



**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:**

---

“ANÁLISIS DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO CON MATRIZ POLIMÉRICA UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”

---

**AUTOR:** Daniel Federico Castro Chico

**TUTOR:** Ing. Mg. Christian Castro

**Ambato – Ecuador**

**2017**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “ANÁLISIS DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO CON MATRIZ POLIMÉRICA UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”, elaborado por el señor Daniel Federico Castro Chico egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, junio del 2017

.....  
Ing. Mg. Christian Castro

TUTOR

## **AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

Las opiniones, comentarios, críticas e ideas presentes en el trabajo experimental que lleva por tema “ANÁLISIS DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO CON MATRIZ POLIMÉRICA UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”, nos corresponde exclusivamente al egresado Daniel Federico Castro Chico y al Ing. Mg. Christian Castro tutor del trabajo de investigación.

Ambato, junio del 2017

.....  
Daniel Federico Castro Chico

C. I.: 1804590378

## **DERECHOS DE AUTOR**

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

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

Ambato, junio del 2017

.....  
Daniel Federico Castro Chico

C. I.: 1804590378

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por el estudiante Daniel Federico Castro Chico de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el Tema: “ANÁLISIS DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO CON MATRIZ POLIMÉRICA UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS”

Ambato, junio del 2017

Para constancia firman:

.....  
Ing. Mg. Segundo Espín

.....  
Ing. Mg. Henry Vaca

## **DEDICATORIA**

*Quiero dedicar este trabajo a mi familia en especial a mis padres*

*Josué e Isabel y a mi hermano Lenin, quienes  
hicieron posible que este momento se haga realidad.*

*De igual manera dedico este proyecto a todas  
las personas que en su momento creyeron en mí.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Al haber culminado este proyecto y esta etapa de mi vida  
quiero agradecer a mis padres Josué e Isabel  
por el apoyo y la ayuda, quienes hicieron posible  
que llegue a este momento.*

*De igual manera quiero agradecer a mi hermano Lenin  
quien me ayudo en varios momentos.*

*También le agradezco al Ing. Mg. Christian Castro  
por la ayuda y los conocimientos impartidos  
durante el desarrollo del presente trabajo.*

*En general expreso un agradecimiento a todas las personas  
que durante toda mi vida me ayudaron o me brindaron una mano.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

### PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	III
DERECHOS DE AUTOR .....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO .....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO .....	XVI
EXECUTIVE SUMMARY .....	XVII
CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema del trabajo experimental.....	1
1.2 Antecedentes .....	1
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos .....	5
1.4.1 Objetivo general .....	5
1.4.2 Objetivos específicos .....	5
CAPÍTULO II .....	6
FUNDAMENTACIÓN .....	6
2.1 Fundamentación teórica .....	6
2.1.1 Carrocerías metalmecánicas.....	6
2.1.1.1 Plan de producción de carrocerías.....	7
2.1.2 Materiales compuestos .....	8
2.1.2.1 Descripción de la resina poliéster y de la fibra de vidrio .....	9
2.1.2.2 Clasificación de los materiales compuestos .....	14
2.1.2.3 Aplicaciones de materiales compuestos.....	15
2.1.2.4 Proceso de estratificación manual (hand lay-up) .....	16
2.1.3 Materiales textiles .....	17
2.1.3.1 Pranna poliéster flexible.....	18



2.1.3.2 Textil a base de vinilo .....	19
2.1.3.3 Clasificación de las fibras textiles.....	20
2.1.3.4 Tejidos.....	21
2.1.4 Propiedades mecánicas.....	23
2.1.5 Ensayo de materiales.....	23
2.1.5.1 Ensayo de tracción en materiales compuestos .....	23
2.1.5.2 Ensayo de flexión en materiales compuestos.....	24
2.1.5.3 Ensayo de impacto en materiales compuestos .....	25
2.1.5.4 Ensayo de tracción en materiales textiles.....	26
2.2 Hipótesis.....	27
2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis .....	27
2.3.1 Variable independiente .....	27
2.3.2 Variable dependiente.....	27
2.3.3 Término de relación .....	27
CAPÍTULO III.....	28
METODOLOGÍA .....	28
3.1 Nivel o tipo de investigación.....	28
3.1.1 Descriptivo .....	28
3.1.2 Experimental .....	28
3.1.3 Bibliográfica.....	28
3.2 Población y muestra .....	28
3.2.1 Población.....	28
3.2.2 Muestra.....	29
3.3 Operacionalización de variables .....	30
3.3.1 Variable independiente .....	30
3.3.2 Variable dependiente.....	31
3.4 Plan de recolección de información .....	32
3.5 Plan Procesamiento y análisis .....	32
3.5.1 Recolección de la información de los materiales.....	34
3.5.1.1 Materiales compuestos .....	34
3.5.1.2 Materiales textiles .....	37
3.5.2 Dimensionamiento de las probetas para ensayos .....	38
3.5.2.1 Probetas para ensayos en materiales compuestos .....	38
3.5.2.2 Probetas para ensayos en materiales textiles.....	44

3.5.3 Realización de los ensayos.....	57
3.5.3.1 Ensayo de tracción en materiales compuestos .....	57
3.5.3.2 Ensayo de flexión en materiales compuestos.....	60
3.5.3.3 Ensayo de impacto en materiales compuestos .....	63
3.5.3.4 Ensayo en tracción en materiales textiles.....	65
CAPÍTULO IV .....	68
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	68
4.1 Recolección de datos.....	68
4.1.1 Ensayos realizados en materiales compuestos .....	68
4.1.1.1 Ensayo de tracción .....	68
4.1.1.2 Ensayo de flexión.....	72
4.1.1.3 Ensayo de impacto .....	77
4.1.2 Ensayo realizado en materiales textiles.....	81
4.1.2.1 Ensayo de tracción .....	81
4.2 Análisis de los resultados .....	87
4.2.1 Análisis de resultados en materiales compuestos .....	87
4.2.2 Análisis de resultados en materiales textiles.....	89
4.3 Verificación de la hipótesis.....	90
4.3.1 Verificación de la hipótesis descriptivamente.....	90
4.3.2 Verificación de la hipótesis estadísticamente .....	91
4.3.2.1 Verificación de la hipótesis con respecto al ensayo de tracción realizado en materiales compuestos (techo y laterales).....	93
4.3.4.2 Verificación de la hipótesis con respecto al ensayo de flexión realizado en materiales compuestos (techo y laterales).....	94
4.3.4.3 Verificación de la hipótesis con respecto al ensayo de impacto realizado en materiales compuestos (techo y laterales).....	96
4.3.3 Conclusión .....	98
CAPÍTULO V .....	100
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	100
5.1 Conclusiones .....	100
5.2 Recomendaciones.....	102
MATERIALES DE REFERENCIA .....	103
Bibliografía .....	103
ANEXOS .....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Carrocería y chasis.....	6
<b>Figura 2.2</b> Producción nacional de carrocerías para buses en el Ecuador dentro en la zona 3 .....	7
<b>Figura 2.3</b> Forrado interior del techo de carrocería .....	7
<b>Figura 2.4</b> Propiedades mecánicas de la matriz, del refuerzo y del material compuesto .....	8
<b>Figura 2.5</b> Formas de refuerzo para la matriz .....	9
<b>Figura 2.6</b> Mats de fibra de vidrio.....	13
<b>Figura 2.7</b> Tipos de fibra o refuerzo .....	15
<b>Figura 2.8</b> Aplicaciones de materiales compuestos .....	16
<b>Figura 2.9</b> Esquema de proceso de moldeo manual.....	16
<b>Figura 2.10</b> Poliéster flexible (forro de asientos).....	18
<b>Figura 2.11</b> Tejido tricot .....	19
<b>Figura 2.12</b> Planta de algodón.....	20
<b>Figura 2.13</b> Hilos de rayón.....	21
<b>Figura 2.14</b> Tipos de tejido .....	22
<b>Figura 2.15</b> Tejido (urdiembre y trama).....	22
<b>Figura 2.16</b> Máquina universal .....	24
<b>Figura 2.17</b> Configuración de carga a flexión en tres puntos .....	24
<b>Figura 2.18</b> Máquina para ensayos de impacto.....	25
<b>Figura 2.19</b> Ensayo por el método de tiras .....	26
<b>Figura 3.1</b> Diagrama de flujo para la realización del estudio.....	33
<b>Figura 3.2</b> Material compuesto forro del techo interior .....	34
<b>Figura 3.3</b> Material compuesto forro lateral .....	35
<b>Figura 3.4</b> Proceso de moldeo de materiales compuestos.....	36
<b>Figura 3.5</b> Asientos de buses.....	37
<b>Figura 3.6</b> Textil moqueta de piso .....	38
<b>Figura 3.7</b> Corte mediante laser CNC .....	39
<b>Figura 3.8</b> Probetas para ensayos en materiales compuestos.....	40
<b>Figura 3.9</b> Medición de las probetas de materiales compuestos .....	42
<b>Figura 3.10</b> Abrazaderas de la máquina de ensayo.....	45

<b>Figura 3.11</b> Largo de las probetas en función de las características de la máquina de ensayo METROTEC MTE-50 .....	46
<b>Figura 3.12</b> Ilustración colocación de ejes en las probetas .....	47
<b>Figura 3.13</b> Ilustración de la longitud total de las probetas .....	48
<b>Figura 3.14</b> Longitud de eje (Lp) .....	48
<b>Figura 3.15</b> Sentido de ensayo de probetas de materiales textiles .....	49
<b>Figura 3.16</b> Probetas de materiales textiles.....	50
<b>Figura 3.17</b> Esquema de distancia entre ejes de las probetas.....	51
<b>Figura 3.18</b> Ubicación de los ejes en las probetas .....	51
<b>Figura 3.19</b> Pegado de las probetas.....	52
<b>Figura 3.20</b> Abrazaderas de la máquina de ensayo y ejes.....	52
<b>Figura 3.21</b> Probetas preliminares de materiales textiles.....	53
<b>Figura 3.22</b> Probetas preliminares y lengüetas .....	53
<b>Figura 3.23</b> Pegado de las lengüetas en las probetas .....	54
<b>Figura 3.24</b> Probetas finales del material pranna poliéster flexible .....	54
<b>Figura 3.25</b> Probetas finales del material textil a base de vinilo para piso .....	54
<b>Figura 3.26</b> Medición de probetas de materiales textiles.....	56
<b>Figura 3.27</b> Máquina universal para polímeros METROTEC MTE - 50 .....	58
<b>Figura 3.28</b> Pedazos de lija adheridas a las probetas para el ensayo de tracción.....	58
<b>Figura 3.29</b> Probetas sujetadas en las mordazas de la máquina de ensayo .....	59
<b>Figura 3.30</b> Procedimiento A para ensayo de flexión.....	61
<b>Figura 3.31</b> Puente de flexión de la máquina de ensayo .....	62
<b>Figura 3.32</b> Colocación de las probetas en el puente de flexión.....	62
<b>Figura 3.33</b> Máquina y equipo para ensayo de impacto de dardo .....	64
<b>Figura 3.34</b> Colocación de las probetas en las abrazaderas de la máquina de ensayo.....	65
<b>Figura 3.35</b> Probetas colocadas en las abrazaderas sin y con precarga .....	66
<b>Figura 3.36</b> Probetas ensayadas .....	66
<b>Figura 4.1</b> Campana de distribución t para la verificación de la hipótesis mediante el ensayo de tracción en materiales compuestos.....	94
<b>Figura 4.2</b> Campana de distribución t para la verificación de la hipótesis mediante el ensayo de flexión en materiales compuestos.....	95

**Figura 4.3** Campana de distribución t para la verificación de la hipótesis  
mediante el ensayo de impacto en materiales compuestos .....98

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b> Producción de carrocerías en la zona centro del Ecuador dentro de la zona 3 .....	6
<b>Tabla 2.2</b> Características de la resina polylite® 32800-80 .....	10
<b>Tabla 2.3</b> Propiedades de la resina polylite® 32800-80 .....	10
<b>Tabla 2.4</b> Propiedades físicas de la resina polylite® 32800-80 .....	11
<b>Tabla 2.5</b> Propiedades de la resina polylite® 32800-80 reforzada con fibra .....	11
<b>Tabla 2.6</b> Propiedades de la fibra de vidrio.....	14
<b>Tabla 2.7</b> Tipos de fibras naturales .....	21
<b>Tabla 3.1</b> Población de estudio.....	28
<b>Tabla 3.2</b> Muestra de los materiales a analizar .....	29
<b>Tabla 3.3</b> Operacionalización de la variable independiente.....	30
<b>Tabla 3.4</b> Operacionalización de la variable dependiente.....	31
<b>Tabla 3.5</b> Características de los materiales compuestos .....	35
<b>Tabla 3.6</b> Características de las probetas para ensayos según la normativa ASTM..	39
<b>Tabla 3.7</b> Tipos de ensayos para materiales compuestos .....	41
<b>Tabla 3.8</b> Codificación de las probetas de materiales compuestos .....	41
<b>Tabla 3.9</b> Características de las probetas del material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior .....	42
<b>Tabla 3.10</b> Características de las probetas del material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores .....	43
<b>Tabla 3.11</b> Tipos de materiales textiles.....	44
<b>Tabla 3.12</b> Tipos de probeta para ensayo de tracción en materiales textiles .....	45
<b>Tabla 3.13</b> Sentidos de ensayo para el material pranna poliéster flexible .....	55
<b>Tabla 3.14</b> Codificación de las probetas de materiales textiles.....	55
<b>Tabla 3.15</b> Características de las probetas del material pranna poliéster flexible en el sentido del largo.....	56
<b>Tabla 3.16</b> Características de las probetas del material pranna poliéster flexible en el sentido del ancho .....	57
<b>Tabla 3.17</b> Características de las probetas del material textil a base de vinilo .....	57
<b>Tabla 3.18</b> Distancia entre apoyos para ensayo de flexión .....	61
<b>Tabla 3.19</b> Características de la geometría del dardo tipo FE.....	64

<b>Tabla 4.1</b>	Resultados del ensayo de tracción en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior.....	68
<b>Tabla 4.2</b>	Tipo de falla para probetas ensayadas a tracción .....	70
<b>Tabla 4.3</b>	Resultados del ensayo de tracción en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores.....	70
<b>Tabla 4.4</b>	Resultados del ensayo de flexión en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior.....	73
<b>Tabla 4.5</b>	Tipo de falla para probetas ensayadas a flexión.....	75
<b>Tabla 4.6</b>	Resultados del ensayo de flexión en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores.....	75
<b>Tabla 4.7</b>	Resultados de ensayo de impacto en la probeta T – II .....	77
<b>Tabla 4.8</b>	Resultados de ensayo de impacto de dardo en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior .....	78
<b>Tabla 4.9</b>	Resultados de ensayo de impacto en la probeta L – II .....	79
<b>Tabla 4.10</b>	Resultados de ensayo de impacto de dardo en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores.....	80
<b>Tabla 4.11</b>	Resultados del ensayo de tracción en el material pranna poliéster flexible en el sentido del largo.....	81
<b>Tabla 4.12</b>	Resultados del ensayo de tracción en el material pranna poliéster flexible en el sentido del ancho .....	83
<b>Tabla 4.13</b>	Resultados del ensayo de tracción en material textil a base de vinilo....	85
<b>Tabla 4.14</b>	Resultados promedio de ensayos a tracción, flexión e impacto en materiales compuestos.....	88
<b>Tabla 4.15</b>	Resultados del ensayo a tracción en material pranna poliéster flexible..	89
<b>Tabla 4.16</b>	Resultados del ensayo a tracción en el material textil a base de vinilo...	90
<b>Tabla 4.17</b>	Distribución t-student.....	92
<b>Tabla 4.18</b>	Esfuerzos a tracción de los materiales compuestos.....	93
<b>Tabla 4.19</b>	Esfuerzos a flexión de los materiales compuestos .....	94
<b>Tabla 4.20</b>	Distribución t-student.....	96
<b>Tabla 4.21</b>	Energía de impacto de los materiales compuestos .....	97
<b>Tabla 4.22</b>	Verificación de la hipótesis en función de los ensayos realizados en materiales compuestos.....	98

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

ANÁLISIS DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO CON  
MATRIZ POLIMÉRICA UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR  
DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS PARA DETERMINAR SUS  
PROPIEDADES MECÁNICAS.

