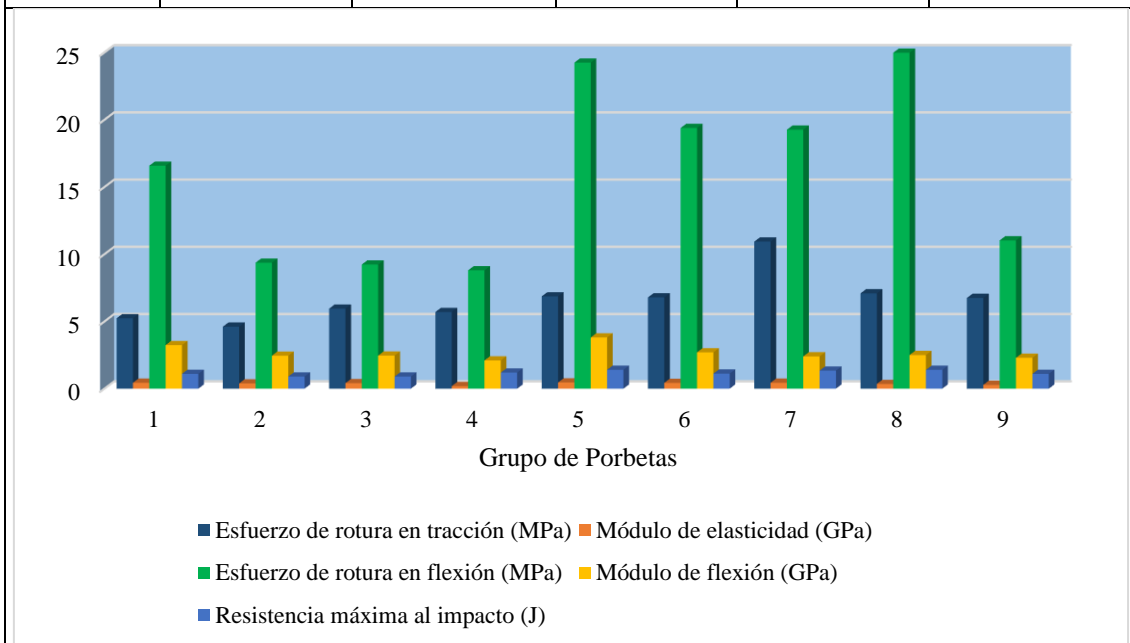
**Fuente:** El autor

Para ensayos a impacto en la representación, se refleja que la segunda ficha técnica con fibra entrecruzada y caracterización de 70% matriz con 30% refuerzo a una altura de 60 cm y resistencia al impacto de 2.42 J. El segundo caso con obtener excelentes resultados son de la segunda ficha técnica con orientación de fibra a 45° entrecruzada y caracterización de 70% matriz con 30% refuerzo a una altura de 55 cm y resistencia al impacto de 2.07 J.

**Tabla 4.39.** Ficha de evaluación de cada combinación de material compuesto

|   |   |   |
|---|---|---|
|  | <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA<br/>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> |  |
| <b>FICHA DE EVALUACIÓN DE CADA COMBINACIÓN DE MATERIAL COMPUESTO</b>                |   |   |
| <b>DATOS INFORMATIVOS</b>   |   |   |
| Establecimiento:  | Laboratorio de Ingeniería de Materiales Facultad Ingeniería Civil y Mecánica- Área de Materiales                    |   |
| Máquina:  | Microscopio de barrido- TESCAN VEGA 3SBU  |   |
| Elaborado por:  | Daniel Vargas   | Revisado por: Ing. Segundo Espín  |
| <b>ENSAYOS</b>  |   |   |

| Grupo de probetas | Tracción                 |                             | Flexión                  |                         | Impacto                           |
|-------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
|                   | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de elasticidad (GPa) | Esfuerzo de rotura (MPa) | Módulo de flexión (GPa) | Resistencia máxima al impacto (J) |
| 1ro               | 5.23                     | 0.44                        | 16.58                    | 3.24                    | 1.1                               |
| 2do               | 4.61                     | 0.39                        | 9.37                     | 2.45                    | 0.9                               |
| 3ro               | 5.95                     | 0.41                        | 9.23                     | 2.46                    | 0.9                               |
| 4to               | 5.7                      | 0.19                        | 8.8                      | 2.10                    | 1.2                               |
| 5to               | 6.86                     | 0.46                        | 24.25                    | 3.81                    | 1.4                               |
| 6to               | 6.79                     | 0.43                        | 19.39                    | 2.7                     | 1.12                              |
| 7mo               | 10.94                    | 0.44                        | 19.26                    | 2.4                     | 1.34                              |
| 8vo               | 7.09                     | 0.35                        | 24.98                    | 2.5                     | 0.9                               |
| 9no               | 6.75                     | 0.28                        | 11.028                   | 2.3                     | 1.1                               |



A continuación se procede a realizar la interpretación de resultados de las caracterizaciones realizadas con los valores promedios y desviación estándar.

**Tabla 4.40.** Interpretación de resultados de ensayos a tracción, flexión e impacto

| Orientación | Probetas            | TRACCION                   |           |                       |           | FLEXION                   |           |                   |           | IMPACTO                    |           |
|-------------|---------------------|----------------------------|-----------|-----------------------|-----------|---------------------------|-----------|-------------------|-----------|----------------------------|-----------|
|             |                     | Esfuerzo a tracción máxima | Variación | Módulo de elasticidad | Variación | Esfuerzo a flexión máxima | Variación | Módulo de flexión | Variación | Resistencia al impacto (J) | Variación |
| 0           | Grupo 1             | 5.23                       | -1.43     | 437.38                | 29.36     | 16.58                     | 0.70      | 3223.85           | 592.50    | 2.02                       | -0.10     |
|             | Grupo 2             | 4.61                       | -2.05     | 384.94                | -23.08    | 9.37                      | -6.51     | 2433.99           | -197.36   | 2.40                       | 0.28      |
|             | Grupo 3             | 5.95                       | -0.71     | 406.08                | -1.94     | 9.23                      | -6.65     | 2452.80           | -178.55   | 2.32                       | 0.20      |
| 45          | Grupo 4             | 5.70                       | -0.96     | 484.67                | 76.65     | 8.80                      | -7.08     | 2044.70           | -586.65   | 2.25                       | 0.13      |
|             | Grupo 5             | 6.86                       | 0.20      | 459.98                | 51.96     | 24.25                     | 8.37      | 3784.96           | 1153.61   | 2.07                       | -0.05     |
|             | Grupo 6             | 6.79                       | 0.13      | 434.03                | 26.01     | 19.39                     | 3.51      | 2646.51           | 15.16     | 2.42                       | 0.30      |
| Entr.       | Grupo 7             | 10.94                      | 4.28      | 441.81                | 33.79     | 19.26                     | 3.38      | 2398.88           | -232.47   | 1.87                       | -0.25     |
|             | Grupo 8             | 7.09                       | 0.43      | 350.70                | -57.32    | 24.98                     | 9.10      | 2459.99           | -171.36   | 1.87                       | -0.25     |
|             | Grupo 9             | 6.75                       | 0.09      | 272.60                | -135.42   | 11.028                    | -4.85     | 2236.44           | -394.91   | 1.87                       | -0.25     |
|             | Promedio            | 6.66                       |           | 408.02                |           | 15.88                     |           | 2631.35           |           | 2.12                       |           |
|             | Desviación Estándar | 3.28                       |           | 5075                  |           | 33.57                     |           | 285119.44         |           | 0.05                       |           |

**Fuente:** El autor

Una vez obtenido los resultados de cada ensayo realizado se procede a determinar la combinación que brinde mejores resultados para lo cual se obtuvo el valor promedio y la desviación estándar para realizar el método de distribución t-student

### **Posible aplicación industrial**

El material compuesto a base de fibra de tuna fue ensayado mecánicamente obteniendo los mejores resultados a flexión.

Se recomienda los siguientes usos:

### **Usos industriales**

Para la fabricación de sillas que tienen su esfuerzo máximo a flexión muy similar al del polietileno de alta densidad de 22.7 MPa [3].

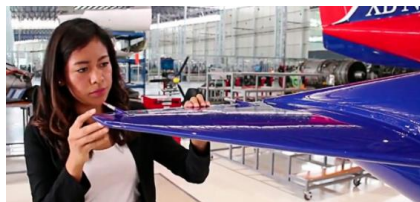
### **Industria mobiliaria.**

Para la construcción de tableros que pueden ser utilizados en closets, divisiones de interiores y estantes en reemplazo de la fibra de bagazo de caña con un esfuerzo máximo de flexión de 9.42 MPa.

Puede actuar en reemplazo de la madera plástica que consta de un esfuerzo máximo de flexión de 17.53MPa, utilizado en forma de tableros para el diseño y construcción de espacios interiores, tableros para dar acabados a estantes, mesas, escritorios o reposteros por presentar una buena flexibilidad y absorber impactos de caída además de un realce en decoraciones, evitando así el uso de madera [18].

### **Industria aeronáutica**

En la parte aeronáutica se están desarrollando la investigación del uso de la fibra de tuna en los alerones para la reducción de peso del ala. Este tipo de estudio se está desarrollando y aplicando en el laboratorio aeroespacial de Querétaro [19].



**Figura 4.17.** Aplicación de la fibra de tuna en la industria aeronáutica [19].

### **Verificación de la hipótesis**

Para el estudio de caracterización realizado, la hipótesis se comprueba por medio de análisis estadísticos, en este caso se realizó por el método de t-Student para los diferentes grupos con su diferente configuración y fracción volumétrica especificado y el proceso de fabricación que brinde mejores propiedades mecánicas.

#### **Hipótesis Nula (Ho)**

La evaluación realizada del material compuesto con matriz poliéster y con refuerzo de fibras de hoja de tuna permitirá el análisis de la mejor combinación que brinde excelentes propiedades mecánicas.

La verificación de las hipótesis se lo realiza mediante los resultados obtenidos de los esfuerzos máximos en tracción, flexión e impacto.

#### **Hipótesis Alternativa (Ha)**

La evaluación realizada del material compuesto con matriz poliéster y con refuerzo de fibras de hoja de tuna no permitirá el análisis de la mejor combinación que brinde excelentes propiedades mecánicas.

### **Verificación de la hipótesis**

#### **Evidencia muestral**

En la tabla 4.38 se da a conocer los resultados obtenidos en los ensayos realizados del cual se trabaja con los resultados de esfuerzos máximos en tracción y flexión, en el caso de los resultados de los ensayos a impacto se trabaja con los resultados máximos.

El nivel de significancia se da mediante un ensayo bilateral con un rango de aceptación de la hipótesis alternativa con un nivel de confianza del 95% y un nivel de significación del 5%.