**Autor:** Daniel Federico Castro Chico

**Tutor:** Ing. Mg. Christian Castro

**RESUMEN EJECUTIVO**

El presente estudio se basó en el análisis de los materiales compuestos (techo y laterales) y materiales textiles (forro de asientos y piso) utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas para determinar sus propiedades mecánicas, debido a que el sector carrocerero cada vez debe cumplir con más exigencias para la certificación de sus modelos, lo que hace necesario que se realicen pruebas y ensayos de los materiales que se utilizan en la construcción de carrocerías a fin de garantizar que estos sean seguros.

Para lo que se partió de la investigación documental y bibliográfica a fin de establecer las características que poseen los materiales mencionados, seguidamente se dimensionaron las probetas para la realización de los ensayos en función de la siguiente normativa: para materiales compuestos (tracción - ASTM D3039-00, flexión - ASTM D7264-07 e impacto - ASTM D5628-01) y materiales textiles (tracción - ASTM D5035-03).

De los resultados de los ensayos realizados se pudo determinar las propiedades mecánicas que poseen los materiales compuestos a tracción, flexión e impacto y los materiales textiles a tracción.



**TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO**  
**FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING**  
**CAREER OF MECHANICAL ENGINEERING**

ANALYSIS OF THE FIBERGLASS COMPOSITE MATERIAL WITH POLYMER MATRIX THAN IS USED IN THE MANUFACTURE INSIDE BUS BODY, TO DETERMINE ITS MECHANICAL PROPERTIES.

**Author:** Daniel Federico Castro Chico

**Tutor:** Ing. Mg. Christian Castro

**EXECUTIVE SUMMARY**

The present study was based on the analysis of composite materials (roof and sides) and textile materials (seat covering and floor) used in the manufacture inside bus body to determine their mechanical properties, because the bus body each time must comply with more requirements for certification of its models, which makes it necessary to test and value the materials used in the construction of bus body, to ensure that materials are safe.

For this purpose, the documentary and bibliographic research was carried out in order to establish the characteristics of the materials mentioned. The test specimens were then dimensioned according to the following standards: for composite materials (traction - ASTM D3039- 00, flexion - ASTM D7264-07 and impact - ASTM D5628-01) and textiles (traction - ASTM D5035-03).

From the results of the tests could be determined mechanical properties that composite material have at tensile, flexural and impact and textile materials at tensile.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 Tema del trabajo experimental

ANÁLISIS DEL MATERIAL COMPUESTO DE FIBRA DE VIDRIO CON MATRIZ POLIMÉRICA UTILIZADO EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS PARA DETERMINAR SUS PROPIEDADES MECÁNICAS

### 1.2 Antecedentes

En las investigaciones previas podemos citar:

Juan Gilberto Paredes Salinas en su trabajo de investigación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico presentado en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, bajo el tema: “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.”, en este trabajo se determinó que los materiales con una configuración fibra corta (FCo 1 – 30%) y fibra larga (FL -30%) presentaron mejores propiedades mecánicas a flexión e impacto, por otra parte el material híbrido con una configuración fibra larga al 30% y en el siguiente orden de capas (FV+FC+FV) se determinó como potencial de refuerzo del material híbrido alternativo por haber presentado las mejores propiedades mecánicas a tracción, elaborando al final un proceso para la aplicación de este material en la fabricación de guardachoques para buses [1].

Ludwin Daniel Núñez Barriga en su trabajo estructurado de manera independiente previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico presentado en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, bajo el tema: “Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz epóxica reforzada con tejido mixto elaborado con fibras de carbono y kevlar y su incidencia en las propiedades mecánicas de partes externas de autos” , en la investigación el material se sometió a ensayos de tracción, flexión e impacto, siendo estos necesarios para determinar las

propiedades del material óptimas para partes externas de autos, de las pruebas realizadas se obtuvieron altos valores de resistencia. También se elaboró una propuesta de un elemento de carrocería cumpliendo con las necesidades del componente y se estableció un proceso para elaborar materiales compuestos utilizando fibras sintéticas [2].

C. M. Bayas Guevara y D. R. Rosero Sánchez en su tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz presentada en la Escuela Superior Politécnica del Chimborazo, Facultad de Ingeniería Automotriz, bajo el tema: “Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia fórmula “SAE” en fibra de vidrio, para la escuela de Ingeniería Automotriz”, en este proyecto se realizó la modelación del diseño de una carrocería de un vehículo de competencia “SAE” con la ayuda del software SOLIDWORKS y el análisis de este con el software ANSYS para evaluar las deformaciones y esfuerzos a fin de determinar un diseño adecuado. En la construcción se aplicó el proceso de estratificación manual empleando un material compuesto de 40% de fibra de vidrio como refuerzo, a fin de obtener los resultados esperados para un buen desempeño de trabajo, con geometrías aerodinámicas que permitan mejorar la eficiencia del conjunto [3].

Christian Byron Castro Miniguano en su trabajo de investigación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico presentado en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, bajo el tema: “Estudio del comportamiento frente al fuego de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías y su incidencia en la homologación de modelos y competitividad de la empresa carrocera industria metálica Cepeda”, en este trabajo se concluye que los materiales: material compuesto fibra de vidrio con matriz resina polylite 32800-80, material compuesto fibra de vidrio con matriz resina anderpool 836 poseen valores de índice de inflamabilidad que cumplen con los valores máximos vigentes en la norma ecuatoriana NTE INEN 1323. Además se determinó que los materiales pranna poliéster flexible y textil a base de vinilo para piso son materiales auto extingüibles [4].

Enric Carrera Gallissá en su libro publicado en la Universidad Politécnica de Cataluña - España, 1ª edición, julio 2015, Terrassa, 238 pp, bajo el tema: “Caracterización de tejidos, Principales ensayos físicos para evaluar la calidad de los tejidos textiles”, en este libro describe los principales ensayos que se puede realizar en tejidos textiles para evaluar la eficacia que contribuyen al producto final. Además aquí se incluyen varios enlaces con los catálogos de empresas fabricantes de distintos equipos para ensayo con lo que facilita el aprendizaje [5].

### **1.3 Justificación**

En la actualidad la industria carrocera presenta una alta demanda en cuanto a la fabricación de buses, siendo Ambato la ciudad principal donde se concentran la mayor cantidad de empresas fabricantes de carrocerías, quienes están siempre mejorando sus diseños para brindar seguridad y confort en cada uno de sus modelos.

El presente trabajo tuvo como finalidad determinar las propiedades mecánicas que poseen los materiales utilizados en la fabricación de carrocerías metalmecánicas en el proceso de forrado interior siendo estos: materiales compuestos (techo y laterales) y materiales textiles (forro de asientos y piso), debido a que el sector carrocerero cada vez debe cumplir con más exigencias y requerimientos para la certificación de sus modelos, lo que hace necesario que se realicen pruebas y ensayos de los materiales que se utilizan en la construcción de carrocerías a fin de garantizar que estos sean seguros y confiables.

Los resultados obtenidos de la presente investigación servirán de aporte al proyecto de investigación planteado por el Ing. Mg Christian Castro y el Ing. Mg Cristian Pérez docentes de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica bajo el tema “Análisis y determinación de índices de inflamabilidad de materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas de la ciudad de Ambato", donde se aportará con la caracterización de las propiedades mecánicas de los materiales que se analizaron.

El proyecto planteado por (Castro & Pérez), tiene como propósito caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales que se van analizar en esta investigación, para posteriormente determinar los índices de inflamabilidad que dichos materiales

poseen, a fin de obtener datos que servirán para la certificación de materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías cumpliendo con los valores máximos establecidos en la norma ecuatoriana NTE INEN 1323. Además se determinará que materiales son auto extingüibles [6].

Los índices de inflamabilidad evalúan la resistencia al fuego basado en el tiempo (minutos u horas) que un material soporta expuesto al incendio [4].

Partiendo de los materiales compuestos propuestos inicialmente se decidió dar alcance a dos materiales más para el estudio, debido a que el presente trabajo es un aporte al proyecto de (Castro & Pérez), en donde se requiere el análisis de los siguientes materiales:

### **Materiales compuestos**

- ✚ (Fibra de vidrio + resina poliéster) forro del techo interior
- ✚ (Fibra de vidrio + resina poliéster) forro laterales interiores

### **Materiales textiles**

- ✚ Pranna poliéster flexible (forro de asientos)
- ✚ Textil a base de vinilo (forro de piso)

## **1. 4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general**

Analizar el material compuesto de fibra de vidrio con matriz polimérica utilizado en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas para determinar sus propiedades mecánicas.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- ✚ Determinar el proceso de moldeo y conformado del material compuesto
- ✚ Elaborar probetas para ensayos a tracción, flexión e impacto según las normas ASTM
- ✚ Determinar las propiedades mecánicas a tracción y flexión del material compuesto
- ✚ Determinar la resistencia al impacto del material compuesto
- ✚ Evaluar las propiedades mecánicas obtenidas de los materiales compuestos de fibra de vidrio con matriz polimérica del techo y de las secciones laterales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1 Fundamentación teórica

##### 2.1.1 Carrocerías metalmecánicas

La carrocería es la parte exterior de un vehículo que cubre al motor y demás elementos y en el interior se encuentran la carga y los pasajeros [7]. Como se puede observar en la figura 2.1

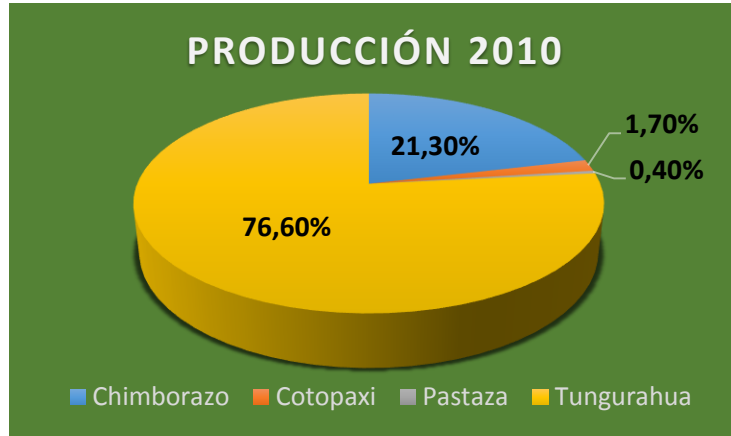


**Figura 2.1** Carrocería y chasis [8]

En la actualidad los autobuses son necesarios en la vida de las personas, debido a la movilidad constante que necesitan en sus distintos aspectos de su vida. La industria carrocera cada vez va mejorando sus procesos de construcción a fin de reducir sus costos de producción y mejorar sus modelos. La fabricación de carrocerías metalmecánicas en el cantón Ambato provincia de Tungurahua se ha incrementado notablemente debido a la alta demanda de carrocerías en el mercado nacional [4]. Como se detalla en la tabla 2.1 y en la figura 2.2 respectivamente.

**Tabla 2.1** Producción de carrocerías en la zona centro del Ecuador dentro de la zona 3 [1]

PROVINCIA	COSTO DE CARROCERÍA	PROD 2010	%	VALOR (\$)	PAGO DE IVA (\$)
Chimborazo	45.000,00	300	21,30	13.500.000,00	1.620.000,00
Cotopaxi	45.000,00	24	1,70	1.080.000,00	129.600,00
Pastaza	45.000,00	6	0,40	270.000,00	2.400,00
Tungurahua	45.000,00	1080	76,60	48.600.000,00	5.832.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>1.410</b>	<b>100</b>	<b>63.450.000,00</b>	<b>7.614.000,00</b>



**Figura 2.2** Producción nacional de carrocerías para buses en el Ecuador dentro en la zona 3 [1]

### 2.1.1.1 Plan de producción de carrocerías

La construcción de carrocerías metalmecánicas se realiza mediante los siguientes procesos:

- ✚ Preparación de materiales
- ✚ Estructura y forrado exterior
- ✚ Forrado interior
- ✚ Acabados

#### Proceso de forrado interior

En el proceso de forrado interior de carrocerías se utiliza una gama de materiales entre: materiales compuestos (laterales y techo), materiales textiles (forro de asientos y piso), entre otros. Como se observa en la figura 2.3.



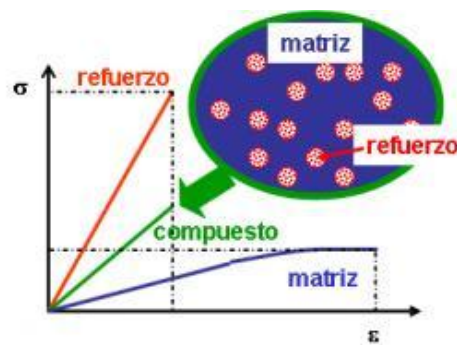
**Figura 2.3** Forrado interior del techo de carrocería [4]



### 2.1.2 Materiales compuestos

Los materiales compuestos se los ha utilizado a lo largo de la historia. Un ejemplo de esto sería mezclar barro con paja para construir casas de adobe técnica que se ha empleado durante siglos.

Un material compuesto resulta de combinar dos materiales o más con el objetivo de obtener una combinación única de sus propiedades, siendo estas diferentes a las de sus materiales iniciales [9]. En la figura 2.4 se observa las distintas propiedades de los componentes del material compuesto.



**Figura 2.4** Propiedades mecánicas de la matriz, del refuerzo y del material compuesto [10]

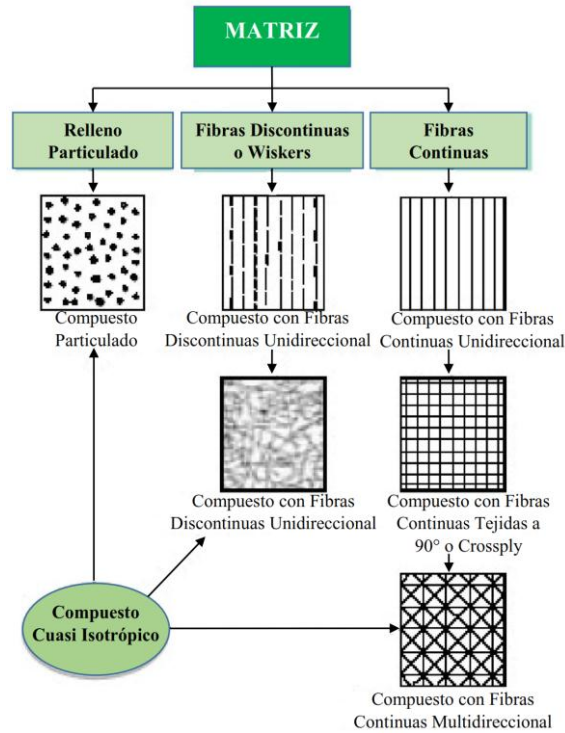
Estos materiales están formados por dos componentes: la matriz que está distribuida de manera continua y el refuerzo que se encuentra disperso en la matriz. La matriz envuelve o cubre al refuerzo.

El refuerzo aporta las propiedades mecánicas y la matriz aporta la resistencia térmica y ambiental al material compuesto.

En materiales compuestos las propiedades mecánicas dependen de factores como:

- ✚ Propiedades del refuerzo y la matriz
- ✚ Orientación del refuerzo
- ✚ Cantidad del refuerzo
- ✚ Técnica de producción del material compuesto [11]

Los materiales se pueden reforzar con partículas o fibras, como se observa en la figura 2.5.



**Figura 2.5** Formas de refuerzo para la matriz [12]

Un material reforzado con partículas es un material isotrópico (presenta las mismas propiedades en todas las direcciones). Un material reforzados con fibra es un material anisotrópico, significa que su rigidez, resistencia y demás propiedades son diferentes en función de la orientación del material, como por ejemplo si fabricamos un material compuesto con matriz polimérica y todas las fibras quedan paralelas, este material será muy rígido en paralelo a sus fibras, pero muy poco rígido perpendicular a ellas [13].

### 2.1.2.1 Descripción de la resina poliéster y de la fibra de vidrio

#### Resina polylite 32800-80

La resina polylite 32800-80 es una resina poliéster no saturada sin pre acelerar y no tixotrópica. Se puede mezclar con cobalto y peróxido de metil etil cetona para obtener un sistema de curado a una temperatura ambiente.

#### Aplicaciones

- ✚ Se pueden fabricar partes reforzadas con fibra de vidrio, por lo general manualmente
- ✚ Fabricar laminas translucidas reforzadas con fibra de vidrio [4]

A la resina al añadirle catalizador la combinación provoca que los elementos químicos de la resina se comiencen a enlazar formando una red más tupida, haciendo que inicialmente se gelifique y al final se endurezca [14].