$\alpha$  = Nivel de significación (0.05)

La probabilidad se la calcula mediante la ecuación 4.7:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (\text{Ec 4.7})$$



Donde:

$X$  = Primer resultado con mejores características por ensayos a tracción

$\bar{X}$  = Media aritmética de  $X$

$Y$  = Segundo resultado con mejores características por ensayos a tracción

$\bar{Y}$  = Media aritmética de  $Y$

### Verificación en ensayos a tracción

**Tabla 4.41.** Verificación de ensayos a tracción de los mejores resultados

| MUESTRA          | TABLA 12 | TABLA 13 | x     | x <sup>2</sup> |
|------------------|----------|----------|-------|----------------|
| 1                | 4.05     | 5.58     | -1.53 | 2.3409         |
| 2                | 7.45     | 5.96     | 1.49  | 2.2201         |
| 3                | 11.94    | 4.25     | 7.69  | 59.1361        |
| 4                | 11.53    | 9.83     | 1.7   | 2.89           |
| 5                | 12.84    | 7.02     | 5.82  | 33.8724        |
| <b>SUMATORIA</b> | 47.81    | 32.64    | 15.17 | 100.4595       |
| <b>PROMEDIO</b>  | 9.562    | 6.528    | 3.034 | -              |

Para poder realizar el cálculo de la desviación estándar para la media aritmética de  $X$  se utilizó la ecuación 4.7.

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{5-1} (55.12)}$$

$$S_x = 3.712$$

Donde:

$S_x$  = Desviación estándar  $X$

$n$  = Tamaño de muestra  $X$

Para poder realizar el cálculo de la desviación estándar para para la media aritmética de  $Y$  se utilizó la ecuación 4.9.

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad \text{(Ec 4.9)}$$

Donde:

$S_y$  = Desviación estándar  $Y$

$n$  = Tamaño de muestra  $Y$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{5-1}} \quad (17.56)$$

$$S_y = 2.095$$

### Aplicación método de distribución t-student

Se realiza el cálculo del valor estadístico se lo realiza mediante la ecuación 4.10.

$$t_c = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{(n-1)S_x^2 + (m-1)S_y^2}{n+m-2} \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{1}{m}}}} \quad (\text{Ec 4.10})$$

$t_c$  = Valor estadístico calculado

$$t_c = \frac{9.562 - 6.528}{\sqrt{\frac{(5-1)3.712^2 + (5-1)2.095^2}{5+5-2} \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}}$$

$$t_c = 1.266$$

Regla de decisión si  $t_c < t_\alpha$  se acepta  $H_0$

### Grados de libertad

Para calcular los grados de libertad se aplica la ecuación 4.11.

$$gl = n + m - 2 \quad (\text{Ec4.11})$$

$gl$  = grados de libertad

$$gl = 5 + 5 - 2$$

$$gl = 8$$

### Valor crítico en tabla t- student

Tabla t-Student



| Grados de libertad | 0.25   | 0.1    | 0.05   | 0.025   | 0.01    | 0.005   |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1                  | 1.0000 | 3.0777 | 6.3137 | 12.7062 | 31.8210 | 63.6559 |
| 2                  | 0.8165 | 1.8856 | 2.9200 | 4.3027  | 6.9645  | 9.9250  |
| 3                  | 0.7649 | 1.6377 | 2.3534 | 3.1824  | 4.5407  | 5.8408  |
| 4                  | 0.7407 | 1.5332 | 2.1318 | 2.7765  | 3.7469  | 4.6041  |
| 5                  | 0.7267 | 1.4759 | 2.0150 | 2.5706  | 3.3649  | 4.0321  |
| 6                  | 0.7176 | 1.4398 | 1.9432 | 2.4469  | 3.1427  | 3.7074  |
| 7                  | 0.7111 | 1.4149 | 1.8946 | 2.3646  | 2.9979  | 3.4995  |
| 8                  | 0.7064 | 1.3968 | 1.8595 | 2.3060  | 2.8965  | 3.3554  |
| 9                  | 0.7027 | 1.3830 | 1.8331 | 2.2622  | 2.8214  | 3.2498  |
| 10                 | 0.6998 | 1.3722 | 1.8125 | 2.2281  | 2.7638  | 3.1693  |

Figura 4.18. Distribución t-student con n grados de libertad

$$t_{\alpha} = 1.8595$$

Resultado

$$t_c < t_{\alpha}$$

$$1.266 < 1.8595$$

Una vez comprobado por el método t- student podemos ver que  $t_c$  es menor que  $t_{\alpha}$  por tal razón se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula por lo que la fracción volumétrica utilizada de 70% matriz y 30% refuerzo es el ideal para tracción.

### Verificación en ensayos a Flexión

Los grupos de probetas de las tablas 19 y 22 presentaron mejores resultados en ensayo a flexión con los que se trabaja para la demostración de la hipótesis.

Tabla 4.42. Verificación en ensayos a Flexión de los mejores resultados

| MUESTRA | TABLA 19 | TABLA 22 | x     | x <sup>2</sup> |
|---------|----------|----------|-------|----------------|
| 1       | 31.54    | 17.55    | 13.99 | 195.7201       |
| 2       | 35.62    | 13.35    | 22.27 | 495.9529       |
| 3       | 21.48    | 20.1     | 1.38  | 1.9044         |
| 4       | 19.47    | 19.13    | 0.34  | 0.1156         |

|           |        |        |        |          |
|-----------|--------|--------|--------|----------|
| 5         | 13.14  | 29.78  | -16.64 | 276.8896 |
| SUMATORIA | 121.25 | 99.91  | 21.34  | 970.5826 |
| PROMEDIO  | 24.25  | 19.982 | 4.268  | -        |

Para poder realizar el cálculo de la desviación estándar se utilizó la ecuación

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{5-1} (336.07)}$$

Donde:

$S_x$  = Desviación estándar X

n = Tamaño de muestra X

$$S_x = 9.1702$$

Para poder realizar el cálculo de la desviación estándar se utilizó la ecuación 4.12.

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (\text{Ec 4.12})$$

Donde:

$S_y$  = Desviación estándar Y

n = Tamaño de muestra Y

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{5-1} (146.64)}$$

$$S_y = 6.055$$

### Aplicación método t-student

Se realiza el cálculo del valor estadístico por medio de la ecuación 4.10.

$$t_c = \frac{24.25 - 19.982}{\sqrt{\frac{(5-1)9.1702^2 + (5-1)6.055^2}{5+5-2} \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}}}$$

$t_c$  = Valor estadístico calculado

$$t_c = 1.3813$$

Regla de decisión si  $t_c < t_\alpha$  se acepta  $H_0$

### Grados de libertad

Para calcular los grados de libertad se aplica la ecuación 4.11

$$gl = n+m-2$$

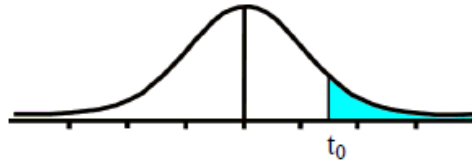
$gl =$  grados de libertad

$$gl = 5+5-2$$

$$gl = 8$$

### Valor crítico en tabla t- student

Tabla t-Student



| Grados de libertad | 0.25   | 0.1    | 0.05   | 0.025   | 0.01    | 0.005   |
|--------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 1                  | 1.0000 | 3.0777 | 6.3137 | 12.7062 | 31.8210 | 63.6559 |
| 2                  | 0.8165 | 1.8856 | 2.9200 | 4.3027  | 6.9645  | 9.9250  |
| 3                  | 0.7649 | 1.6377 | 2.3534 | 3.1824  | 4.5407  | 5.8408  |
| 4                  | 0.7407 | 1.5332 | 2.1318 | 2.7765  | 3.7469  | 4.6041  |
| 5                  | 0.7267 | 1.4759 | 2.0150 | 2.5706  | 3.3649  | 4.0321  |
| 6                  | 0.7176 | 1.4398 | 1.9432 | 2.4469  | 3.1427  | 3.7074  |
| 7                  | 0.7111 | 1.4149 | 1.8946 | 2.3646  | 2.9979  | 3.4995  |
| 8                  | 0.7064 | 1.3968 | 1.8595 | 2.3060  | 2.8965  | 3.3554  |
| 9                  | 0.7027 | 1.3830 | 1.8331 | 2.2622  | 2.8214  | 3.2498  |
| 10                 | 0.6998 | 1.3722 | 1.8125 | 2.2281  | 2.7638  | 3.1693  |

$$t_\alpha = 1.8595$$

### Resultado

$$t_c < t_\alpha$$

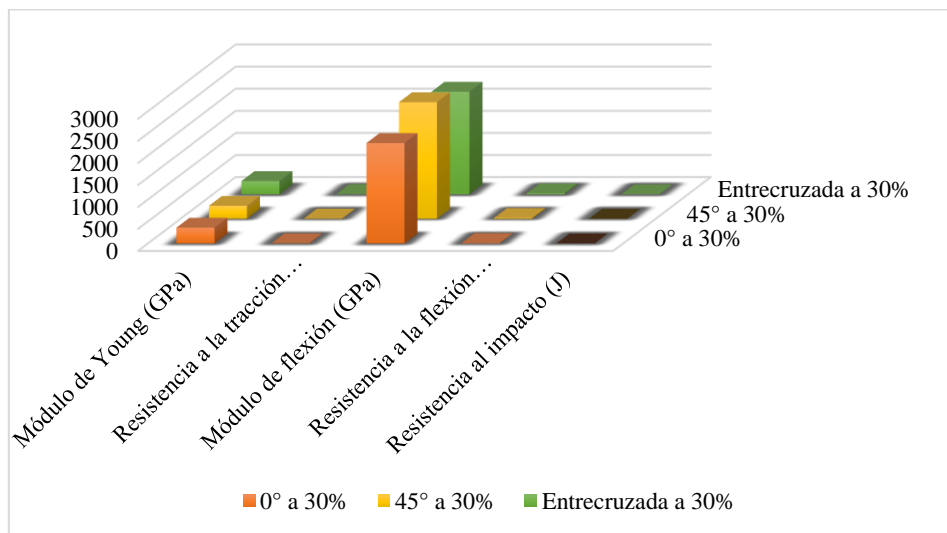
$$1.3813 < 1.8595$$

Una vez comprobado por el método t- student podemos ver que  $t_c$  es menor que  $t_\alpha$  por tal razón se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula por lo que la fracción volumétrica utilizada de 70% matriz y 30% refuerzo es el ideal para flexión.