### Características y beneficios

La resina polylite 32800-80 posee las características mencionadas en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2** Características de la resina polylite® 32800-80 [4]

CARACTERÍSTICAS	BENEFICIOS
Viscosidad alta	Puede ser ajustada con estireno en diferentes proporciones según la aplicación deseada
Excelente humectación de la fibra de vidrio	Fácil eliminación de burbuja
Buenas propiedades	Excelente resistencia mecánica
Se obtienen laminados con muy buen acabado superficial.	Excelente acabado de las piezas
Rápido desarrollo de dureza	Rápidos ciclos de curado

### Propiedades

En la tabla 2.3 se puede ver las propiedades de la resina mencionada.

**Tabla 2.3** Propiedades de la resina polylite® 32800-80 [4]

PROPIEDADES TÍPICAS DE RESINA LÍQUIDA @ 25 °C			
Propiedades	Unidades	Especificaciones	Métodos de Análisis
No volátiles	%	78-82	RQMPEA-0041
Viscosidad Brookfield, LVF, 4/30	cPs	7000-11000	RQMPEA-0002
Número ácido base solución (máximo)	mg KOH /g resina	35	RQMPEA-0026.
Tiempo de gel *	minutos	5-8	RQMPEA-0066
Temperatura de exotermia (máxima) *	°C	Registro	RQMPEA4X366
Tiempo de curado *	minutos	Registro	RQMPEA-0066
Estabilidad @ 105 °C (mínimo)	horas	2	RQMPEA-01T8 ;
Tiempo de vida mínimo en almacenamiento	meses	3	

\* 80 g de resina + 20 g de estireno + 0.5 g de Naftenoato de Cobalto a 6% + 1 g de MEKP (Butanox M-50) @ 25 °C

## Propiedades físicas típicas

### Vaciado sin carga ni refuerzo

Las propiedades de la resina poliéster sin carga se observa en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Propiedades físicas de la resina polylite® 32800-80 [4]

Propiedades	Unidades	Valor Típico	Métodos
Dureza Barcol	s/u	38-42	ASTM D-2583-01
HDT	°C	86.3	ASTM D-648-06
Absorción de agua @ 100°C (2 hr) Absorción de agua @ temp. ambiente (24 hrs)	% %	0.4123 0.1541	ASTM D-570-98
Resistencia a la flexión	Psi	13 104.2	ASTM D-790-03
Módulo de flexión	Psix 10 <sup>3</sup>	536.1	ASTM D-790-03
Resistencia a la tensión	Psi	5 694.2	ASTM D-638-08
Módulo de tensión	Psi x 10 <sup>3</sup>	531.3	ASTM D-638-08
Elongación hasta ruptura	%	1.2	ASTM D-638-08
Resistencia al impacto (Izod) Tipo "A", Tipo de falla: Completa (C)	Ft-lb/in	2.108	ASTM D-256-06
Resistencia al impacto (Izod) Tipo "E", Tipo de falla: Completa (C)	Ft-lb/in	3.622	ASTM D-256-06

Cíear casing: Relación resina/estireno: 2/1 (Partes en peso)

### Laminado reforzado con fibra de vidrio

En la tabla 2.5 se presenta las propiedades de la resina reforzada con fibra de vidrio.

**Tabla 2.5** Propiedades de la resina polylite® 32800-80 reforzada con fibra [4]

Propiedades	Unidades	Valor Típico (1)	Valor típico (2)	Métodos
Dureza Barcol	s/u	45-52	45-52	ASTM D-2583-01
Absorción de agua @ 10Q°C (2 hr) Absorción de agua @ temp. ambiente (24 hr)	%	0.3360	0.3100	ASTM D-570-98
	%	0.1417	0.0897	
Resistencia a flexión	Psi	22 823.3	25 620.2	ASTMD-790-03
Módulo deflexión	Psi x 10 <sup>3</sup>	1 128.5	1 021.6.	ASTM D-790-03
Resistencia a la tensión	Psi	11 638.4	12 271.3	ASTMD-638-08.
Módulo de tensión	Psix 10 <sup>3</sup>	1 132.4	1 108.7	ASTMD-638-08
Elongación hasta	%	1.6	1.3	ASTM: D-638-08
Resistencia a la	Psi	21 205.8	27184,2	ASTMD-695-02
Módulo de compresión	Psix 10 <sup>3</sup>	1 112.8	1 325.4	ASTM D-695-02
Resistencia al impacto (Izod) Tipo "A", Tipo de falla: Hinged (H)	Ft-lb/in	14.224	13.786	ASTM D-256-06

a) Construcción del laminado: relación mezcla (resina y estireno)/fibra de vidrio: 70/30 (% peso)

(1) Mezcla: relación resina/estireno: 2/1 {partes en peso}

(2) Mezcla: relación resina/estireno: 1/1 (partes en peso)

### **Almacenamiento**

A fin de garantizar las propiedades y características de la resina se debe almacenar en un recipiente cerrado, a temperaturas no mayores de 24 °C (75 °F) y evitar el contacto con el calor, la luz solar y el fuego [4].

### **El diluyente**

El diluyente tiene la función de disminuir la viscosidad de la resina cuando se requiera, el más conocido es el monómero de estireno.

### **El acelerador**

Es un elemento químico que contienen la resina poliéster que acelera el secado, es el octoato de cobalto, un líquido de color rosáceo que le da el color característico a la resina, las resina poliéster generalmente ya vienen con este elemento en un concentración del 2%.

### **El catalizador**

Este elemento provoca la reacción química de la resina, es decir su gelificación y finalmente su endurecimiento, el más usado es el peróxido de metil etil cetona [14].

Si la resina no es acelerada se le debe añadir el acelerante y el catalizador en las cantidades recomendadas. Por cada 100 g de resina, añadir 1,5% de acelerante de cobalto y 2% de catalizador [15].

### **El gel coat**

Los gel coat son resinas modificadas basadas en resinas epoxi o poliéster insaturada. Cumple dos funciones: Proteger a la pieza de golpes o agresiones y darle a la misma un acabado final que condiciona su aspecto visual [16].

Se le puede incorporar al gel coat pigmentos de colores para obtener un mejor acabado y al igual que la resina requiere de un catalizador (mek) para su secado.

### **Almacenamiento**

Para mantener las propiedades del gel coat debe ser almacenado a temperaturas menores de 24°C y lejos del calor y la luz solar en contenedores cerrados.

## Fibra de vidrio

La fibra de vidrio como su nombre lo indica es un material que consta de numerosas y muy finas fibras de vidrio, comúnmente se utiliza como material aislante, pero también se emplea como refuerzo de varios productos poliméricos, para formar un material compuesto fuerte y ligero que se denomina plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV), aunque la fibra de vidrio no es tan fuerte como la fibra de carbono, es más económica y menos frágil.

El vidrio E constituye la mayor parte de la producción de fibra de vidrio del mundo, se utiliza la letra E debido a que originalmente era para aplicaciones eléctricas.

**Fibras tipo E:** Es una fibra inorgánica compuesta de: 53-54% SiO<sub>2</sub>, 20-24% CaO, 14-15.5% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO y 6.5-9% B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

### Aplicaciones:

- ✚ Componentes de vehículos
- ✚ Aislante en construcciones
- ✚ Uso deportivo: Canoas, esquís, etc. [17]

### Mats de hilos cortados

Está constituido por fibras de vidrio cortadas y dispersar al azar en forma de un manto como se observa en la figura 2.6, están unidas por medio de algún aglomerante que tenga una alta solubilidad.



**Figura 2.6** Mats de fibra de vidrio [14]

Los mats se pueden utilizar como refuerzo con resinas poliéster, epóxicas y otras para procesos de aplicación manual en la fabricación de distintos elementos según se requiera.

## Ventajas

- ✚ Posee buena uniformidad
- ✚ Excelente para conformado de piezas complejas
- ✚ Rápida humectación
- ✚ Peso ligero
- ✚ Costo bajo
- ✚ Buena apariencia y propiedades mecánicas [4]

## Propiedades de la fibra de vidrio

Posee excelentes propiedades mecánicas como se muestra en la tabla 2.6.

**Tabla 2.6** Propiedades de la fibra de vidrio [18]

TIPO DE FIBRA	Tensión de rotura	Esfuerzo de Compresión	Densidad	Expansión térmica	Temperatura de ablandamiento
	(MPa)	(MPa)	(g/cm <sup>3</sup> )	μm/(m°C)	(°C)
Vidrio E	3445	1080	2,58	5,4	846

**Resistencia química:** La fibra de vidrio es resistente al medio ambiente y a los ácidos a excepción del ácido fosfórico y fluorhídrico.

**Aislamiento eléctrico:** Dado que la fibra no conduce la electricidad se lo puede utilizar como aislante.

**Versatilidad:** Es un producto muy versátil existe una gran gama de tamaños y tipos de fibra, lo que ofrece muchas posibilidad para distintas aplicaciones industriales [19].

### 2.1.2.2 Clasificación de los materiales compuestos

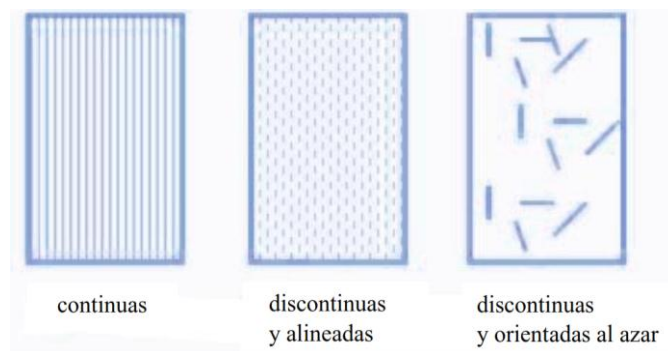
A los materiales compuestos se los puede clasificar en función del tipo de matriz o el tipo de refuerzo que se utiliza en la fabricación de estos.

#### Clasificación según el tipo de matriz

- ✚ Compuestos de matriz orgánica (polímeros)
- ✚ Compuestos de matriz metálica (aleaciones de titanio, aluminio y magnesio)
- ✚ Compuestos de matriz cerámica [20]

## Clasificación según el tipo de refuerzo

En el material compuesto el refuerzo aporta la rigidez, dureza y la resistencia mecánica. Las características que destacan son: resistencia a la tracción, su alto módulo de elasticidad, buena manejabilidad, resistencia al ambiente, ductilidad, costo bajo y fácil fabricación. La selección del tipo de refuerzo varía en función del material compuesto que se desea obtener [12]. En la figura 2.7 se observa los tipos de refuerzo que se utilizan en materiales compuestos.



**Figura 2.7** Tipos de fibra o refuerzo [11]

En función del tipo de refuerzo se clasifican en:

- ✚ Materiales compuestos con refuerzos continuos (fibras largas y tejidos)
- ✚ Materiales con refuerzos discontinuos (fibra corta y particulado)

**Fibra larga:** Son fibras en forma de hilo que tienen una relación longitud - diámetro mayor que 100, ( $L/D > 100$ ) [20].

**Tejidos:** Son capas donde los hilos se entrecruzan longitudinal y transversalmente unos con otros.

**Fibra corta:** Son fibras de una longitud muy pequeña, por lo general entre 3 a 12 milímetros [21].

**Particulados:** El refuerzo sería partículas con dimensiones iguales en todas sus direcciones.

### 2.1.2.3 Aplicaciones de materiales compuestos

En las aplicaciones actuales se necesitan materiales con una baja densidad y excelentes propiedades como: alta rigidez y resistencia. Esto no es posible con



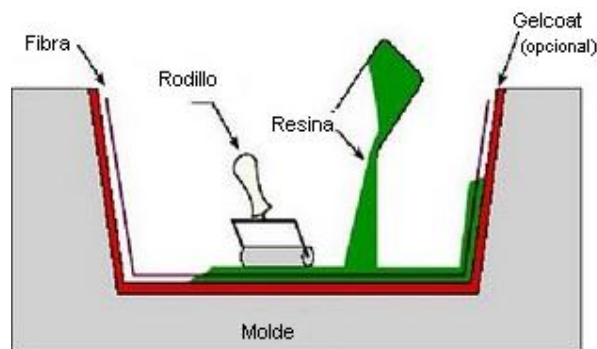
materiales como: metales y cerámicos, por lo que con el desarrollo de los materiales compuestos se ha conseguido mejorar las propiedades antes mencionadas. Los materiales compuestos con matriz polimérica se emplean ampliamente en la industria naval, automovilística, electrónica, aeroespacial, aeronáutica, material deportivo y en la construcción, remplazando a metales y a otros materiales en diversas aplicaciones [11], como se observa en las figura 2.8.



**Figura 2.8** Aplicaciones de materiales compuestos [22]

#### 2.1.2.4 Proceso de estratificación manual (hand lay-up)

El moldeo manual es un método sencillo por el que se prepara una pieza o elemento reforzado con fibra, como se puede ver en la figura 2.9.



**Figura 2.9** Esquema de proceso de moldeo manual [16]

El proceso que se debe llevar a cabo es el siguiente:

1. Acondicionar el molde con algún agente desmoldante.
2. Aplicar el gel coat para obtener un mejor acabado de forma manual o con una pistola de aspersión.

3. Luego que el gel coat está parcialmente curado se aplican las capas de refuerzo y de resina previamente catalizada sobre el refuerzo, se debe pasar un rodillo para ayudar a que el refuerzo se mezcle con la resina y para eliminar el aire atrapado.
4. Se deja curar el elemento a temperatura ambiente, el tiempo de curado depende de la temperatura ambiente y de la cantidad de catalizador que se utilizó.
5. Se procede a desmoldar la pieza [1].

### **Observaciones sobre el proceso**

- ✚ Las piezas se crean de adentro hacia afuera en el molde, el proceso más común es el de molde abierto.
- ✚ Al gel coat se le puede dar color con pigmentos, es un acabado superficial que va a tener el producto.
- ✚ El gel coat es estructuralmente débil, por lo que es necesario laminar la pieza con fibra de vidrio y resina para darle resistencia al material.
- ✚ El gel coat se cataliza al 2% (de su volumen) y el tiempo de gelificación es 30 – 45 minutos aproximadamente.
- ✚ Es importante determinar la cantidad de catalizador correcta a utilizar, un 1% de catalizador provoca un curado lento, un 2% es la cantidad recomendada, el 3% provoca un curado rápido y un 4% puede provocar que la resina se cure antes de acabar la aplicación.

### **Ventajas del moldeo manual**

- ✚ Es posible producir elementos grandes y complejos
- ✚ Proceso sencillo
- ✚ Costos bajos de equipo y manufactura

### **Desventajas del moldeo manual**

- ✚ La calidad del producto en parte depende de la habilidad del moldeador
- ✚ Riesgos a la salud por la manipulación de resina
- ✚ Los elementos solo poseen una cara lisa de la superficie del molde [16]

### **2.1.3 Materiales textiles**

Un material textil es aquel que está compuesto de fibras textiles [23].

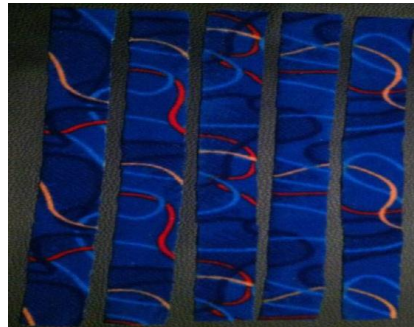
Se denomina fibra textil a un material que está compuesto de filamentos o hebras y puede ser usado para formar telas por medio de un tejido u otro proceso [24].

### 2.1.3.1 Pranna poliéster flexible

El poliéster es una fibra artificial que por su durabilidad, resistencia y repelencia se considera como una de las más versátiles. Las características de la fibra poliéster son:

- ✚ Resiste mucho al desgaste y la abrasión
- ✚ No se encoge
- ✚ Ante la presencia de ácidos u oxidantes no se deteriora
- ✚ Secado rápido
- ✚ No se arruga fácilmente y tiene un secado rápido
- ✚ Mantiene su aspecto original al pasar el tiempo

En la figura 2.10 se observa un forro a base de poliéster, el que se utiliza para recubrir asientos.



**Figura 2.10** Poliéster flexible (forro de asientos) [4]

### Procesos especializados

#### Enrollado de la fibra poliéster

Es el proceso donde se enrolla el hilo en un embobinador obteniendo una bobina de hilo de poliéster.

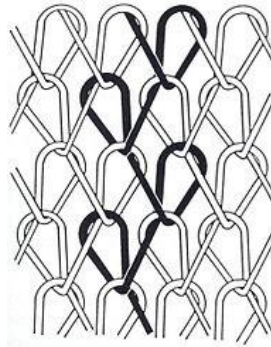
#### Estirado de la fibra poliéster

Es el proceso de orientación del hilo, en el que las fibras del hilo se orientan y paralizan, para garantizar de esta manera un tejido estable cuando se teja una tela [25].