**Tabla 4.43.** Mejores resultados ensayados

| Fibra                           | 0° a 30% | 45° a 30% | Entrecruzada a 30% |
|---------------------------------|----------|-----------|--------------------|
| Módulo de Yo-ung (MPa)          | 358.8    | 295.66    | 299.33             |
| Resistencia a la tracción (MPa) | 4.61     | 6.86      | 7.9                |
| Módulo de flexión (MPa)         | 2282.54  | 2646.51   | 2323.93            |
| Resistencia a la flexión (MPa)  | 9.37     | 19.39     | 19.98              |
| Resistencia al impacto (J)      | 2.25     | 2.07      | 2.42               |

Fuente: Autor



**Figura 4.19.** Representación tridimensional de mejores resultados ensayados

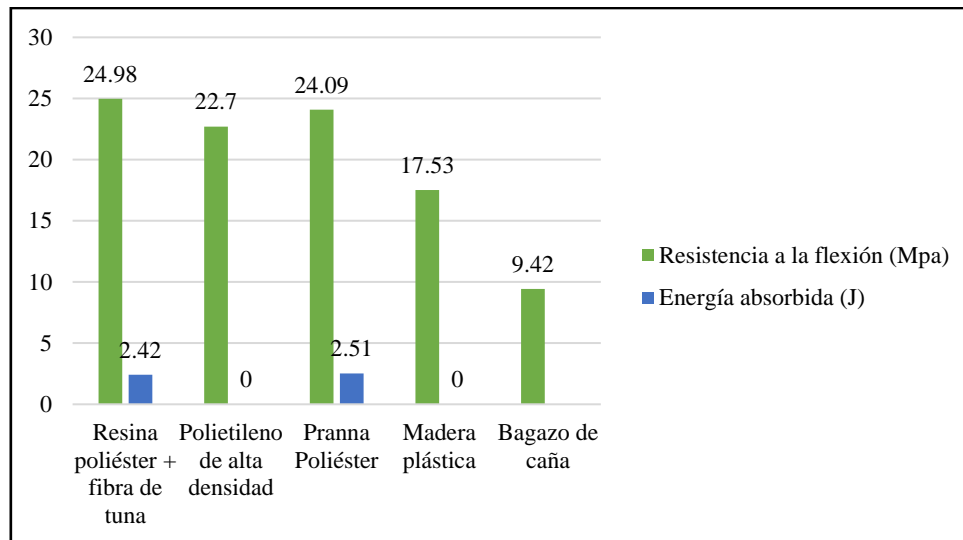
En la tabla 4.43 se presenta la comparación entre la resina poliéster más fibra de tuna, polietileno de alta densidad, pranna poliéster, fibra de bagazo de caña y madera plástica.

| Resistencia a la flexión Mpa     |                                |                       |         |
|----------------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------|
| MATERIALES                       | Resistencia a la flexión (Mpa) | Energía absorbida (J) | Fuente  |
| Resina poliéster + fibra de tuna | 24.98                          | 2.42                  | [Autor] |
| Polietileno de alta densidad     | 22.7                           | -                     | [3]     |
| Pranna poliéster                 | 24.09                          | 2.51                  | [19]    |
| Madera plástica                  | 17.53                          | -                     | [19]    |
| Bagazo de caña                   | 9.42                           |                       |         |

Un sistema de carga en tres puntos, con una carga central en una viga y con apoyos simples

**Tabla 4.44.** Resistencia a flexión, ensayo en brindar mejores resultados

Fuente: Autor



**Figura 4.20.** Resistencia a la flexión MPa por parte de Resina poliéster + fibra de tuna, Polietileno de alta densidad, Pranna poliéster y Madera plástica, bagazo de caña.

**Fuente:** Autor

A través de los ensayos realizados a las diferentes fracciones volumétricas se puede observar que la estratificación manual con la mejor combinación es al 70% de matriz polimérica y al 30% de fibra de tuna, presentando mejores resultados a flexión con fibras entrecruzadas

Como un resumen general fue necesario realizar tabulación de los resultados ya que es un material compuesto nuevo, tipo de refuerzo que se propone y se desconocían sus propiedades mecánicas y por tal razón se desconocía si es aplicable o no al uso industrial.

Por medio de diagramas de barras se pueden representar la media aritmética y comparar entre sí cada grupo de ensayo a tracción, flexión e impacto y determinar el mejor grupo de fabricación, siendo el dominante el grupo conformado por 70% de matriz polimérica y 30% refuerzo de fibra de tuna.

Se realizó la verificación de la hipótesis por medio de un análisis estadístico, método T-Student para poder obtener un proceso ideal de elaboración, utilizando un gráfico de barras del material compuesto (matriz polimérica y refuerzo de fibra de tuna), se realizó una comparación con el polietileno de alta densidad, pranna poliéster y madera plástica, verificando que si cumple con las mínimas condiciones en relación a las propiedades mecánicas de partes internas de carrocerías, cumpliendo así la hipótesis.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### CONCLUSIONES

- Analizando los tres tipos de configuración para las probetas, en base a los resultados obtenidos las configuraciones a 45° y entrecruzadas fueron quienes otorgaron mejores resultados, pero tomando en cuenta el tipo de fabricación, y espesores promedios, la configuración de entrecruzadas presenta mejores propiedades mecánicas.
- El grupo siete del total de probetas ensayadas bajo el método de estratificación manual con fibra entrecruzada al 35% refuerzo y el 65% matriz, por tracción presentó como resultado el esfuerzo máximo de 10.94 MPa con un módulo de elasticidad de 441.81 MPa, presentando las mejores propiedades mecánicas bajo el esfuerzo a tracción.
- El grupo ocho del total de probetas ensayadas bajo el método de estratificación manual con fibra entrecruzada al 30% refuerzo y el 70% matriz, por flexión presentó como resultado el esfuerzo máximo de 24.98 MPa con un módulo de elasticidad de 2500 MPa, presentando las mejores propiedades mecánicas bajo el esfuerzo a flexión.
- El grupo ocho del total de probetas ensayadas bajo el método de estratificación manual con fibra entrecruzada al 30% refuerzo y el 70% matriz, por flexión dio como resultado el esfuerzo máximo de 24.98 MPa con un módulo de elasticidad de 2500 MPa, presentando las mejores propiedades mecánicas bajo el esfuerzo a flexión.
- En relación a los ensayos el grupo seis ensayadas bajo el método de estratificación manual por estratificación manual con fibra entrecruzada al 30% refuerzo y el 70% matriz, por flexión con orientación de fibra a 45° dio como resultado que el promedio de energía absorbida es de 2.42 J, presentando las mejores propiedades mecánicas bajo el método de caída de dardo.



- El grupo de probetas realizadas en base a la configuración de Entrecruzadas por ensayos a tracción, en las tres configuraciones resaltó el grupo de 30% refuerzo y 70% matriz con un esfuerzo máximo a tracción de 7.09 MPa y módulo de elasticidad de 350.7 MPa, para ensayos a flexión fueron muy buenos en las tres configuraciones predominando el grupo de 30% refuerzo y 70% matriz con un esfuerzo máximo a flexión de 24.98 MPa y módulo de elasticidad de 2500 MPa, para ensayos a impacto, el promedio de energía absorbida fue de 1.87 J, con lo que se puede decir es la mejor configuración para poder hacer útil en aplicaciones industriales.

## RECOMENDACIONES

- Fabricar un molde unificado para cada tipo de ensayo con las fracciones volumétricas y el área total calculada del total de probetas para poder tener un espesor unificado.
- Se recomienda que al momento de secar las hojas de tuna, extraer la celulosa de la hoja pero evitando el contacto con la fibra, ayudaría a que el tiempo de secado sea menor, obteniendo la fibra de mejor manera.
- Se recomienda realizar una limpieza del molde antes de proceder a aplicar la capa de cera desmoldándose, esperar entre 15 o 20 minutos dependiendo del área de trabajo y luego aplicar un líquido desmoldante, esperar aproximadamente 10 minutos para no tener inconvenientes al momento de la ubicación del refuerzo y posterior de la matriz polimérica.
- Verificar que no exista excesos de cera desmoldante, ya que afectaría al espesor de las probetas.
- Al momento de aplicar la matriz polimérica en el molde con el refuerzo se debe hacerlo uniformemente para evitar la formación de burbujas de aire que afectarían en los resultados deseados.
- La curación de las probetas se deben realizar a temperatura ambiente evitando temperaturas extremas que afectarían en su curado final pudiendo ocasionar deformaciones en las probetas.
- Al ser un material que está en fase de experimentación, realizar ensayos con diferentes configuraciones de fibra y cantidades volumétricas de refuerzo que aportarían a obtener mejores resultados.
- Utilizar equipos de protección personal específicamente mascarillas de uso industrial ya que al estar expuesto a los químicos de la resina poliéster afectan la salud.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Delgado, S. Galeas y V. Guerrero, « Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y vidrio para la elaboración de tableros » Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, 2014.
- [2] G. E. Mazón Ortiz « Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales » Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017
- [3] A. D. Jácome León «Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas » Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [4] E. A. Proaño Fiallos « Desarrollo de una material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibras de cabuya y con raquis de palma africana
- [5] N. A. Tamayo Duque, «Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación», Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica Quito- Ecuador, Junio 2012.
- [6] L. A. Pérez Gracia «Evaluación y comportamiento de los materiales compuestos a base de fibra de fique y fibras sintéticas » Universidad Autónoma del Caribe, Facultad de Ingeniería Mecánica, Barranquilla, 2014
- [7] J. Salinas García «Caracterización de materiales compuestos a base de polímeros - fibra de bagazo de nopal por inyección» Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Mexico D.F, 2011
- [8] V. H. Guerrero, J. L. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y C Valdivieso, « Nuevos Materiales, Aplicaciones estructurales e industriales », Quito: Imprefepp, 2011.
- [9] B. P. Ramírez de Jesús, «Desarrollo de Nopal para Usos Aeronáuticos» Universidad Aeronáutica en Querétaro, Querétaro-México, Septiembre 2016.
- [10] B. Delgado “La tuna cuatro variedades se producen en el país,” “Agro negocios Ecuador” Primera edición, Quito, Octubre 2011.
- [11] A. M. Pinilla y L. T. Veloza « Biopolímeros» Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Colombia- Boyacá, Tunja, 2010.