Mediante este proceso se puede obtener telas adecuadas para forros de autobuses y autos con buenos acabados, suavidad, uniformes garantizando un ajuste óptimo al asiento del autobús [4].

### **Tejido tricot**

El tricot consiste en una serie de llacades llamados puntos, unidos entre si formando una malla. Se emplea para tejer materiales como hilo de algodón, lana u otras fibras textiles. La diferencia de los tejidos formados de un cruce de hilos de urdiembre y de trama, los tejidos tricot están constituidos por un solo hilo que se hace pasar por los bucles así formando una malla. Como se puede ver en la figura 2.11.



**Figura 2.11** Tejido tricot [26]

#### **2.1.3.2 Textil a base de vinilo**

##### **Descripción de producto**

Es un material vinílico espumado con un soporte textil en poliéster, sus características más sobresalientes son:

- ✚ Posee retardancia al fuego
- ✚ Protección del color a rayos ultravioletas
- ✚ Propiedades antideslizantes
- ✚ Alta resistencia y buena resistencia al desgaste
- ✚ Colores durables, no se decoloran ni se transfieren hacia otros materiales
- ✚ Impermeable y de fácil limpieza

Este material está diseñado para utilizarlo en pisos de línea automotriz.

### **Para el proceso de pegado es recomendable**

- ✚ Limpiar bien la pieza o el lugar donde se pegara el material, verificar que esté limpio, uniforme y seco
- ✚ Usar moderadas cantidades de pegamento esparcidas uniformemente y dejar que se evapore antes de pegar la pieza
- ✚ Utilizar rodillos para eliminar burbujas de aire

### **Manejo y almacenamiento**

- ✚ Almacenar los rollos de forma vertical
- ✚ No aporrear, perforar o dañar el material
- ✚ Conservar los rollos en bolsas plásticas o de papel
- ✚ Almacenar en lugares secos, libres de la humedad y la lluvia [4]

### **2.1.3.3 Clasificación de las fibras textiles**

Las fibras según la procedencia pueden ser naturales o sintéticas.

#### **Fibras naturales**

Se extraen a partir de materias primas como: vegetales, animales o minerales, las fibras pasan por un proceso de limpiado, desenredado, estirado, teñido y trenzado para finalmente formar hilos y posteriormente fabricar tejidos [23]. En la figura 2.12 se observa una planta de algodón a partir de la que se extrae una fibra natural.



**Figura 2.12** Planta de algodón [27]

Existe una gran variedad de fibras naturales como se muestra en la tabla 2.7.

**Tabla 2.7** Tipos de fibras naturales [24]

<b>FIBRAS NATURALES</b>		
<b>De origen animal</b>	<b>De origen vegetal</b>	<b>Minerales (generalmente inorgánicas)</b>
Lana	Fruto: Coco, Algodón	Asbesto
Pelos: (conejo, cabra, camélidos)	Tallo: Yute, Lino, Cáñamo	Fibra de vidrio
Seda: (gusano de seda)	Hoja: Abacá, Esparto	Fibra de cerámica

### **Fibras sintéticas**

No utilizan componentes naturales, son completamente químicos.

Las fibras sintéticas como el nylon, la licra, el poliéster y el rayón son materiales plásticos, poseen buena resistencia, dureza e impermeabilidad [23]. En la figura 2.13 se aprecia una fibra sintética de rayón.

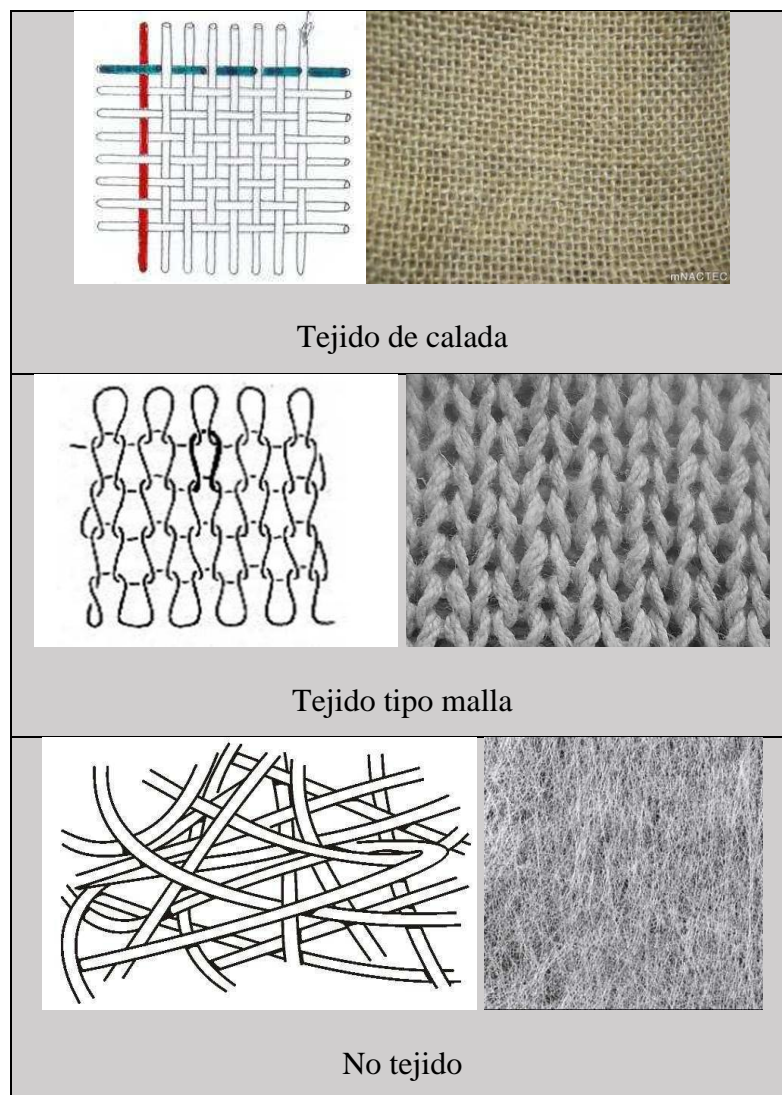


**Figura 2.13** Hilos de rayón [28]

#### **2.1.3.4 Tejidos**

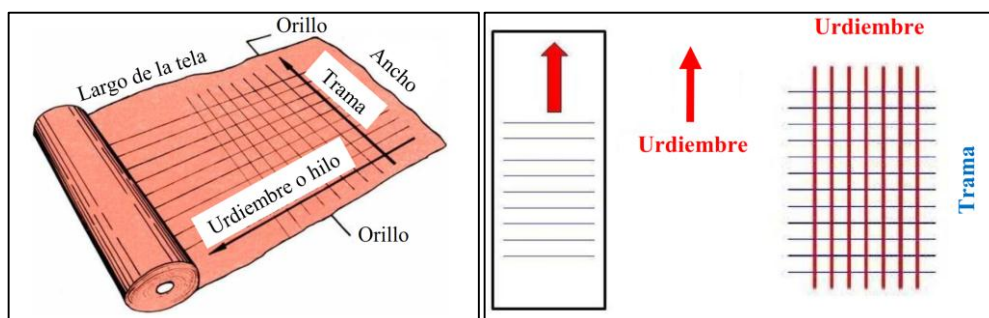
Un tejido es una superficie plana y elástica resultado del entrecruzamiento de hilos (tejidos de calada) o el enlazamiento de hilos (tejido malla). Existe una estructura similar conocida como “no tejidos” que viene a ser el resultado del enmarañamiento de fibras, obtenido por distintos métodos.

Una característica de los tejidos es que son anisotrópicos (es la capacidad de expandirse y/o contraerse en sus varias direcciones) por lo que sus propiedades varían según la dirección o sentido en que son analizados [5]. En la figura 2.14 se observa los distintos tipos de tejido.



**Figura 2.14** Tipos de tejido [5]

Los tejidos por lo general están compuestos por una urdiembre y una trama. La urdiembre lo constituyen los hilos que van en sentido de la altura longitudinal y la trama son los hilos que se entrecruzan con la urdiembre en sentido de la anchura transversal [29], como se puede apreciar en la figura 2.15.



**Figura 2.15** Tejido (urdiembre y trama) [5]

#### **2.1.4 Propiedades mecánicas**

Las propiedades mecánicas muestran el comportamiento de un material cuando está sometido a cargas o fuerzas exteriores. Estas propiedades se determinan realizando pruebas destructivas en muestras del material sometiéndolas a la acción de una fuerza hasta que se fracturen y esto se conoce como propiedad mecánica.

Existen varias pruebas estándares para determinar las propiedades de tracción, compresión, flexión, entre otras, y estos valores son de vital importancia al momento de seleccionar materiales para un diseño en donde la función principal de los elementos es soportar fuerza [30].

#### **2.1.5 Ensayo de materiales**

Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales se realizan ensayos destructivos, para esto se toma una cierta cantidad de muestras del material a ensayar y se realiza pruebas para caracterizar el comportamiento que tiene el material. Estos ensayos se realizan bajo condiciones controladas y con equipos adecuados para obtener buenos resultados.

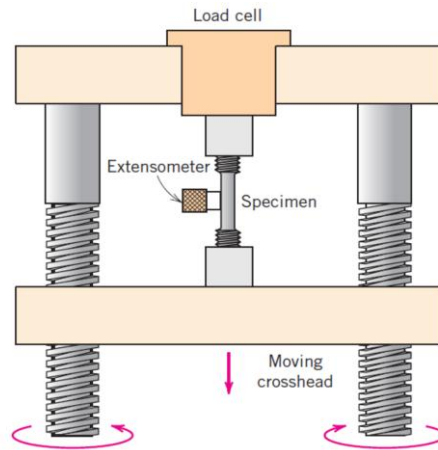
La (ASTM) Sociedad Americana para Ensayos y Materiales, ha desarrollado algunas normas para ensayar materiales. Entre ellas podemos encontrar normas para materiales compuestos y textiles.

##### **2.1.5.1 Ensayo de tracción en materiales compuestos**

El ensayo de tracción (esfuerzo – deformación) es uno de los más comúnmente realizados. El ensayo consiste en deformar una probeta hasta su rotura aplicando una carga que va aumentando a lo largo del eje de la probeta.

Para materiales compuestos el ensayo a tracción se ejecuta bajo las condiciones y requisitos establecidos en la norma ASTM D3039-00 y se lo realiza en una máquina universal para ensayos como se puede ver en la figura 2.16.





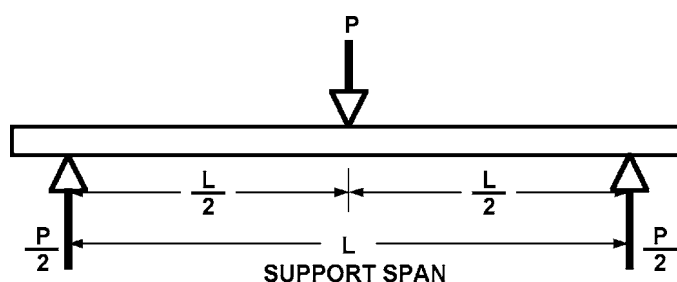
**Figura 2.16** Máquina universal [2]

En este tipo de materiales se debe utilizar algún elemento que garantice la sujeción de las probetas, de modo que no se produzca deslizamiento durante el ensayo.

Las dimensiones de las probetas vienen establecidas en la norma anteriormente mencionada, las superficies de las probetas deben estar libres de defectos o imperfecciones para obtener buenos resultados.

### 2.1.5.2 Ensayo de flexión en materiales compuestos

Sirve para determinar las propiedades de resistencia a flexión, en materiales compuestos se lo realiza con la norma ASTM D7264-07, donde establece las características de las probetas y el procedimiento. Dicho ensayo consiste en la aplicación de una fuerza en el centro de una barra con apoyos simples, como se observa en la figura 2.17.



**Figura 2.17** Configuración de carga a flexión en tres puntos

Fuente: Norma ASTM D7264-07

Las propiedades a flexión pueden variar por las condiciones de ambiente o ensayo, el espesor y la superficie de las probetas, ya que ningún laminado es completamente simétrico, estas pequeñas diferencias desvían el eje neutral y los resultados cambian.

Por ello es importante que las probetas estén libres de defectos o fisuras para obtener buenos resultados. Si en el proceso de corte se producen marcas o imperfecciones estas pueden ser eliminadas utilizando una lija muy fina o algún abrasivo [2].

### **2.1.5.3 Ensayo de impacto en materiales compuestos**

El ensayo de impacto determina la tenacidad que posee un material [31]. La tenacidad es la capacidad de absorber o acumular energía un material antes de fracturar o romperse en condiciones de impacto [32].

#### **Ensayo de impacto mediante caída de dardo**

Determina la energía de falla de un material, para ello se deja caer un dardo sobre una probeta, luego de cada impacto se procede a retirar esta de la máquina y se revisa el daño que ha sufrido esta. Se considera como falla cuando aparece una fisura en la probeta, esto se detecta a simple vista. Por lo general la falla ocurre en el lado opuesto al golpe, por ello es necesario revisar la probeta luego de cada impacto.

Hay que evitar que el dardo rebote sobre la probeta tras cada lanzamiento y se considera como energía de impacto a la que produzca fallas en al menos el 50% de las probetas ensayadas, con esta misma consideración se determina la altura y el peso del impactador. La norma para el ensayo en materiales compuestos donde establece las características de las probetas, así como el procedimiento a realizarse es la ASTM D5628-01 [1]. En la figura 2.18 se puede ver la máquina que se utiliza para realizar este ensayo.



**Figura 2.18** Máquina para ensayos de impacto [2]

#### **2.1.5.4 Ensayo de tracción en materiales textiles**

Es la capacidad que tiene un material textil de soportar un esfuerzo a tracción [33]. Este valor se determina mediante la realización de algún ensayo.

Existen varios tipos de ensayos para determinar la resistencia a la tracción de materiales textiles, cada método describe su procedimiento y características.

#### **Método de prueba estándar para determinar la fuerza de rotura y elongación de materiales textiles (método de la tira)**

Con este método se determina la fuerza de rotura y el alargamiento de materiales textiles. En cuanto a las características de las probetas como sus dimensiones y el procedimiento de ensayo se realiza en función de la norma ASTM D5035-03.

El ensayo consiste en sujetar una probeta en el centro las abrazaderas de un equipo de ensayo (máquina universal) y posteriormente aplicar una fuerza a lo largo de su eje longitudinal a una velocidad constante hasta que la probeta se rompa, como se observa en la figura 2.19.



**Figura 2.19** Ensayo por el método de tiras [5]

Para obtener buenos resultados se debe evitar que se produzca deslizamiento durante el ensayo, para esto se debe emplear algún tipo agarraderas o sujeción de las probetas en función de las características del equipo de ensayo [34].

## **2.2 Hipótesis**

Mediante el análisis de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas se podrán determinar sus propiedades mecánicas

## **2.3 Señalamiento de variables de la hipótesis**

### **2.3.1 Variable independiente**

Materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas

### **2.3.2 Variable dependiente**

Propiedades mecánicas

### **2.3.3 Término de relación**

Podrán

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 Nivel o tipo de investigación

##### 3.1.1 Descriptivo

Se utilizó este tipo de investigación ya que se describe el análisis que se realizó a los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas para determinar sus propiedades mecánicas.

##### 3.1.2 Experimental

La investigación se realizó de manera experimental, porque los resultados que se obtuvieron de los ensayos luego de las pruebas realizadas ayudaron a determinar las propiedades mecánicas de los materiales analizados.

##### 3.1.3 Bibliográfica

El presente estudio requirió de una investigación bibliográfica, debido a que fue necesario utilizar normas, documentos, artículos, libros, tesis, publicaciones, etc.

#### 3.2 Población y muestra

##### 3.2.1 Población

La población de la presente investigación son los 4 materiales que se analizaron descritos en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1** Población de estudio

POBLACIÓN		
1	(Fibra de vidrio + resina poliéster) forro del techo interior	Materiales compuestos
2	(Fibra de vidrio + resina poliéster) forro laterales interiores	
3	Pranna poliéster flexible (forro de asientos)	Materiales textiles
4	Textil a base de vinilo (forro de piso)	

Fuente: El autor

### 3.2.2 Muestra

Una vez determinada la población en la tabla 3.1, la muestra fue el número de probetas que se ensayaron por cada material, y está en función de la normativa a aplicarse y el tipo de ensayo como se puede ver en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2** Muestra de los materiales a analizar

N°	MATERIAL	N° PROBETAS	ENSAYO	NORMA
1	(Fibra de vidrio + resina poliéster) forro del techo interior	5	Tracción	ASTM D3039-00
		5	Flexión	ASTM D7264-07
		7	Impacto	ASTM D5628-01
2	(Fibra de vidrio + resina poliéster) forro laterales interiores	5	Tracción	ASTM D3039-00
		5	Flexión	ASTM D7264-07
		7	Impacto	ASTM D5628-01
3	Pranna poliéster flexible (forro de asientos)	10	Tracción	ASTM D5035-03
4	Textil a base de vinilo (forro de piso)	5	Tracción	ASTM D5035-03
<b>Total</b>		<b>49</b>		

Fuente: El autor

La muestra requirió de un total de 49 probetas, 34 para los materiales compuestos y 15 para los materiales textiles.

### 3.3 Operacionalización de variables

#### 3.3.1 Variable independiente

Materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas

**Tabla 3.3** Operacionalización de la variable independiente

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ITEMS	HERRAMIENTAS
Dentro del proceso de fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas se emplean materiales que de acuerdo a la necesidad pueden clasificarse en materiales compuestos, textiles, etc. Que garanticen seguridad y bienestar al pasajero	Materiales compuestos	Configuración	Fibra de vidrio + resina poliéster	Observación directa
		Fracción volumétrica	(70 - 80)% Resina poliéster (30 - 20)% Fibra de vidrio	Bibliográfica Fichas de datos
	Materiales textiles	Características	Composición Tipo de tejido	Observación directa Bibliográfica Fichas de datos

**Fuente:** El autor

### 3.3.2 Variable dependiente

Propiedades mecánicas

**Tabla 3.4** Operacionalización de la variable dependiente

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ITEMS	HERRAMIENTAS
Las propiedades mecánicas indican el comportamiento de un material cuando se encuentra sometido a fuerzas exteriores o cargas, que son evaluadas mediante ensayos bajo especificaciones técnicas y normas.	<b>Materiales compuestos</b>			Observación Normas ASTM Ensayos Toma de datos
	Tracción	Esfuerzo de tracción	¿Cuál será el esfuerzo de tracción?	
		Módulo de elasticidad	¿Cuál será el módulo de elasticidad?	
	Flexión	Esfuerzo de flexión	¿Cuál será el esfuerzo de flexión?	
		Módulo de flexión	¿Cuál será el módulo de flexión?	
	Impacto	Energía de impacto	¿Cuál será la energía de impacto?	
	<b>Materiales textiles</b>			Observación Normas ASTM Ensayos Toma de datos
	Tracción	Esfuerzo de tracción	¿Cuál será el esfuerzo de tracción?	
Módulo de elasticidad		¿Cuál será el módulo de elasticidad?		

**Fuente:** El autor



### **3.4 Plan de recolección de información**

Se procedió de la investigación documental y bibliográfica de modo que se pudo obtener la información necesaria en cuanto a las características de los siguientes materiales:

#### **Materiales compuestos**

- ✚ (Fibra de vidrio + resina poliéster) forro del techo interior
- ✚ (Fibra de vidrio + resina poliéster) forros laterales interiores

#### **Materiales textiles**

- ✚ Pranna poliéster flexible (forro de asientos)
- ✚ Textil a base de vinilo (forro de piso)

Seguidamente se revisó la normativa ASTM para el dimensionamiento de las probetas y la realización de los ensayos.

Para los materiales compuestos se realizaron ensayos de tracción, flexión e impacto, y para los materiales textiles se realizó el ensayo de tracción dado que la forma típica que tienen los materiales no permitió realizar otro tipo de ensayo.

Los ensayos se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua.

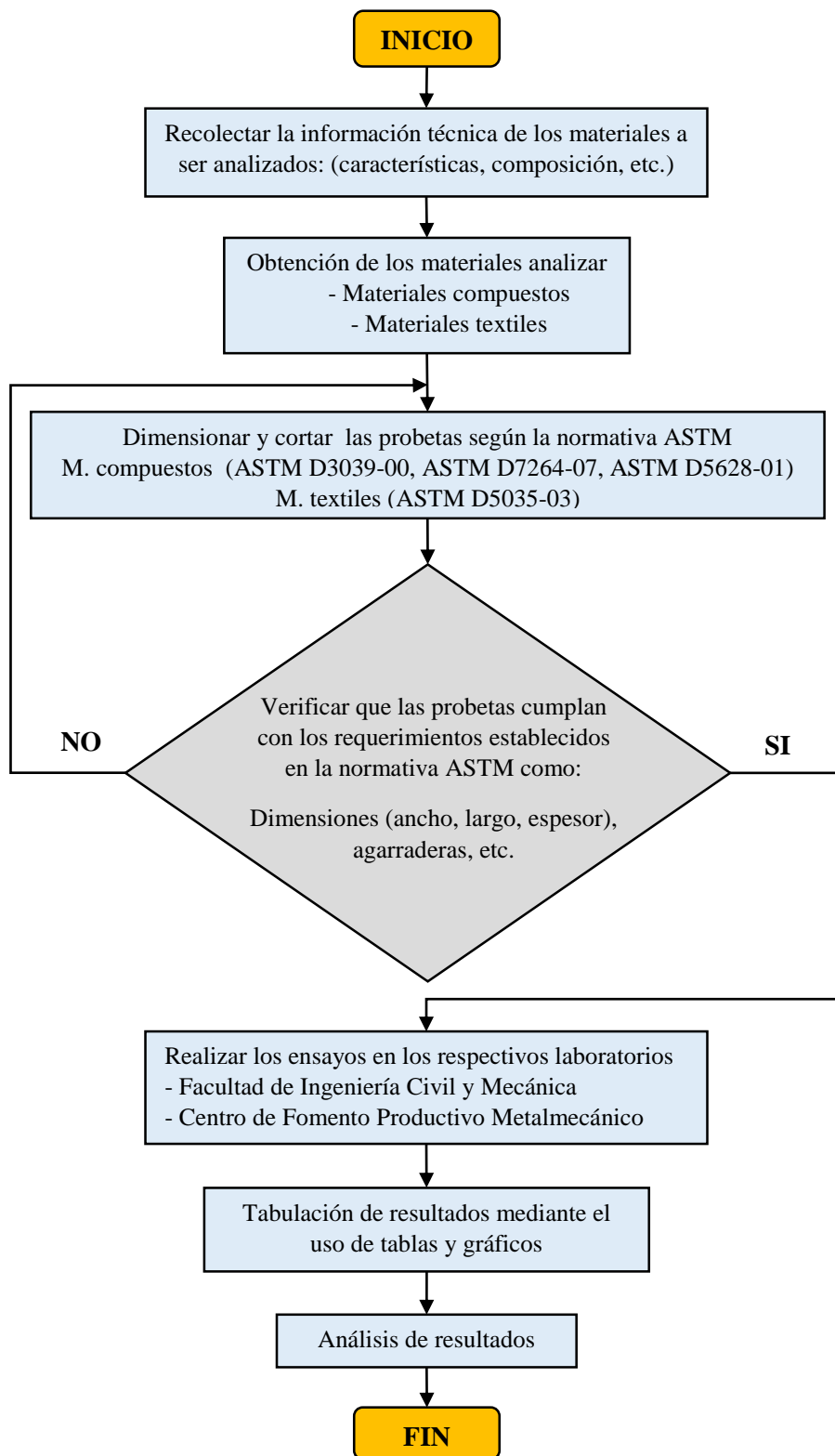
De los resultados obtenidos de los ensayos se determinaron las propiedades mecánicas que presentaron los materiales mencionados.

### **3.5 Plan Procesamiento y análisis**

Se analizaron los resultados de los ensayos, para lo que se empleó tablas, fichas técnicas, etc.

La información se procesó mediante el uso de gráficos y tabulaciones en Excel facilitando el análisis de resultados.

A continuación se procede a describir con un diagrama de flujo el proceso que se debió cumplir para la ejecución del estudio.



**Figura 3.1** Diagrama de flujo para la realización del estudio

Fuente: El autor

### **3.5.1 Recolección de la información de los materiales**

#### **3.5.1.1 Materiales compuestos**

Se analizó dos materiales compuestos de fibra de vidrio con resina poliéster, utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas, en el proceso de forrado interior que son:

1. (Fibra de vidrio + resina poliéster) forro del techo interior
2. (Fibra de vidrio + resina poliéster) forro laterales interiores

Para iniciar la investigación se determinaron las características y composición de los materiales mencionados, para lo que se tomaron datos de la empresa Master Fibra (fabricantes de partes de fibra de vidrio para carrocerías, entre otros), quien se encarga de la fabricación de los dos materiales compuestos que se analizó.

#### **1. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior**



**Figura 3.2** Material compuesto forro del techo interior

Fuente: Master Fibra

Es un material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster que se utiliza en el forrado interior del techo de carrocerías metalmecánicas tiene un aspecto de color blanco generalmente como se observa en la figura 3.2. Se lo emplea como forro, agente de refuerzo entre la estructura y el usuario y como material aislante.

#### **2. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores**

Este material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster se lo utiliza en el forrado interior de carrocerías de los laterales bajo las ventanas, al igual que el

anterior material se lo emplea como forro, agente de refuerzo y material aislante. En la figura 3.3 se observa un forro lateral.



**Figura 3.3** Material compuesto forro lateral

Fuente: Master Fibra

### Porcentajes de fibra de vidrio y de resina poliéster de los materiales compuestos

Es importante conocer estos valores a fin establecer la configuración de cada material previo a la realización de los ensayos para determinar sus propiedades mecánicas.

Estos porcentajes son valores conocidos dado que los materiales compuestos que se analizaron son de fábrica y cuyas cantidades son un parámetro de trabajo y se describen en la tabla 3.5.

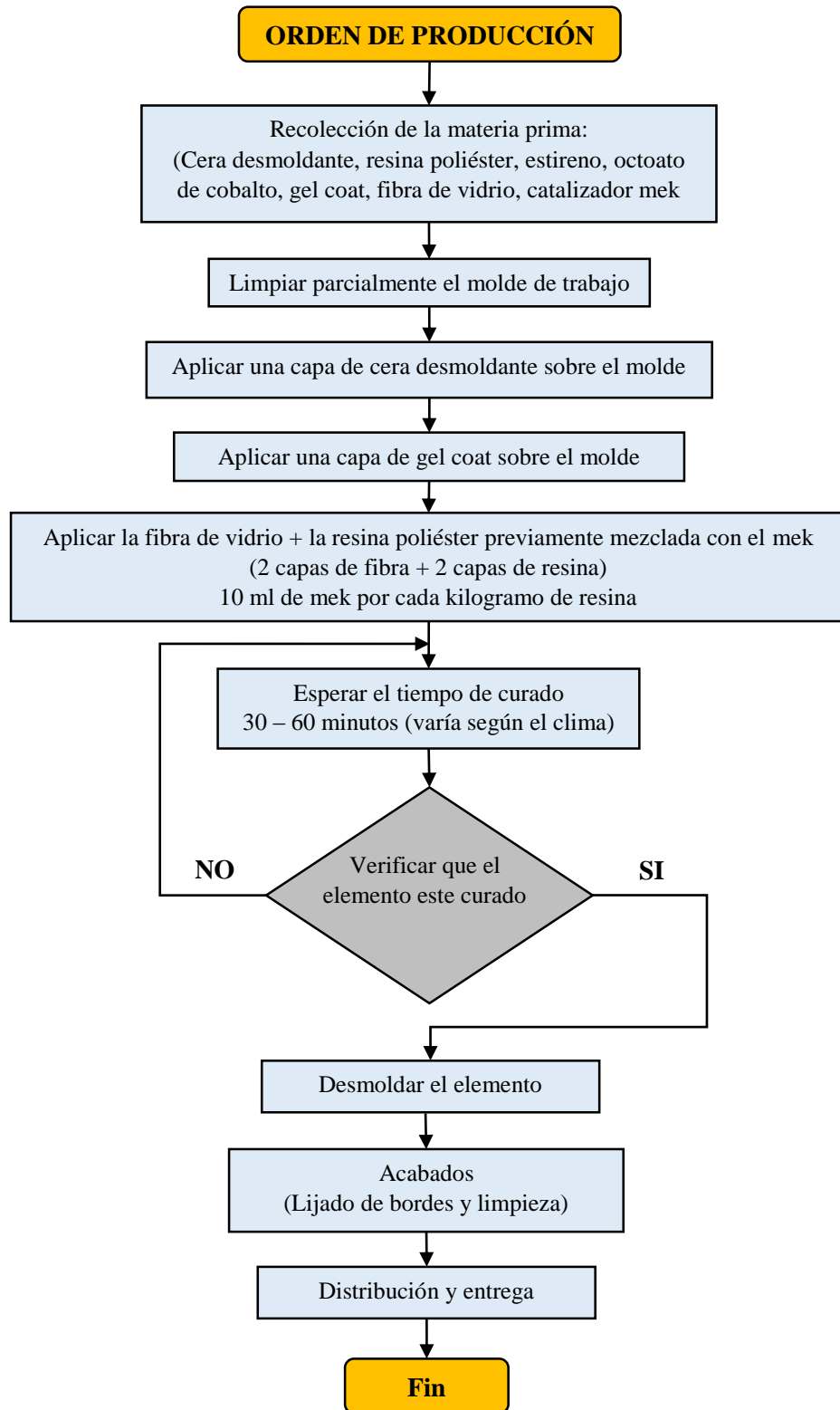
**Tabla 3.5** Características de los materiales compuestos

N°	MATERIAL	% MATRIZ	% REFUERZO	N° CAPAS DE MATRIZ	N° CAPAS DE REFUERZO
1	Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior	70	30	2	2
2	Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores	80	20	2	2
<b>REFUERZO:</b> Fibra de vidrio		<b>MATRIZ:</b> Resina poliéster		<b>ORIENTACIÓN DEL REFUERZO:</b> Aleatorio	
El tipo de refuerzo, matriz y la orientación del refuerzo se consideran para los 2 materiales					

Fuente: El autor

### Proceso de elaboración de los materiales compuestos

El proceso que se utiliza para la elaboración de los materiales mencionados es el de estratificación manual que se encuentra descrito en el literal 2.1.2.4. En la figura 3.4 se detallan las actividades que se deben cumplir para la elaboración de los materiales.



**Figura 3.4** Proceso de moldeo de materiales compuestos

Fuente: El autor

### **Características de la resina poliéster y de la fibra de vidrio**

Para la elaboración de los dos materiales compuestos se utilizó resina poliéster y fibra de vidrio, basándose en el trabajo de Castro [4], en donde se detalla el tipo resina utilizada para la preparación de estos materiales se consideró la resina polylite 32800-80 cuyas características se encuentran descritas en el literal 2.1.2.1

#### **3.5.1.2 Materiales textiles**

Se analizaron dos materiales textiles que se utilizan en el proceso de forrado interior de carrocerías metalmecánicas que son:

##### **1. Pranna poliéster flexible (forro de asientos)**

Es un material textil que se utiliza para forrar los asientos de carrocerías metalmecánicas como se muestra en la figura 3.5, está elaborado a base de fibras de poliéster. Las características del poliéster detallan en el apartado 2.1.3.1.



**Figura 3.5** Asientos de buses [35]

##### **2. Textil a base de vinilo (forro de piso)**

El textil a base de vinilo conocido comúnmente como moqueta de piso, se utiliza para el forrado de pisos del interior de carrocerías metalmecánicas. Es un material resistente, generalmente tiene un aspecto de color negro como se puede ver en la figura 3.6. La descripción de este material está detallado en el literal 2.1.3.2.



**Figura 3.6** Textil moqueta de piso

Fuente: Proquinal

### **3.5.2 Dimensionamiento de las probetas para ensayos**

#### **3.5.2.1 Probetas para ensayos en materiales compuestos**

Para la realización de los ensayos se obtuvieron dos elementos de los materiales que se analizó, de las mismas características que se fabrican los materiales compuestos (techo y laterales) utilizados en la fabricación del interior de carrocerías facilitados por MASTER FIBRA, para obtener las probetas a partir de dichos materiales.