- [12] W.D. Callister 07 “Introducción a la Ciencia de la Ingeniería de los materiales”, Vol. 1 Barcelona- España Reverte Séptima Ed, 2007, pp. 2-542
- [13] J.D. Trejos Taborda, «Propiedades mecánicas de una matriz poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio» Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2014.
- [14] S. S. Pacha Guashco « Caracterización mecánica y numérica del material híbrido de matriz epoxi reforzada con tejido plano de fibra vegetal (algodón) y fibra natural (fibra de cabuya) Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017
- [15] J. G. Paredes Salinas, «Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses » Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2012.
- [16] M. J. Carrasco Reinoso « Materiales compuestos poliméricos con matriz poliéster y fibra de carbono y su incidencia en las propiedades mecánicas de tracción» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [17] G. A. Iza Tutillo « Caracterización mecánica del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de stipa ichu (pasto de páramo) con secado natural y precocido para determinar propiedades en la fabricación de elementos livianos de alta resistencia,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [18] Y. Martínez, R. Fernández, A. Álvarez, M. García, E. Martínez, « Evaluación de las propiedades Físico- Mecánicas en Cuba respecto a los tablero convencionales », Guantánamo Cuba, Departamento de Ciencias Forestales, 2014
- [19] S. Hidalgo, « Mexicana desarrolla fibra de nopal para usos aeronáuticos,» 16 07 2016. [En línea]. Available: <https://codigospagueti.com/noticias/ciencia/fibra-de-nopal-aeronautica/>. [Ultimo acceso: 11 20 2017]

## **ANEXOS**

**ANEXO 1:** Ficha técnica de la resina poliéster

**ANEXO 2:** Norma para ensayo de tracción ASTM D3039-00

**ANEXO 3:** Norma para ensayo de flexión ASTM D7264-07

**ANEXO 4:** Norma para ensayo de impacto ASTM D5628-10

**ANEXO 5:** Informe técnico de ensayos a tracción y flexión



## **Serie Polylite® 33200**

**Resina Poliéster Química especial**

### **DESCRIPCION**

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

### **APLICACIONES SUGERIDAS**

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

### **CARACTERISTICAS PRINCIPALES**

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

Nota: Esta resina es tixotrópica por lo que se recomienda su agitación antes de usarla.

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

**PROPIEDADES**

**PROPIEDADES TÍPICAS DE RESINA LIQUIDA @ 25°C**

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

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

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

**PROPIEDADES FISICAS TÍPICAS**

**Vaciado sin carga ni refuerzo (clear casting) <sup>1)</sup>**

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

<sup>1)</sup> Pruebas realizada a una placa de 4 mm de espesor

**Laminado reforzado con fibra de vidrio <sup>2)</sup>**

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

<sup>2)</sup> Construcción del laminado: 3 capas de Colchoneta 450 g/m<sup>2</sup>.



**CONDICIONES DE CURADO**

Adicionar 1 ml de Peróxido de Metil Etil Cetona al 50% por cada 100 g de resina. Se puede curar a temperatura ambiente durante la noche o aplicar un postcurado de 2 - 4 horas a 60°C. Niveles de peróxido abajo de 0.8% resultan en largo gelado y curado, por lo que no se recomiendan.

**ALMACENAMIENTO**

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

**TIEMPO DE CONSUMO PREFERENTE**

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

**PRESENTACION**

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

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

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

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

**INFORMACION GENERAL**

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



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

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

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

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

## 1. Scope

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

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

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

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

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

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

## 3. Terminology

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

### 3.3 Symbols:

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

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

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

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

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

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

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

3.3.8  $h$ —coupon thickness.

3.3.9  $L_g$ —extensometer gage length.

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

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

3.3.12  $P$ —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16  $w$ —coupon width.

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

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

3.3.19  $\delta$ —extensional displacement.

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

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

3.3.22  $\sigma$ —normal stress.

3.3.23  $\nu$ —Poisson's ratio.

## 4. Summary of Test Method

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

## 5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

## 6. Interferences

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

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

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

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

## 7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

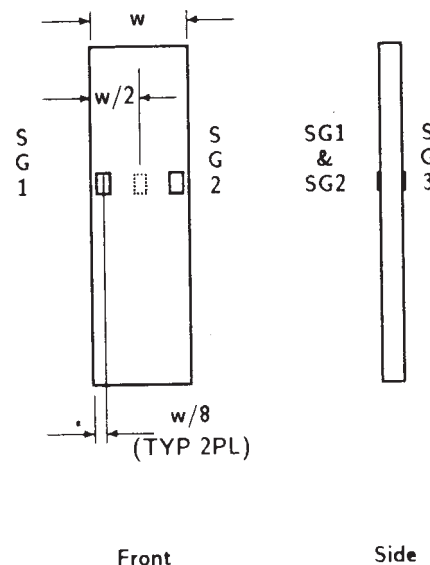


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

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

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

where:

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

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

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

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

The total bending component is:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**8. Sampling and Test Specimens**

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

**TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

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

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

### 8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

## 9. Calibration

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

## 10. Conditioning

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

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

### 11.2 General Instructions:

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

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

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  
 NO DECIMAL    .X    .XX  
                  ±.3    ±.1    ±.3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (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 [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

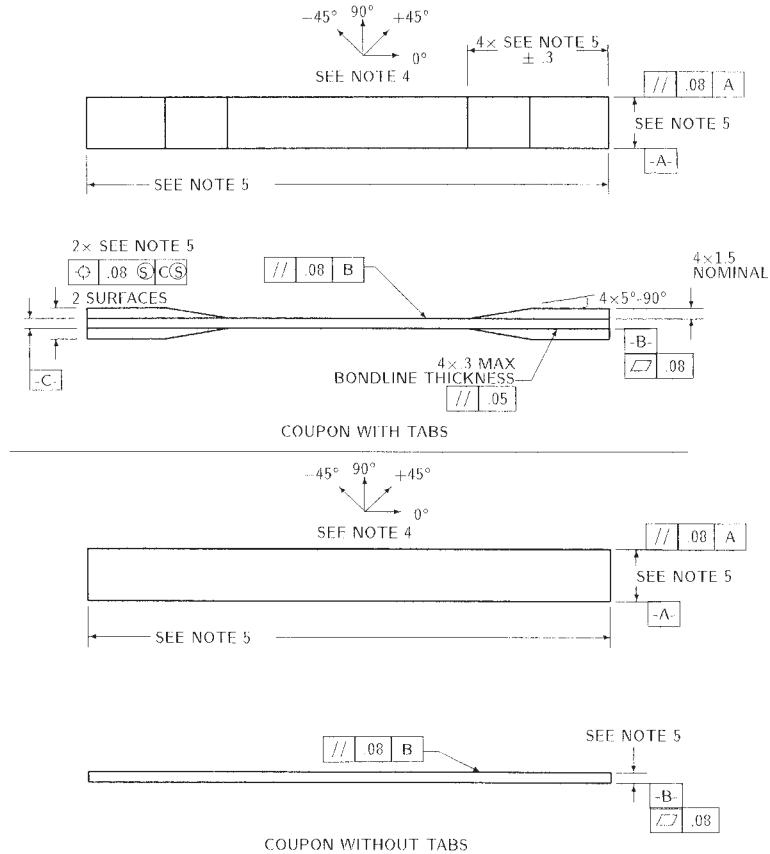


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

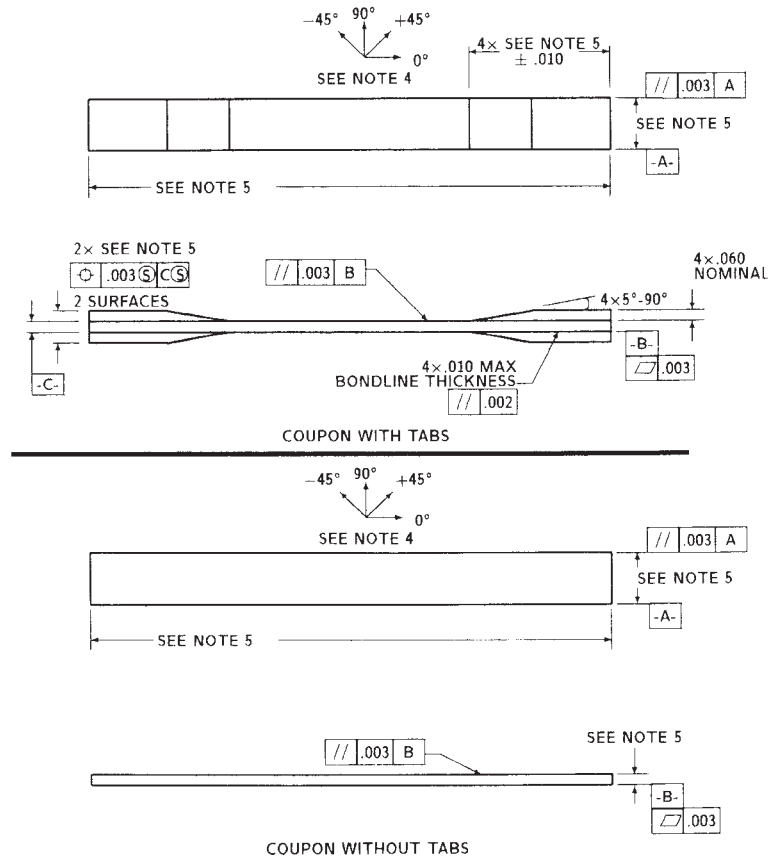
11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as



**DRAWING NOTES:**

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

| Tensile Chord Modulus Calculation<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,

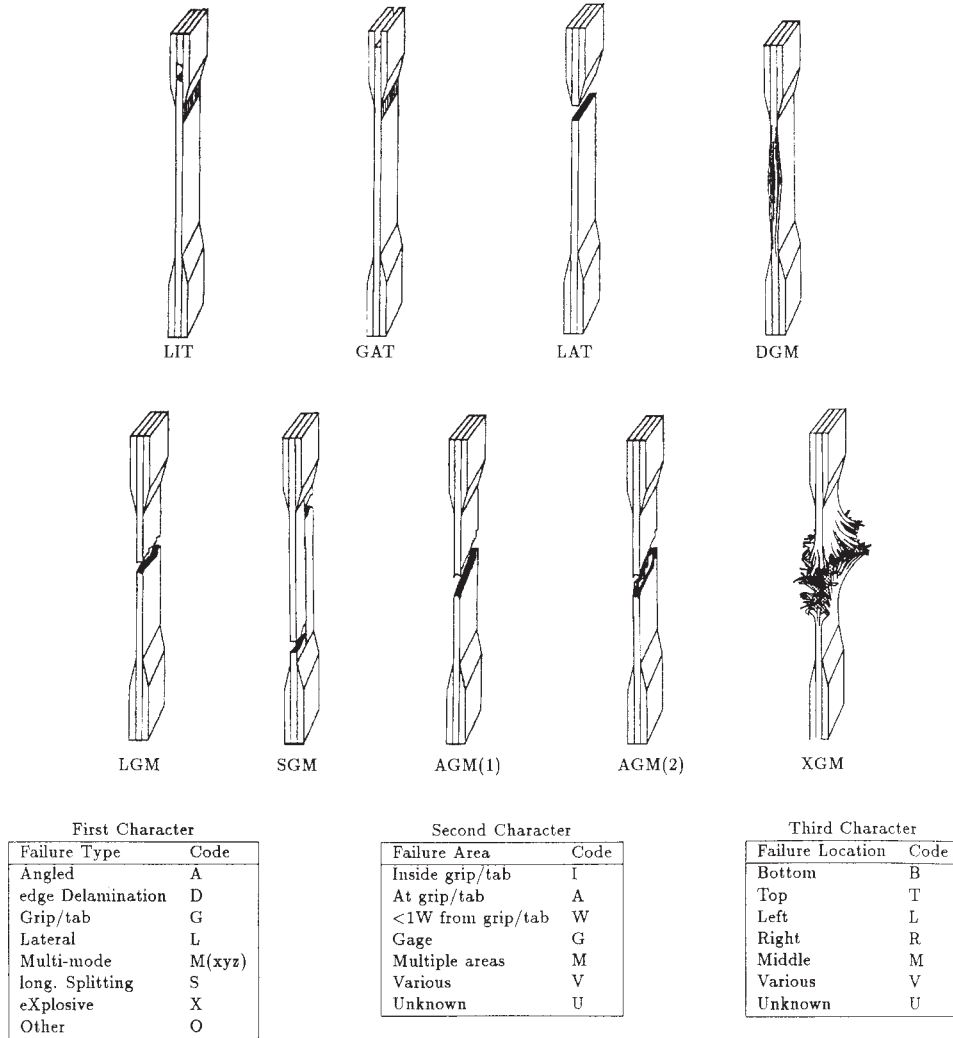


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

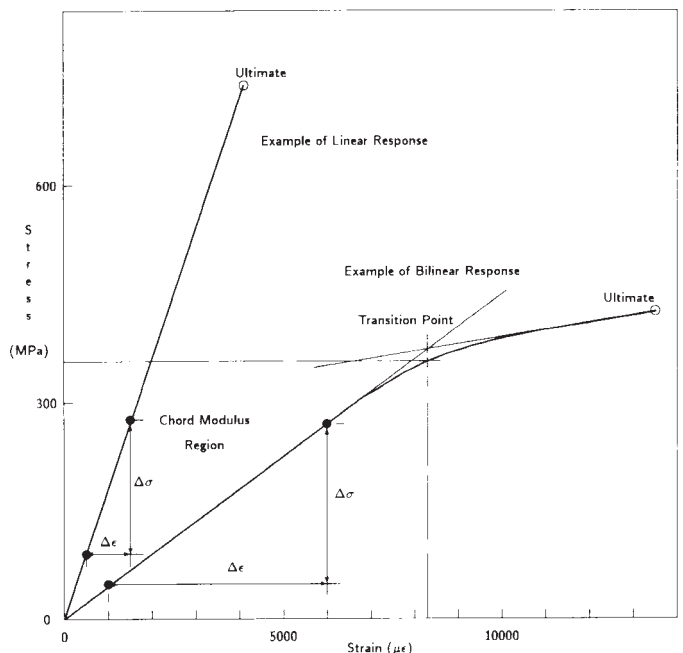


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

- $\nu$  = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_t$  = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3,  $\mu\epsilon$ ; and
- $\Delta\epsilon_l$  = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

12.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longitudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

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

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

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

where:

- $\bar{x}$  = sample mean (average);
- $s_{n-1}$  = sample standard deviation;
- CV = sample coefficient of variation, in percent;
- $n$  = number of specimens; and
- $x_i$  = measured or derived property.

### 13. Report

13.1 Report the following information, or references pointing to other documentation containing this information, to the maximum extent applicable (reporting of items beyond the control of a given testing laboratory, such as might occur with material details or panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

13.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 14. Precision and Bias

### 14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

14.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D 3039/D 3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

14.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

14.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the

natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

14.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.<sup>10</sup> Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 15 are defined as:

|   |   |
|---|---|
| A | IM-6/3501-6 uni-tape (0)n   |
| B | IM-6/3501-6 uni-tape (90)n  |
| C | IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n  |
| F | Glass/epoxy fabric (7781<br>glass/Ciba R 7376 Epoxy)-<br>warp aligned |
| G | Carbon/epoxy fabric (66108<br>carbon/Ciba R 6376                      |

**TABLE 4 Precision Statistics**

| Material          | $\bar{x}$ | $s \bar{x}$ | $S_r$ | $S_R$ | $S_r/\bar{x}, \%$ | $S_R/\bar{x}, \%$ |
|-------------------|-----------|-------------|-------|-------|-------------------|-------------------|
| Strength, ksi     |           |             |       |       |                   |                   |
| A                 | 342.69    | 8.49        | 10.68 | 12.78 | 3.12              | 3.73              |
| B                 | 8.52      | 0.52        | 0.85  | 0.92  | 9.94              | 10.84             |
| C                 | 156.37    | 3.84        | 10.85 | 10.85 | 6.94              | 6.94              |
| F                 | 66.18     | 3.20        | 1.52  | 3.48  | 2.30              | 5.26              |
| G                 | 121.52    | 1.59        | 3.92  | 3.92  | 3.23              | 3.23              |
| Modulus, Msi      |           |             |       |       |                   |                   |
| A                 | 23.57     | 0.65        | 0.63  | 0.86  | 2.69              | 3.66              |
| B                 | 1.30      | 0.05        | 0.04  | 0.06  | 3.12              | 4.57              |
| C                 | 12.38     | 0.29        | 0.37  | 0.44  | 2.98              | 3.54              |
| F                 | 3.95      | 0.08        | 0.04  | 0.09  | 1.01              | 2.28              |
| G                 | 9.47      | 0.16        | 0.12  | 0.20  | 1.29              | 2.06              |
| Failure Strain, % |           |             |       |       |                   |                   |
| A                 | 1.36      | 0.06        | 0.07  | 0.08  | 4.95              | 6.15              |
| B                 | 0.66      | 0.04        | 0.08  | 0.09  | 12.47             | 13.02             |
| C                 | 1.22      | 0.03        | 0.06  | 0.06  | 5.25              | 5.27              |
| F                 | 2.04      | 0.15        | 0.07  | 0.16  | 3.19              | 8.03              |
| G                 | 1.27      | 0.03        | 0.05  | 0.05  | 3.83              | 4.13              |

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_r/X$  and  $S_R/X$  represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

<sup>10</sup> International Harmonization of Composite Materials—Phase I: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

| Parameter      | Average of $S/X$ , % | Average of $S_R/X$ , % |
|----------------|----------------------|------------------------|
| Strength       | 5.11                 | 6.00                   |
| Modulus        | 2.22                 | 3.22                   |
| Failure strain | 5.94                 | 7.32                   |

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

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

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

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



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

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

NOTE 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

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

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

## 2. Referenced Documents

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

- D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

- D 3878 Terminology for Composite Materials
  - D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
  - D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation
  - D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
  - D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials
  - E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
  - E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
  - E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
  - E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
  - E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
  - E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
  - E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases
  - E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases
- 2.2 *Other Documents:*
- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric<sup>3</sup>
  - ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)<sup>3</sup>

## 3. Terminology

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

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

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

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

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

129/2008/11:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

Downloaded: 129/2008/11:27:41AM single-user license only, copying and networking prohibited.

Licensed by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO-CRUESP.

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

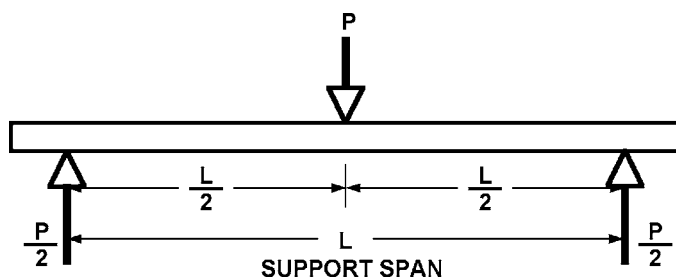


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

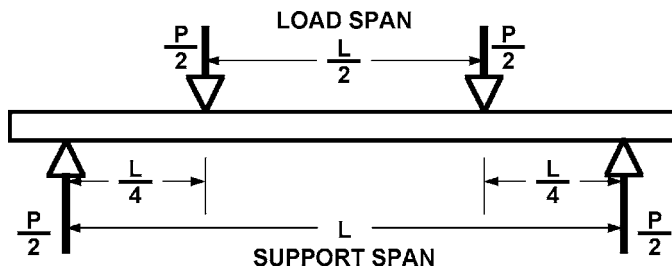


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.



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.

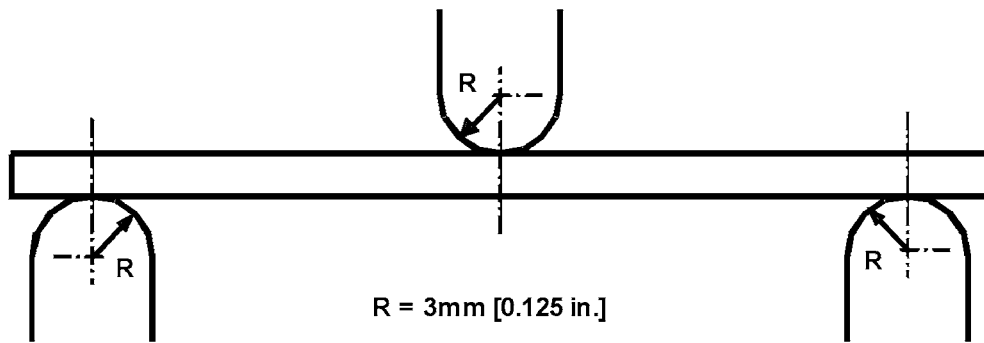
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

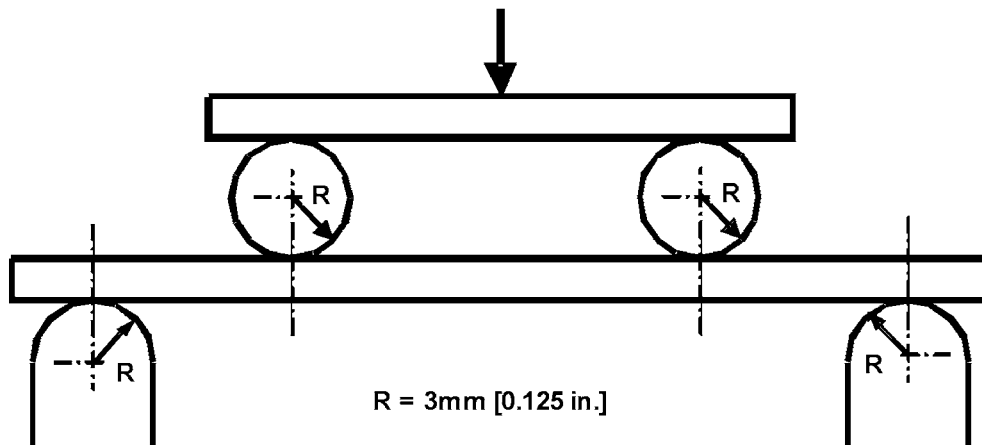
7. Apparatus

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)

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

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

7.3 *Micrometers*—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 0.02$  mm [ $\pm 0.001$  in.] is desirable for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 0.1$  mm [ $\pm 0.004$  in.] is adequate for length measurement.