Una vez recolectada la información preliminar se procedió a dimensionar las probetas para la realización de los ensayos en función de las siguientes normas:

- ✚ ASTM D3039-00 Ensayo de tracción
- ✚ ASTM D7264-07 Ensayo de flexión
- ✚ ASTM D5628-01 Ensayo de impacto

Según lo establecido por la normativa mencionada se debe realizar un mínimo de 5 probetas por cada condición de ensayo, de tal manera que por cada ensayo de tracción y flexión se analizaron 5 probetas y por cada ensayo de impacto se analizó 7 probetas. Además las normas mencionadas determinan las dimensiones de las probetas que se encuentran descritas en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6** Características de las probetas para ensayos según la normativa ASTM

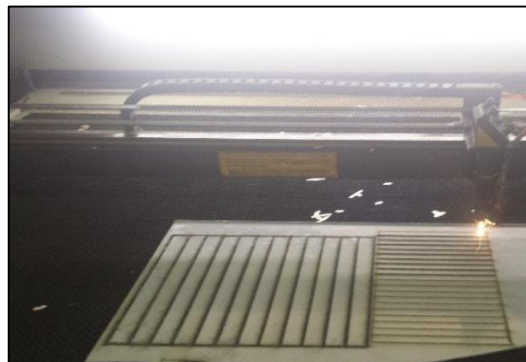
ENSAYO	DIMENSIONES (mm)			NORMA A UTILIZAR	NÚMERO DE PROBETAS
	Largo	Ancho	Espesor		
Tracción	250	25	espesor	ASTM D3039-00	5
Flexión	160	13	espesor	ASTM D7264-07	5
Impacto	58	58	espesor	ASTM D5628-01	7

Fuente: El autor

La normativa ASTM determina las dimensiones (largo, ancho y espesor) de las probetas, en este caso el espesor es variable debido a que está en función de: el número de capas de fibra de vidrio y de resina poliéster con las que se fabrican los materiales y la fracción volumétrica, es decir las cantidades de fibra y de resina presentes en cada material, cuyos valores se encuentran descritos en la tabla 3.5.

### **Corte de las probetas**

De modo que se obtengan probetas libres de imperfecciones y con un buen acabado se realizó un corte por medio de una máquina laser CNC como se puede ver en la figura 3.7.



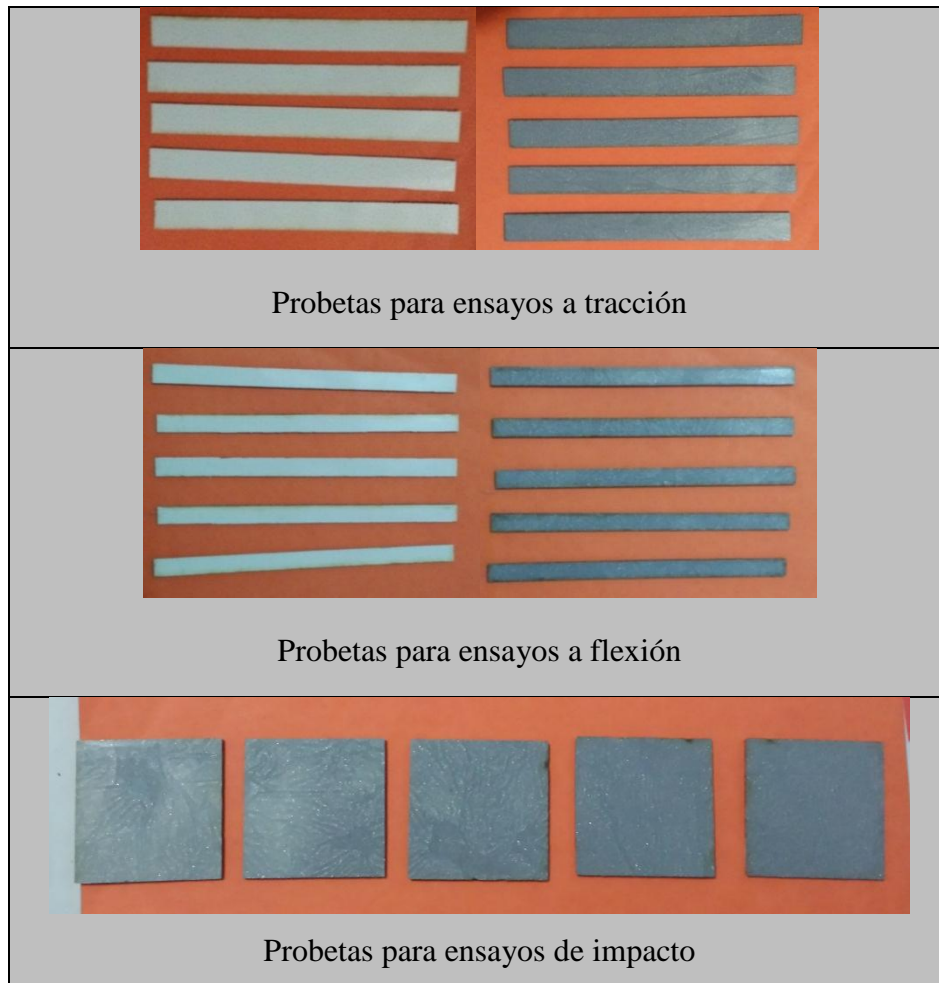
**Figura 3.7** Corte mediante laser CNC

Fuente: El autor

Después del corte se procedió a lijar los bordes de las probetas con una lija muy fina para obtener un mejor acabado.

En las figura 3.8 se muestra las probetas que finalmente se obtuvieron para los ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente.





**Figura 3.8** Probetas para ensayos en materiales compuestos

Fuente: El autor

### **Codificación de las probetas**

Para facilitar el estudio se realizó una codificación de las probetas de la siguiente manera.

Se analizó dos materiales compuestos, siendo estos:

1. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior
2. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

Para el primer material forro del techo se asignó la letra T.

Para el segundo material forros laterales se asignó la letra L.

A continuación se colocó otra letra que está en función del tipo de ensayo que se realizó, los que se mencionan en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7** Tipos de ensayos para materiales compuestos

ENSAYO	SÍMBOLO
Tracción	T
Flexión	F
Impacto	I

Fuente: El autor

Finalmente cada probeta se codificó con su primera letra siendo T o L, la segunda letra indica el tipo de ensayo que se realizó (T-F-I) con su respectivo número de probeta. En la tabla 3.8 se muestra un ejemplo de las probetas número 1 de cada grupo de ensayo.

**Tabla 3.8** Codificación de las probetas de materiales compuestos

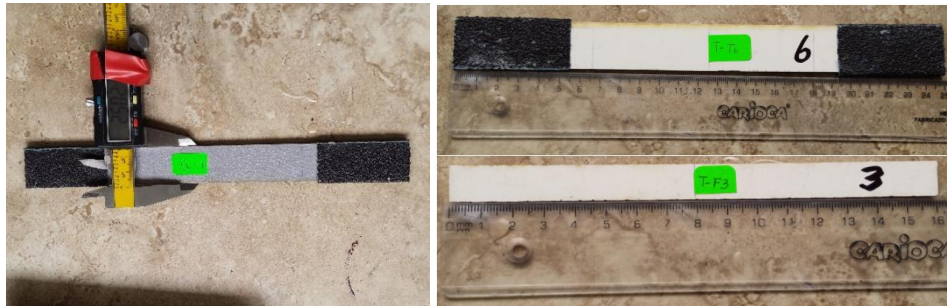
Probetas codificadas	Significado
T - T1	Probeta uno para ensayo a tracción, forro del techo interior
T - F1	Probeta uno para ensayo a flexión, forro del techo interior
T - I1	Probeta uno para ensayo a impacto, forro del techo interior
L - T1	Probeta uno para ensayo a tracción, forro laterales interiores
L - F1	Probeta uno para ensayo a flexión, forro laterales interiores
L - I1	Probeta uno para ensayo a impacto, forro laterales interiores

Fuente: El autor

### **Determinación de las características de las probetas**

Es necesario conocer los valores del ancho y el espesor de las probetas, ya que estos datos se necesitan para realizar los cálculos correspondientes en los ensayos de tracción y flexión.

**Dimensiones:** Para determinar las dimensiones (ancho, espesor) de las probetas se utilizó un calibrador electrónico pie de rey y para medir el largo de estas se empleó una regla de 30 cm, como se aprecia en la figura 3.9.



**Figura 3.9** Medición de las probetas de materiales compuestos

Fuente: El autor

De esta manera se procedió para cada grupo de probetas (tracción, flexión, impacto) de los dos materiales compuestos que se analizó obteniendo las tablas 3.9 y 3.10 respectivamente.

**Tabla 3.9** Características de las probetas del material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior

<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior</b>			
<b>Probetas para ensayo de tracción</b>			
<b>N° PROBETA</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
T - T1	250	24,61	2,20
T - T2	250	24,64	2,21
T - T3	250	24,83	2,19
T - T4	250	24,63	2,16
T - T5	250	24,75	2,18
<b>Promedio</b>	<b>250</b>	<b>24,69</b>	<b>2,19</b>
<b>Probetas para ensayo de flexión</b>			
<b>N° PROBETA</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
T - F1	160	13,09	2,17
T - F2	160	13,10	2,16
T - F3	160	12,8	2,18
T - F4	160	12,56	2,15
T - F5	160	12,96	2,15
<b>Promedio</b>	<b>160</b>	<b>12,90</b>	<b>2,16</b>

<b>Probetas para ensayo de impacto</b>			
<b>N° PROBETA</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
T - I1	58	58	2,26
T - I2	58	58	2,38
T - I3	58	58	2,20
T - I4	58	58	2,15
T - I5	58	58	2,20
T - I6	58	58	2,23
T - I7	58	58	2,19
<b>Promedio</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	<b>2,20</b>

Fuente: El autor

**Tabla 3.10** Características de las probetas del material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forros laterales interiores</b>			
<b>Probetas para ensayo de tracción</b>			
<b>N° PROBETA</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
L - T1	250	24,60	2,77
L - T2	250	24,68	2,81
L - T3	250	24,60	2,77
L - T4	250	24,59	2,65
L - T5	250	24,85	3,00
<b>Promedio</b>	<b>250</b>	<b>24,66</b>	<b>2,80</b>
<b>Probetas para ensayo de flexión</b>			
<b>N° PROBETA</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
L - F1	160	12,72	2,71
L - F2	160	12,61	2,69
L - F3	160	12,61	2,70
L - F4	160	12,89	3,00
L - F5	160	12,65	2,70
<b>Promedio</b>	<b>160</b>	<b>12,70</b>	<b>2,76</b>
<b>Probetas para ensayo de impacto</b>			
<b>N° PROBETA</b>	<b>LARGO (mm)</b>	<b>ANCHO (mm)</b>	<b>ESPESOR (mm)</b>
L - I1	58	58	2,91

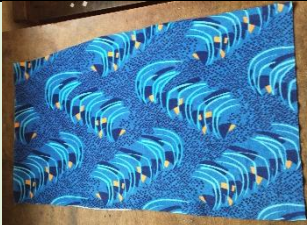


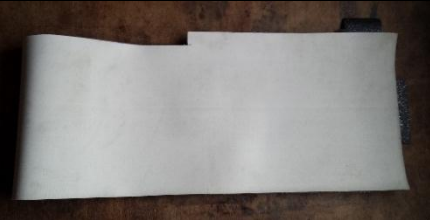
L - I2	58	58	2,62
L - I3	58	58	2,67
L - I4	58	58	2,77
L - I5	58	58	2,70
L - I6	58	58	2,81
L - I7	58	58	2,76
<b>Promedio</b>	<b>58</b>	<b>58</b>	<b>2,75</b>

Fuente: El autor

### 3.5.2.2 Probetas para ensayos en materiales textiles

Para el desarrollo del ensayo de tracción se obtuvieron dos tramos de los materiales que se analizó, los tipos de los materiales textiles que se ensayaron son de los proveedores más comunes en el mercado que se utilizan para el forrado interior de carrocerías, los que se detallan en la tabla 3.11.

**Tabla 3.11** Tipos de materiales textiles

<b>Pranna poliéster flexible (forro de asientos)</b>	
	
<b>Proveedor</b>	Lafayette
<b>Textil a base de vinilo (forro de piso)</b>	
	
<b>Proveedor</b>	Proquinal

Fuente: El autor

El dimensionamiento de las probetas se realizó en función de la norma ASTM D5035-03, la que determina que realice un mínimo de 5 probetas por cada condición de ensayo.

La norma mencionada determina el ancho y el procedimiento para establecer el largo de las probetas, en cuanto al espesor no especifica ningún valor, en este caso el espesor de las probetas es del material en cuestión.

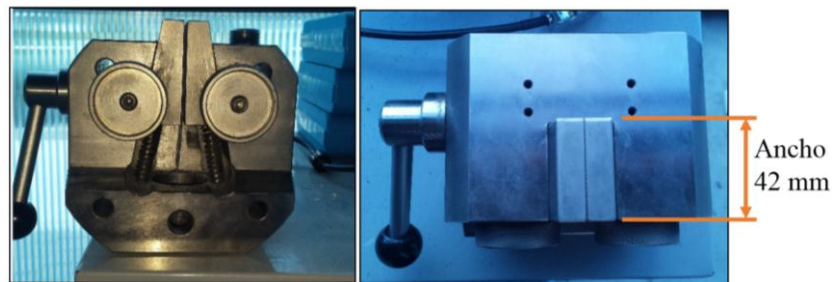
En la norma ASTM D5035-03 se establece 4 posibles tipos de probeta para la realización de este ensayo, los que se detallan en la tabla 3.12.

**Tabla 3.12** Tipos de probeta para ensayo de tracción en materiales textiles

Caso	Ancho (mm)	Largo
1	35	El largo está en función de las abrazaderas de la máquina de ensayo
2	65	
3	25	
4	50	

Fuente: El autor

Lo que diferencia a un caso de otro es el ancho de las probetas. El tipo de probetas que se seleccionó para este ensayo fueron las del caso número 3, probetas de 25 mm de ancho, esta selección se realizó en función de las características de la máquina con la que se ensayó, específicamente las abrazaderas que son en donde se colocan las probetas durante el ensayo y estas tienen un ancho máximo de 42 mm como se ve en la figura 3.10, por tal razón las probetas tenían que ser menor que esa distancia.



**Figura 3.10** Abrazaderas de la máquina de ensayo

Fuente: El autor

### Dimensionamiento de las probetas

**Ancho y largo:** La norma y el caso establecidos anteriormente determinaron un ancho de  $25 \pm 1$  mm y el largo depende del tipo de abrazaderas de la máquina de ensayo, así que este valor se calculó de la siguiente manera.

Las abrazaderas (superior e inferior) tienen una longitud de 53 mm cada una y según la norma mencionada la longitud de calibre que es la distancia entre abrazaderas antes de realizar el ensayo es de 75 mm, además se sugiere que las probetas al menos sobresalgan 10 mm de cada abrazadera, de tal modo se tiene:

- ✚ Longitud de abrazaderas ( $L_a$ ) = 53 mm
- ✚ Longitud de calibre ( $L_c$ ) = 75 mm
- ✚ Longitud que sobresalen las probetas sobre las abrazaderas ( $L_s$ ) = 10 mm
- ✚ Largo de probeta ( $L_g$ ) = ?

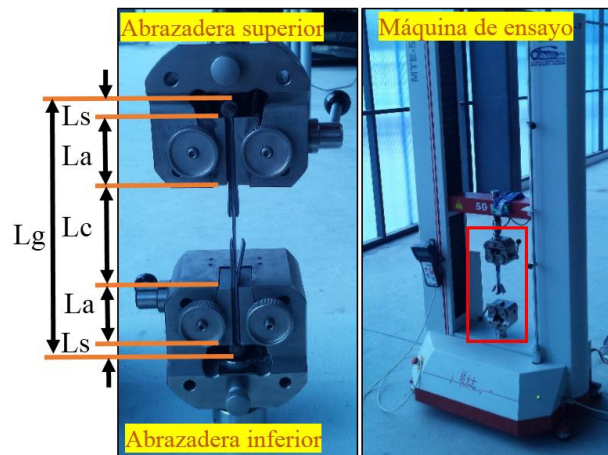
El largo de probeta ( $L_g$ ) es:

$$L_g = 2L_a + L_c + 2L_s \quad (\text{Ec. 3.1})$$

$$L_g = 2(53 \text{ mm}) + 75 \text{ mm} + 2(10 \text{ mm})$$

$$L_g = 201 \text{ mm}$$

Se multiplicó el factor 2 a  $L_a$  y  $L_s$  debido a que son dos abrazaderas (superior e inferior) que intervienen en el cálculo. En la figura 3.11 se puede ver el dimensionamiento del largo de las probetas en función de las características de la máquina con la que se ensayó.