7.4 *Deflection Measurement*—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of  $\pm 1$  % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 *Conditioning Chamber*—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within  $\pm 1^\circ\text{C}$  [ $\pm 2^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 3$  % relative humidity, as outlined in Test Method [D 5229/D 5229M](#). Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 *Environmental Test Chamber*—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

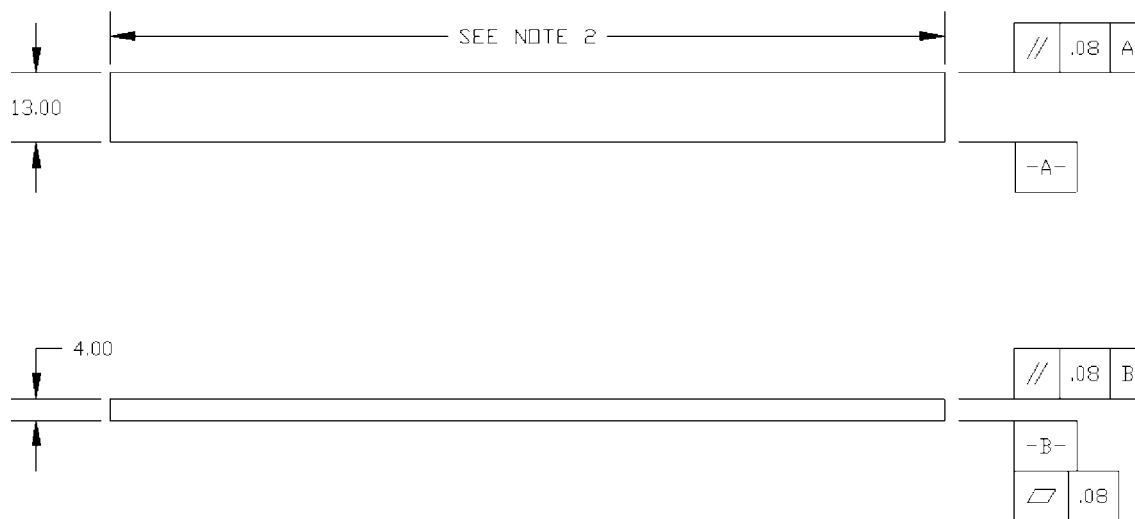
within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 5$  % relative humidity.

## 8. Test Specimens

8.1 *Specimen Preparation*—Guide [D 5687/D 5687M](#) provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 *Specimen Size* is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See [Figs. 4 and 5](#) for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide [D 6856](#). If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

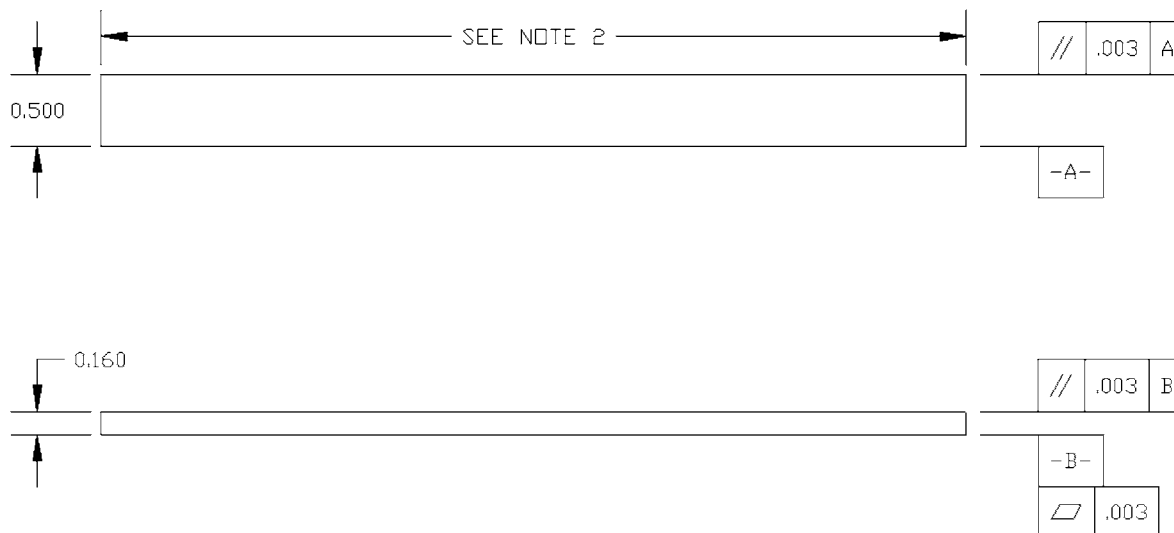
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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



NOTE 1—Drawing interpretation per [ANSI Y14.5-1999](#) and [ANSI B46.1-1995](#).

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

## 9. Number of Test Specimens

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

## 10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

## 11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning but before testing, measure and record the specimen width and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

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

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

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

**12. Validation**

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

**13. Calculation**

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

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

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

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

where:

- $\sigma$  = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- $P$  = applied force, N [lbf],
- $L$  = support span, mm [in.],
- $b$  = width of beam, mm [in.], and
- $h$  = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.<sup>4</sup> Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

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

<sup>4</sup> For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

| First Character    |        | Second Character              |      | Third Character  |      |
|--------------------|--------|-------------------------------|------|------------------|------|
| Failure Mode       | Code   | Failure Area                  | Code | Failure Location | Code |
| Tension            | T      | At loading nose               | A    | Top              | T    |
| Compression        | C      | Between loading noses         | B    | Bottom           | B    |
| Buckling           | B      | at Support nose               | S    | Left             | L    |
| interlaminar Shear | S      | between Load and support nose | L    | Right            | R    |
| Multi-mode         | M(xyz) | Unknown                       | U    | Middle           | M    |
| Other              | O      |                               |      | Various          | V    |
|                    |        |                               |      | Unknown          | U    |

**FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code**

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

$h$  = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure. (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting  $P$  equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting  $P$  equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

- $\epsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- $\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],
- $L$  = support span, mm [in.], and
- $h$  = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

- $\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],
- $\epsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- $L$  = support span, mm [in.], and
- $h$  = thickness of beam, mm [in.].

### 13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

- $E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$  = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\epsilon$  = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.<sup>5</sup> For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- $E_f^{secant}$  = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- $L$  = support span, mm [in.],
- $b$  = width of beam, mm [in.],
- $h$  = thickness of beam, mm [in.] and
- $m$  = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B:*

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where  $E_f^{secant}$ ,  $m$ ,  $L$ ,  $b$ , and  $h$  are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

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

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

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

where:

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

<sup>5</sup> For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

## 14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.

14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity ( $E_f$ ).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

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

A1.2 *Measurement of Span:*

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

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

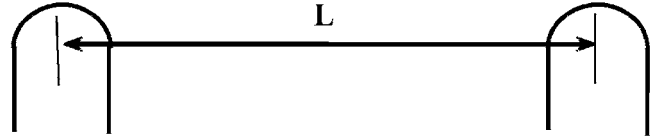


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

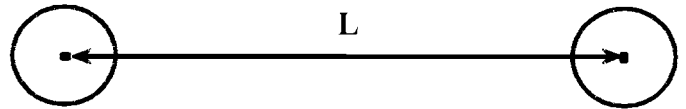


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

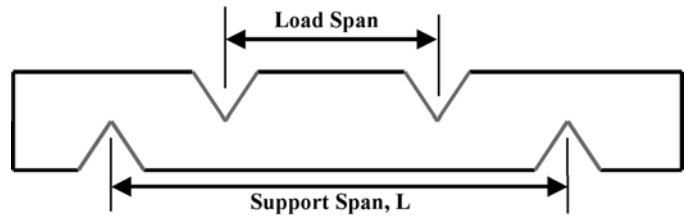


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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

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').

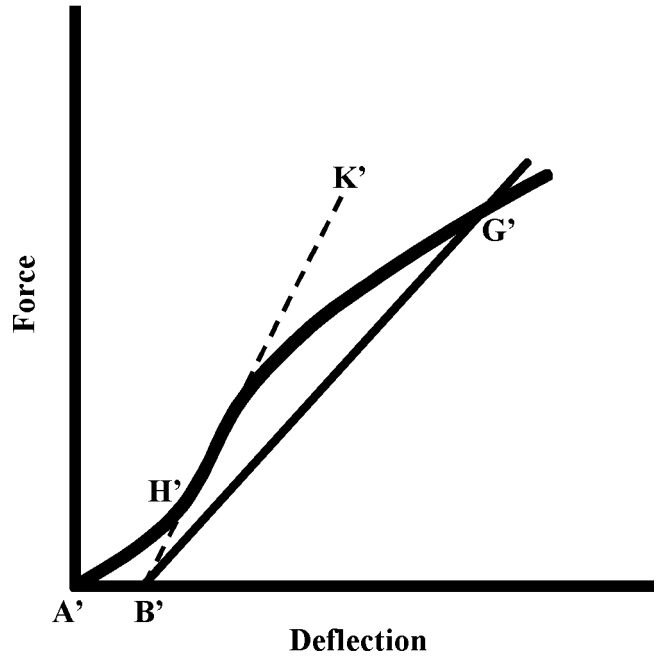


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

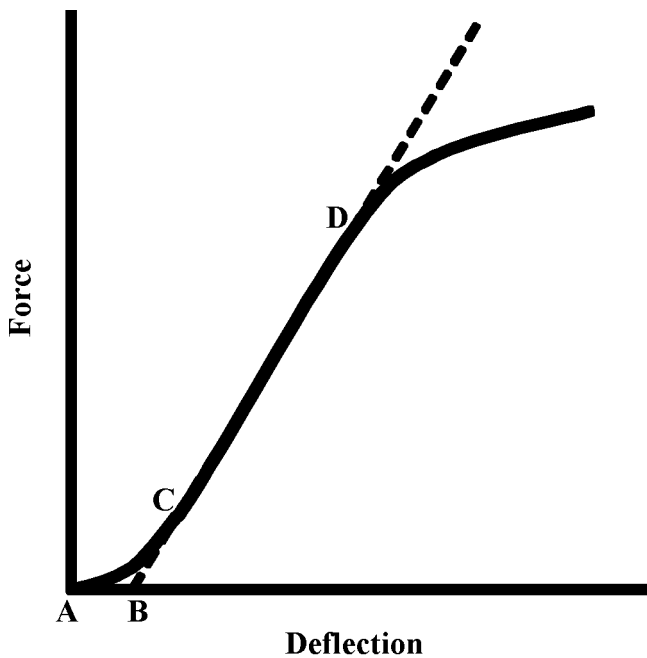


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

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



 **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)).*

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



Designation: D5628 – 10

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

This standard is issued under the fixed designation D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope\*