**Figura 3.11** Largo de las probetas en función de las características de la máquina de ensayo METROTEC MTE-50

Fuente: El autor

Mediante el cálculo anterior se estableció el largo de probeta ( $L_g$ ), por lo tanto las dimensiones de las probetas son:

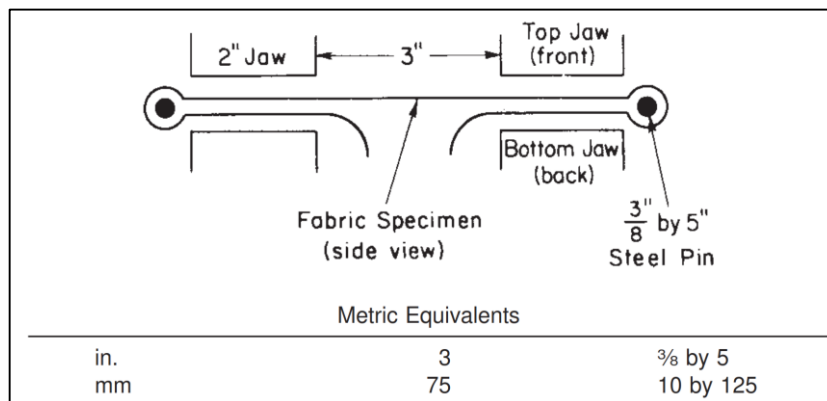
✚ Ancho = 25 mm

✚ Largo = 201 mm

Cabe acotar que el largo de 201 mm que se menciona corresponde a la distancia que tendrán las probetas luego de la preparación de las mismas y que la longitud total de cada probeta antes de su preparación se calculó tomando en cuenta la siguiente consideración.

### Sujeción de las probetas en las mordazas

Para garantizar que el ensayo arroje buenos resultados hay que evitar que se produzca deslizamiento de las probetas en las abrazaderas, por tal razón se colocó un eje en cada extremo de las probetas según lo establecido en la norma ASTM D5035-03, como se observa en la figura 3.12.

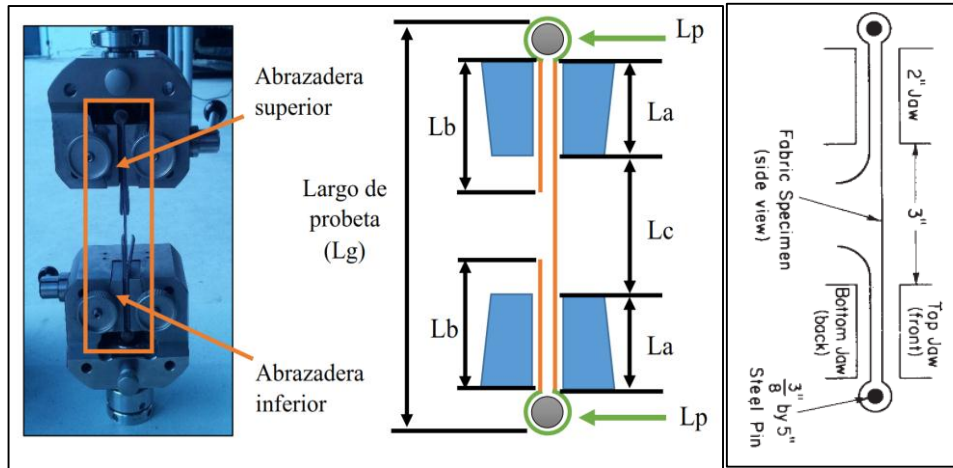


**Figura 3.12** Ilustración colocación de ejes en las probetas

Fuente: Norma ASTM D5035-03

De acuerdo a la figura 3.12 se debe colocar un eje de 3/8 de pulgada en cada extremo y sobrepasar la longitud de las probetas por entre las abrazaderas, de tal manera que se procedió a calcular la longitud total de las probetas tomando en cuenta la distancia que debe sobresalir de entre las abrazaderas, así como la distancia que cubre la probeta a cada eje, como se muestra en la figura 3.13.





**Figura 3.13** Ilustración de la longitud total de las probetas

Fuente: El autor

Para calcular la longitud total de las probetas se aplicó la siguiente fórmula.

$$L_t = L_c + 2L_a + 2L_p + 2L_b \quad (\text{Ec. 3.2})$$

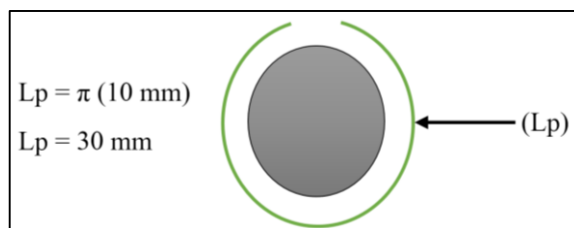
Donde:

- ✚  $L_t$  = Longitud total de las probetas
- ✚  $L_c$  = Longitud de calibre = 75 mm
- ✚  $L_a$  = Longitud de abrazaderas = 53 mm
- ✚  $L_p$  = Longitud de eje
- ✚  $L_b$  = Longitud que sobresale las probetas entre las abrazaderas

### Longitud de eje ( $L_p$ )

La norma ASTM D5035-03 determina que se utilice un eje de  $3/8'' = 10$  mm aproximadamente como se observa en la figura 3,14, por lo tanto:

$$L_p = \text{perímetro} \quad (\text{Ec. 3.3})$$



**Figura 3.14** Longitud de eje ( $L_p$ )

Fuente: El autor

### Longitud que sobresale las probetas entre las abrazaderas (Lb)

En cuanto a esta longitud la norma mencionada no determina ningún valor, por lo tanto se consideró una distancia de 80 mm, dado que cada abrazadera tiene 53 mm de longitud y se necesita que las probetas sobresalgan entre estas para poder colocarlas en la máquina.

Una vez determinados Lp y Lb se calculó la longitud total de las probetas (Lt)

$$Lt = Lc + 2La + 2Lp + 2Lb$$

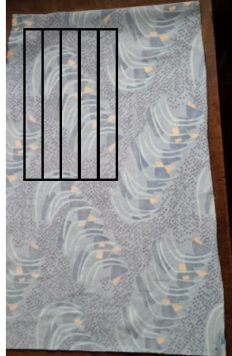


$$Lt = 75 \text{ mm} + 2(53 \text{ mm}) + 2(30 \text{ mm}) + 2(80 \text{ mm})$$

$$Lt = 401 \text{ mm}$$

De acuerdo al cálculo realizado se deben cortar probetas de 25mm de ancho por 401 mm de longitud para su posterior preparación.

### Corte de probetas

En vista que el primer material pranna poliéster flexible está formado por un tejido se decidió realizar el ensayo tanto a lo largo de este como a su ancho para determinar en qué dirección presenta una mejor propiedad y en cuanto al segundo material textil a base de vinilo al estar formado por una malla posee las mismas características tanto a lo largo como a su ancho, por lo que se realizó un solo tipo de ensayo sin considerar ninguna dirección, como se muestra en la figura 3.15.

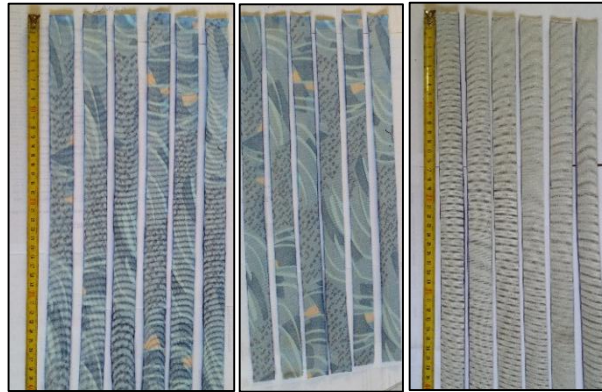
Materiales textiles		
Pranna poliéster flexible		Textil a base de vinilo
Probetas a lo largo	Probetas a lo ancho	Malla
		

**Figura 3.15** Sentido de ensayo de probetas de materiales textiles

Fuente: El autor

Una vez establecido la dirección en que se deben obtener las probetas se procedió a su corte, esto se realizó de manera manual utilizando una tijera.

Se obtuvieron tramos de 25 mm de ancho por 401 mm de longitud, como se aprecia en la figura 3.16



**Figura 3.16** Probetas de materiales textiles

Fuente: El autor

### **Preparación de las probetas**

De acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM D5035-03 se debe cumplir con lo siguiente:

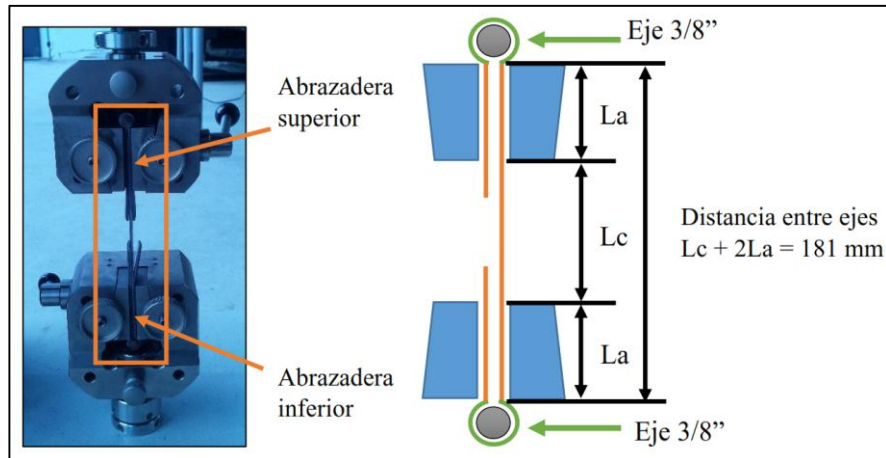
- ✚ La longitud de calibre que es la distancia entre abrazaderas antes del ensayo debe ser ( $L_c = 75\text{mm}$ )
- ✚ El largo de la probeta depende del tipo de abrazaderas de la máquina de ensayo, estas tienen una longitud de ( $L_a = 53\text{ mm}$ )
- ✚ Las probetas deben sobrepasar al menos 10 mm de cada abrazadera, esto se consigue colocando un eje de 3/8 de pulgada en cada extremo

En función a estas consideraciones se determinó que el largo total de las probetas luego de su preparación con la ecuación 3.1 es de 201 mm, por lo tanto lo primero que se debe hacer es ubicar la distancia a la que se sitúan los ejes.

Para ello se suma la distancia calibrada ( $L_c$ ) más la distancia de las dos abrazaderas ( $L_a$ ) como se observa en la figura 3.17.

$$\text{Distancia entre ejes} = L_c + 2L_a \quad (\text{Ec } 3.4)$$

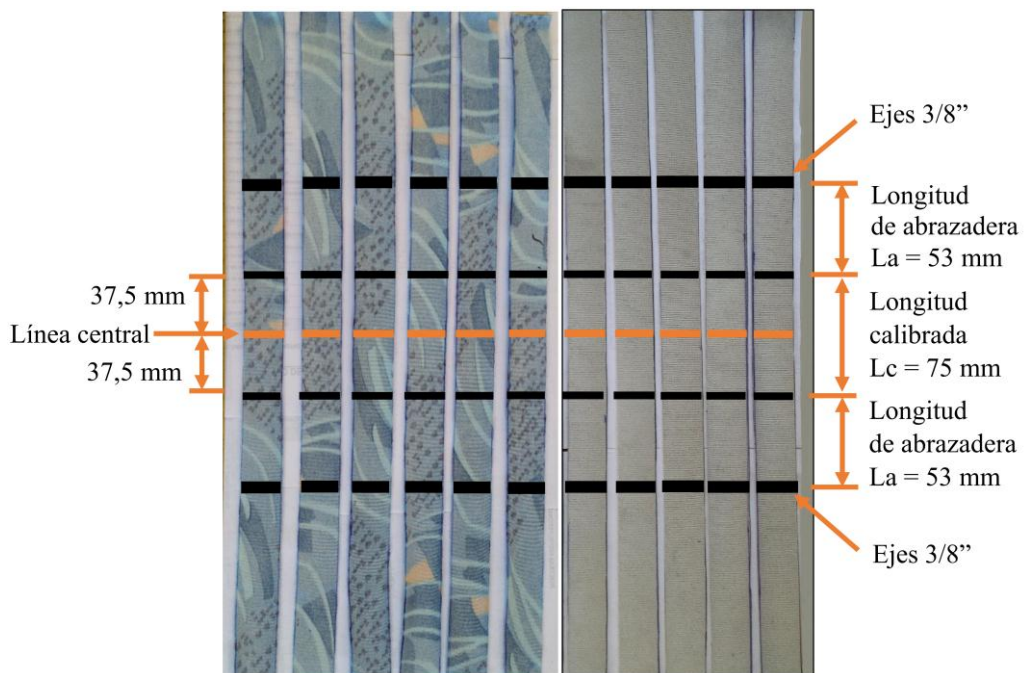
$$\text{Distancia entre ejes} = 75\text{ mm} + 2(53\text{ mm}) = 181\text{ mm}$$



**Figura 3.17** Esquema de distancia entre ejes de las probetas

Fuente: El autor

Se dibujó una línea en la mitad de cada probeta, luego se trazó una línea a cada lado de esta a 37,5 mm ubicando la longitud calibrada ( $L_c$ ) a 75 mm entre extremos, a continuación se dibujó otra línea que corresponde a la longitud de abrazaderas ( $L_a$ ) de 53 mm a cada extremo y se ubicó los ejes, como se muestra en la figura 3.18.

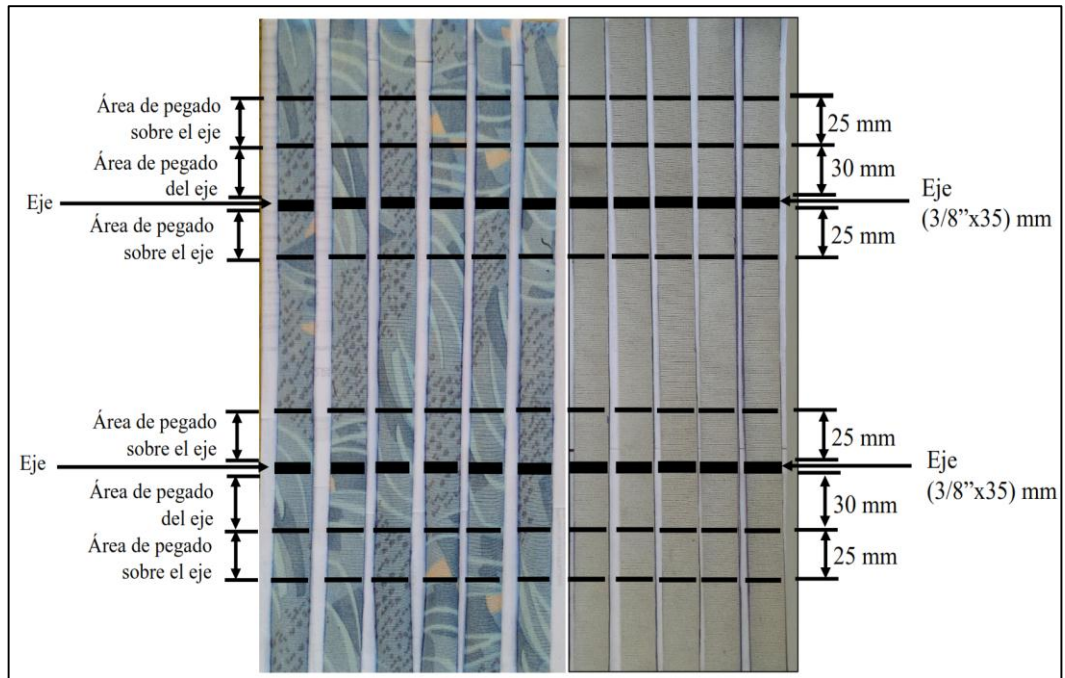


**Figura 3.18** Ubicación de los ejes en las probetas

Fuente: El autor

Luego que se determinó en donde se ubicaron los ejes se procedió a pegarlos, para lo que se utilizó cemento de contacto, el área que se debe impregnar de pegamento es

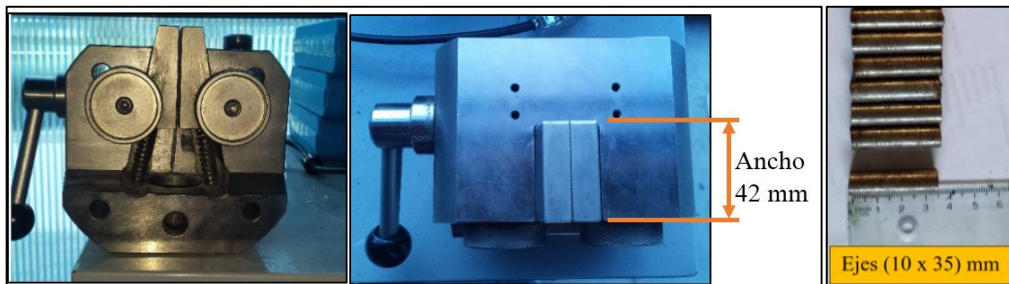
igual al perímetro del eje que es 30 mm. A fin de que las probetas sean manipulables y faciliten la colocación de estas en las abrazaderas de la máquina de ensayo se decidió pegar una distancia 25 mm entre ellas con respecto a donde se ubicó cada eje una vez que este pegado, como se puede ver en la figura 3.19.