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

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

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

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

### 2. Referenced Documents

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

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

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

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

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

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

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

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

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

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

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

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

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

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

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

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

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

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

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

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

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

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

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (*tup*) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass  $\times$  height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).<sup>4</sup> Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different *tup* and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

#### 5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC should be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter *tup* used in Geometry FB minimizes problems with *tup* penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been

used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and *tup* must be somewhat arbitrary. Although a choice of *tup* geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

#### 6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

#### 7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and *tup* shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

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

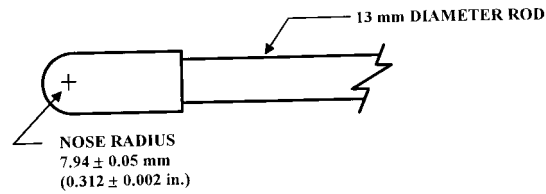


FIG. 1 (a)

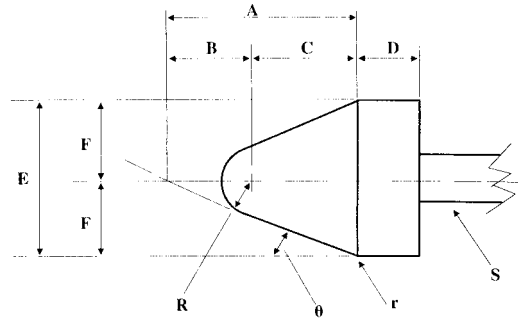


FIG. 1 (b)

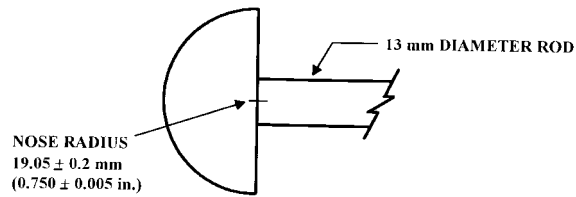


FIG. 1 (c)

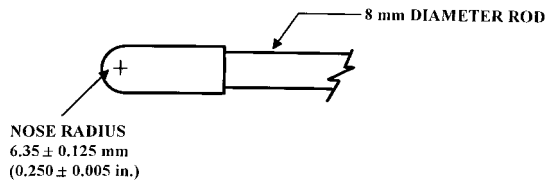


FIG. 1 (d)

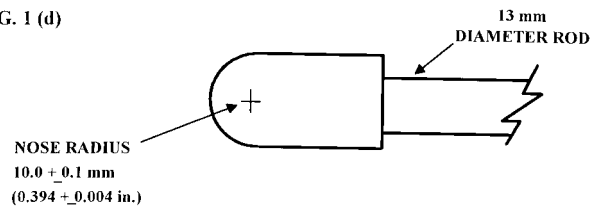


FIG. 1 (e)

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

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±2 %.

| Position                  | Dimension, mm | Dimension, in. |
|---------------------------|---------------|----------------|
| A                         | 27.2          | 1.07           |
| B                         | 15            | 0.59           |
| C                         | 12.2          | 0.48           |
| D                         | 6.4           | 0.25           |
| E                         | 25.4          | 1              |
| F                         | 12.7          | 0.5            |
| R                         | 6.35 ± 0.05   | 0.250 ± 0.002  |
| (nose radius)             |               |                |
| r (radius)                | 0.8           | 0.03           |
| S (diameter) <sup>A</sup> | 6.4           | 0.25           |
| θ                         | 25 ± 1°       | 25 ± 1°        |

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

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

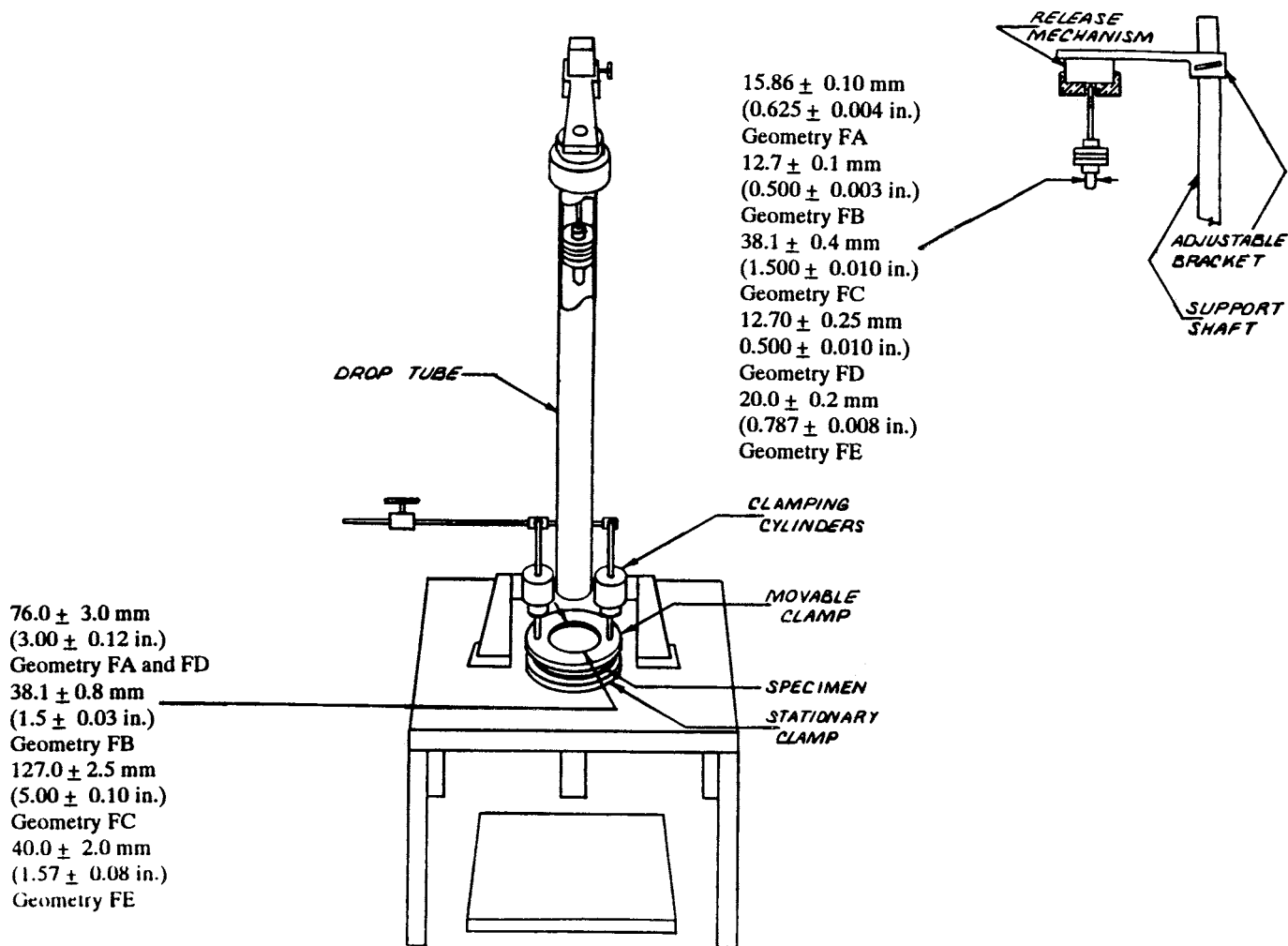


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be  $76.0 \pm 3.0$  mm ( $3.00 \pm 0.12$  in.). For Geometry FB, the inside diameter should be  $38.1 \pm 0.80$  mm ( $1.5 \pm 0.03$  in.). For Geometry FC, the inside diameter should be  $127.0 \pm 2.5$  mm ( $5.00 \pm 0.10$  in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be  $40 \pm 2$  mm ( $1.57 \pm 0.08$  in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a  $15.86 \pm 0.10$ -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 steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal

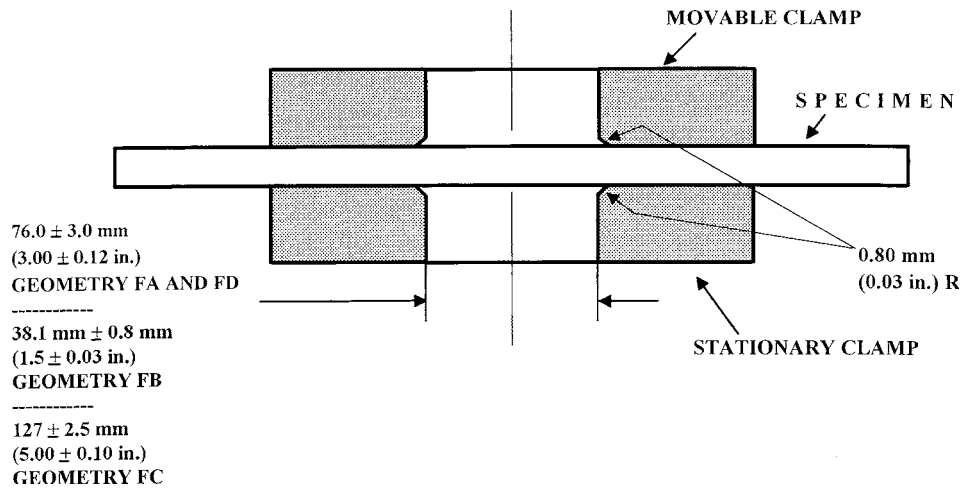


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

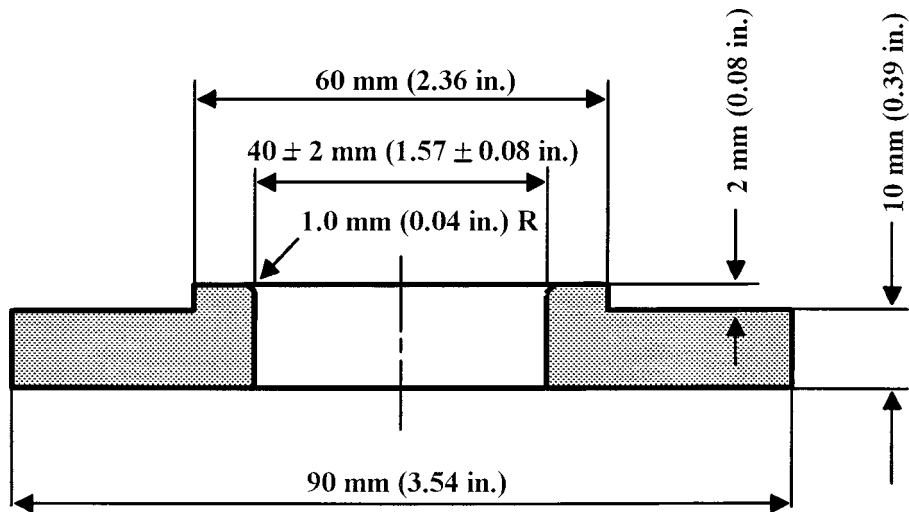


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

| Geometry | Dimensions, mm (in.)            |                              |
|----------|---------------------------------|------------------------------|
|          | Tup Diameter                    | Inside Diameter Support Ring |
| FA       | 15.86 ± 0.10<br>(0.625 ± 0.004) | 76.0 ± 3.0<br>(3.00 ± 0.12)  |
| FB       | 12.7 ± 0.1<br>(0.500 ± 0.003)   | 38.1 ± 0.8<br>(1.5 ± 0.03)   |
| FC       | 38.1 ± 0.4<br>(1.5 ± 0.010)     | 127.0 ± 2.5<br>(5.00 ± 0.10) |
| FD       | 12.70 ± 0.25<br>(0.500 ± 0.010) | 76.0 ± 3.0<br>(3.00 ± 0.12)  |
| FE       | 20.0 ± 0.2<br>(0.787 ± 0.008)   | 40.0 ± 2.0<br>(1.57 ± 0.08)  |

axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8

mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2-mm (0.787 ± 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 Masses—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

**TABLE 2 Minimum Size of Specimen**

| Geometry | Specimen Diameter, mm (in.) | Square Specimen, mm (in.)  |
|----------|-----------------------------|----------------------------|
| FA       | 89 (3.5)                    | 89 by 89<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)   |

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

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods [D5947](#) for descriptions of suitable micrometers.

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

## 8. Hazards

### 8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method [D2444](#) shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

## 9. Sampling

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

## 10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See [Table 2](#) for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with [ISO 6603-1](#) the test specimen shall be  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) in diameter or  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) square with a thickness of  $2 \pm 0.1$  mm ( $0.08 \pm 0.004$  in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with [ISO 6603-1](#) a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large ([1](#)).

## 11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice [D618](#), for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with [ISO 291](#), unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System [D6779](#)) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice [D618](#), unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method [D618](#).

## 12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in [10.3](#).

12.2 Mark the specimens and condition as specified in [11.1](#).

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

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

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

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup  $0.660 \pm 0.008$  m ( $26.0 \pm 0.3$  in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

**NOTE 5**—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to  $s$ , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times  $s$  is satisfactory (see section 13.4).

**NOTE 6**—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as  $X$ , to indicate a failure and a different symbol, such as  $O$ , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

### 13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

$w$  = mean-failure mass, kg,

$h$  = mean-failure height, mm,

$d_w$  = increment of tup weight, kg,

$d_h$  = increment of tup height, mm,

$N$  = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,

$w_o$  = smallest mass at which an event occurred, kg

$h_o$  = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),

$A = \sum_{i=0}^k in_i$ ,

$i = 0, 1, 2, \dots, k$  (counting index, starts at  $h_o$  or  $w_o$ ),

$n_i$  = number of events that occurred at  $h_i$  or  $w_i$ ,

$w_i = w_o + id_w$ , and

$h_i = h_o + id_h$ .

In calculating  $w$  or  $h$ , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows:  $MFE = hwf$

where:

$MFE$  = mean-failure energy, J,

$h$  = mean-failure height or constant height as applicable, mm

$w$  = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and

$f$  = factor for conversion to joules.

Use  $f = 9.80665 \times 10^{-3}$  if  $h = \text{mm}$  and  $w = \text{kg}$ .

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

$s_w$  = estimated standard deviation, mass, kg

$s_h$  = estimated standard deviation, height, mm, and



$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for  $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$ . If the value is  $<0.3$ , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_{\bar{w}} = G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_{\bar{h}} = G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

$S_{\bar{h}}$  = estimated standard deviation of the mean height, mm,

$s_w$  = estimated standard deviation of the mean mass, kg,  
and

$G$  = factor that is a function of  $s/d$  (see Appendix X2).

A sample computation of  $s_w$  is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of  $G$  at other levels of  $s/d$ , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

$S_{MFE}$  = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

## 14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

TABLE 3 Precision, Method FB

| Material   | Mean, $J$ | Values Expressed as Percent of the Mean |      |
|--|-----------|---|------|
|  |           | $V_r$                                   | $r$  |
| Polymethyl Methacrylate (PMMA)                     | 0.35      | 12.6                                    | 35.7 |
| Styrene-Butadiene (SB) <sup>A</sup>                | 9.26      | 18.7                                    | 52.9 |
| Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) <sup>A</sup> | 11.8      | 14.9                                    | 42.2 |

<sup>A</sup> Data generated in three laboratories.

$V_r$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$ .

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

## 15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin<sup>5</sup> conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (**Warning**—The following explanations of  $r$  and  $R$  (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

15.2 *Concept of  $r$  and  $R$* —If  $V_r$  and  $V_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

<sup>5</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

| Material                       | Mean, <i>J</i> | Values Expressed as Percent of the Mean |          |
|--------------------------------|----------------|---|----------|
|                                |                | <i>V<sub>r</sub></i>                    | <i>r</i> |
| Polymethyl Methacrylate (PMMA) | 1.33           | 4.13                                    | 11.7     |
| Styrene–Butadiene (SB)         | 48.3           | 18.3                                    | 51.8     |

*V<sub>r</sub>* = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
*r* = 2.83 *V<sub>r</sub>*.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the *r* value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

## 16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

## APPENDIX

### (Nonmandatory Information)

#### X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

| Total Dart Mass, kg | Outcome of Test (X = failure; O = non-failure) |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | <i>n<sub>x</sub></i>          | <i>n<sub>o</sub></i>           | <i>i</i> | <i>n<sub>i</sub></i> | <i>in<sub>1</sub></i> | <i>i<sup>2</sup>n<sub>1</sub></i> |
|---------------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-------------------------------|--------------------------------|----------|----------------------|-----------------------|-----------------------------------|
|                     | 1  | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |                               |                                |          |                      |                       |                                   |
| 9.00                |  |   |   |   |   | X |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 1                             | 0                              | 2        | 1                    | 2                     | 4                                 |
| 8.00                |  |   |   |   | O |   | X | X |   |    |    | X  |    | X  |    |    |    |    |    |    | 4                             | 1                              | 1        | 4                    | 4                     | 4                                 |
| 7.00                |  | X |   | O |   |   |   | O | X |    | O  |    | O  |    | X  |    | X  |    | O  | 4  | 5                             | 0                              | 4        | 0                    | 0                     |                                   |
| 6.00                | O  |   | O |   |   |   |   |   |   | O  |    |    |    |    |    |    | O  |    | O  | 0  | 5                             |                                |          |                      |                       |                                   |
| Totals              |  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    | 9<br>( <i>N<sub>g</sub></i> ) | 11<br>( <i>N<sub>o</sub></i> ) |          | 9<br>( <i>N</i> )    | 6<br>( <i>A</i> )     | 8<br>( <i>B</i> )                 |

$$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$$

$$w = w_o + d(A/N - 0.5)$$

$$= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$$

$$= 7.17 \text{ kg}$$

$$s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$$

$$= 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$$

$$= 0.77 \text{ kg}$$

$$s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$$

$$s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$$

**TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean**

| <i>s/d</i> | 0.00  | 0.01  | 0.02  | 0.03  | 0.04  | 0.05  | 0.06  | 0.07  | 0.08  | 0.09  |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0.40       |       |       |       |       |       | 1.18  | 1.175 | 1.17  | 1.16  | 1.155 |
| 0.50       | 1.15  | 1.145 | 1.14  | 1.135 | 1.13  | 1.125 | 1.12  | 1.11  | 1.105 | 1.10  |
| 0.60       | 1.095 | 1.09  | 1.085 | 1.08  | 1.075 | 1.07  | 1.07  | 1.065 | 1.06  | 1.06  |
| 0.70       | 1.055 | 1.055 | 1.05  | 1.05  | 1.045 | 1.04  | 1.04  | 1.035 | 1.035 | 1.03  |
| 0.80       | 1.03  | 1.025 | 1.025 | 1.02  | 1.02  | 1.02  | 1.015 | 1.015 | 1.015 | 1.01  |
| 0.90       | 1.01  | 1.01  | 1.005 | 1.005 | 1.005 | 1.00  | 1.00  | 1.00  | 0.995 | 0.995 |
| 1.00       | 0.995 | 0.99  | 0.99  | 0.99  | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.985 | 0.98  | 0.98  |
| 1.10       | 0.98  | 0.98  | 0.98  | 0.975 | 0.975 | 0.975 | 0.975 | 0.975 | 0.975 | 0.97  |
| 1.20       | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 0.97  | 0.965 | 0.965 | 0.965 | 0.965 |
| 1.30       | 0.965 | 0.965 | 0.965 | 0.965 | 0.96  | 0.96  | 0.96  | 0.96  | 0.96  | 0.96  |
| 1.40       | 0.96  | 0.96  | 0.96  | 0.955 | 0.955 | 0.955 | 0.955 | 0.955 | 0.955 | 0.955 |
| 1.50       | 0.955 | 0.955 | 0.955 | 0.95  | 0.95  | 0.95  | 0.95  | 0.95  | 0.95  | 0.95  |
| 1.60       | 0.95  | 0.95  | 0.95  | 0.95  | 0.945 | 0.945 | 0.945 | 0.945 | 0.945 | 0.945 |
| 1.70       | 0.945 | 0.945 | 0.945 | 0.945 | 0.945 | 0.945 | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.94  |
| 1.80       | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.94  | 0.935 |
| 1.90       | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.935 |
| 2.00       | 0.935 | 0.935 | 0.935 | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.93  | 0.93  |

## REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

## SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

- (1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618.
- (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

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

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

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