**Figura 3.19** Pegado de probetas

Fuente: El autor

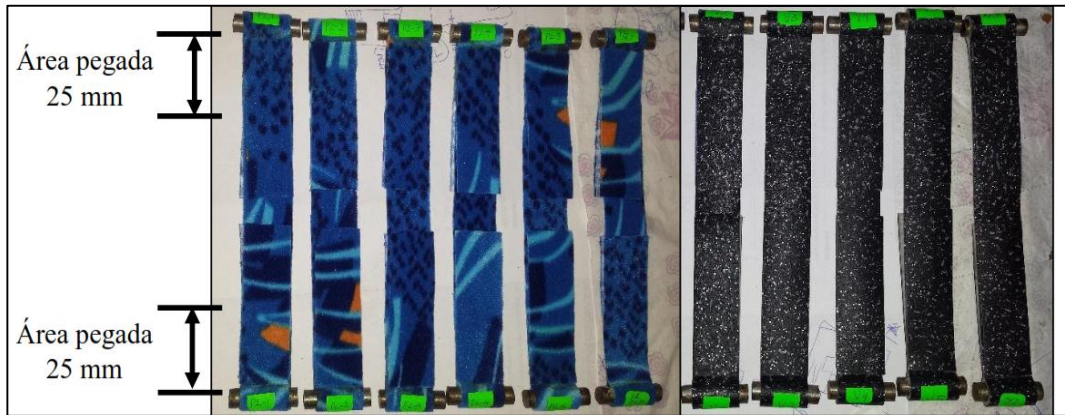
Los ejes que se colocaron fueron  $3/8'' = 10$  mm de diámetro x 35 mm de longitud, esta última medida se escogió en función de las características de las abrazaderas de la máquina de ensayo, en vista que estas me limitan a una distancia máxima de 42 mm y se debe dejar un espacio libre para poder colocar las probetas en las mismas para realizar el ensayo, como se observa en la figura 3.20.



**Figura 3.20** Abrazaderas de la máquina de ensayo y ejes

Fuente: El autor

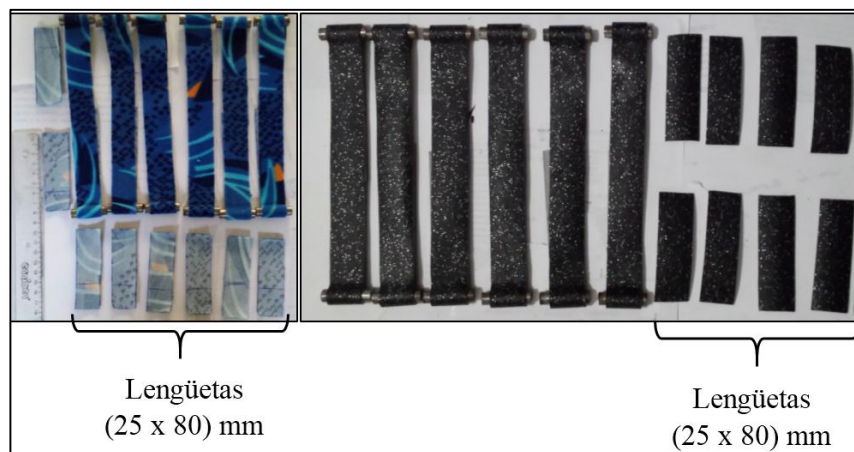
Luego que se realizó el pegado correspondiente se obtuvieron las siguientes probetas preliminares de la figura 3.21.



**Figura 3.21** Probetas preliminares de materiales textiles

Fuente: El autor

En vista que al momento del ensayo las abrazaderas suelen lastimar al material, para proteger a las probetas de la figura 3.21 se optó por pegar una lengüeta de (25 x 80) mm al dado contrario de estas posterior a cada eje, como se ve en la figura 3.22. Las lengüetas son del mismo material que las probetas.



**Figura 3.22** Probetas preliminares y lengüetas

Fuente: El autor

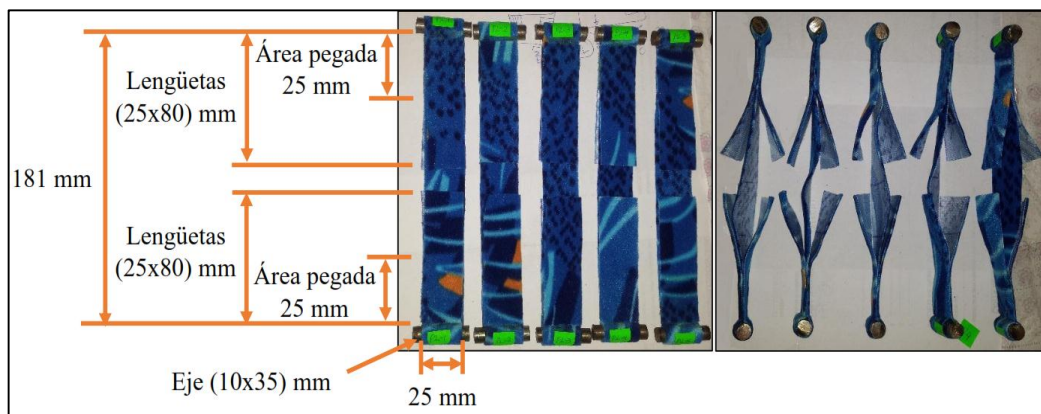
La longitud que se pegó de las lengüetas en las probetas fue de 25 mm posterior a cada eje como se puede ver en la figura 3.23, para que tengan la misma distancia de la figura 3.21.



**Figura 3.23** Pegado de las lengüetas en las probetas

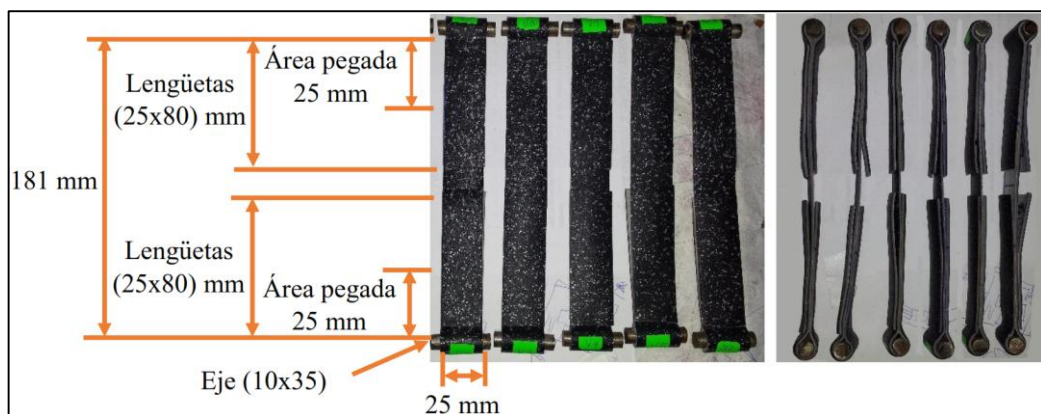
Fuente: El autor

En la figuras 3.24 y 3.25 respectivamente se observa las probetas finales que se obtuvieron luego de su preparación.



**Figura 3.24** Probetas finales del material pranna poliéster flexible

Fuente: El autor



**Figura 3.25** Probetas finales del material textil a base de vinilo para piso

Fuente: El autor

### Codificación de las probetas

Se codificó las probetas para facilitar el estudio de la siguiente manera:

Se analizaron dos materiales, siendo estos:

1. Pranna poliéster flexible (P)
2. Textil a base de vinilo para piso (V)

Para el primer material se asignó la letra P y para el segundo la letra V.

Para el primer material se colocó una segunda letra en función del sentido de ensayo que se realizó, como se puede ver en la tabla 3.13.

**Tabla 3.13** Sentidos de ensayo para el material pranna poliéster flexible

Sentido	Símbolo
Largo	L
Ancho	A

Fuente: El autor

El segundo material no llevó una segunda letra, porque a diferencia del primer material solo tiene una consideración de ensayo sin estimar ningún sentido.

Cada probeta se codificó con la su primera letra en función del tipo material siendo P o V, si lleva la P se colocó otra letra en función del sentido de ensayo que son: largo (L) y ancho (A) con su respectivo número de probeta. En la tabla 3.14 se presenta un ejemplo de la codificación de las probetas número 1 correspondientes a cada grupo de ensayo.

**Tabla 3.14** Codificación de las probetas de materiales textiles

Probetas codificadas	Significado
PL - 1	Probeta uno en el sentido a lo largo del material pranna poliéster flexible
PA - 1	Probeta uno en el sentido a lo ancho del material pranna poliéster flexible
V - 1	Probeta uno del material textil a base de vinilo

Fuente: El autor



### Determinación de las características de las probetas

Es necesario conocer el ancho y espesor de cada probeta, en vista que se necesita estos datos para realizar los cálculos correspondientes en el ensayo de tracción.

**Dimensiones:** Se midió en ancho y espesor de cada probeta para ello se utilizó un calibrador electrónico pie de rey y el largo se midió utilizando una regla de 30 cm, como se aprecia en la figura 3.26.



**Figura 3.26** Medición de probetas de materiales textiles

Fuente: El autor

Luego que se midió a cada probeta como se observa en la figura 3.26, se obtuvo las tablas 3.15, 3.16 y 3.17 respectivamente.

**Tabla 3.15** Características de las probetas del material pranna poliéster flexible en el sentido del largo

Material	Pranna poliéster flexible (forro de asientos)		
<b>Probetas para ensayo de tracción en sentido del largo del material</b>			
Probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
PL - 1	201	25,80	0,87
PL - 2	201	25,84	0,90
PL - 3	201	25,13	0,91
PL - 4	201	25,91	0,91
PL - 5	201	25,81	0,96
<b>Promedio</b>	<b>201</b>	<b>25,69</b>	<b>0,91</b>

Fuente: El autor

**Tabla 3.16** Características de las probetas del material pranna poliéster flexible en el sentido del ancho

Material	Pranna poliéster flexible (forro de asientos)		
<b>Probetas para ensayo de tracción en sentido del ancho del material</b>			
Probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
PA - 1	201	25,40	0,95
PA - 2	201	24,96	0,90
PA - 3	201	25,07	0,92
PA - 4	201	25,61	0,93
PA - 5	201	25,41	0,88
<b>Promedio</b>	<b>201</b>	<b>25,29</b>	<b>0,92</b>

Fuente: El autor

**Tabla 3.17** Características de las probetas del material textil a base de vinilo

Material	Textil a base vinilo (forro de piso)		
<b>Probetas para ensayo de tracción</b>			
Probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
V - 1	201	24,64	2,07
V - 2	201	24,92	2,05
V - 3	201	25,68	2,09
V - 4	201	24,43	2,10
V - 5	201	25,95	2,05
<b>Promedio</b>	<b>201</b>	<b>25,12</b>	<b>2,07</b>

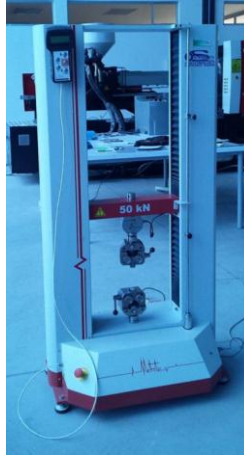
Fuente: El autor

### 3.5.3 Realización de los ensayos

En los materiales compuestos se realizó tres tipos de ensayos (tracción, flexión, impacto) para determinar sus propiedades mecánicas y en cuanto a los materiales textiles se realizó el ensayo de tracción para determinar esta propiedad.

#### 3.5.3.1 Ensayo de tracción en materiales compuestos

Se realizó en una máquina universal para polímeros marca METROTEC, modelo MTE – 50, de 50 KN de capacidad como se observa en la figura 3.27, en el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua.

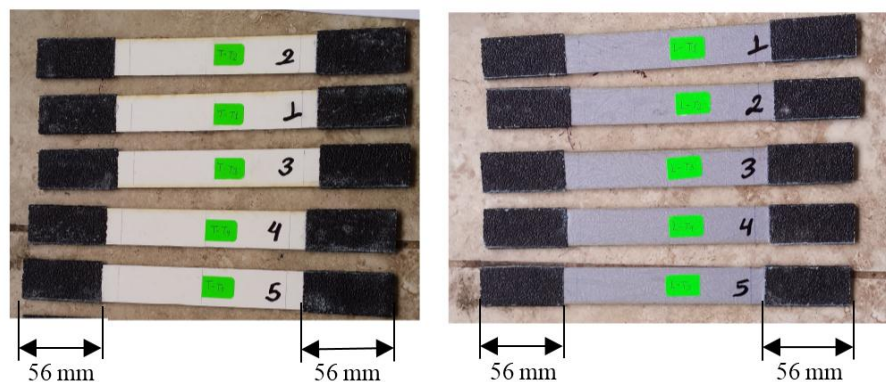


**Figura 3.27** Máquina universal para polímeros METROTEC MTE - 50

Fuente: Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero

### Procedimiento del ensayo

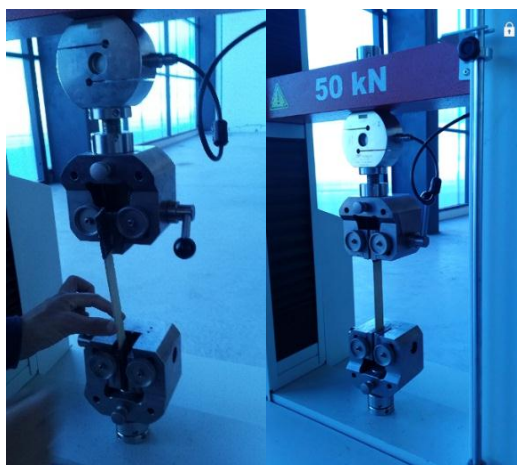
Es importante garantizar la sujeción de las probetas en las abrazaderas, por lo que se adhirió un pedazo de lija número 60 con pegamento en los extremos de cada probeta a una distancia de 56 mm como se puede ver en la figura 3.28, según lo establecido la norma ASTM D3039-00.



**Figura 3.28** Pedazos de lija adheridas a las probetas para el ensayo de tracción

Fuente: El autor

Para realizar el ensayo se sujetó las probetas en las abrazaderas de la máquina universal para polímeros como se muestra en la figura 3.29 y se aplicó una carga que se incrementó a una velocidad constante a lo largo de su eje longitudinal hasta que las probetas se fracturaron.



**Figura 3.29** Probetas sujetadas en las mordazas de la máquina de ensayo

Fuente: Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero

Tras la realización del ensayo se obtuvo la fuerza y deformación máxima que soportaron las probetas en el punto de fractura y con estos valores se procedió a calcular el esfuerzo máximo, la deformación unitaria y el módulo de elasticidad de la siguiente manera.

### **Esfuerzo máximo ( $\sigma$ )**

Es el esfuerzo máximo que soporta un material sometido a una fuerza a tracción. Se calcula con la siguiente formula:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec 3.5})$$

Donde:

✚  $\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo a tracción (MPa)

✚ F = Fuerza máxima aplicada (N)

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

### **Deformación unitaria ( $\epsilon$ )**

La deformación unitaria es la relación que existe entre la longitud inicial de las probetas antes del ensayo y la longitud final luego del ensayo, es decir cuánto se deforma la probeta. Se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$\epsilon = \frac{l_f - l_i}{l_i} \quad (\text{Ec 3.6})$$

$$\% n = \frac{l_f - l_i}{l_i} * 100\% \quad (\text{Ec 3.7})$$

Donde:

✚  $\epsilon$  = Elongación (mm/mm)

✚  $l_i$  = Longitud inicial de la probeta (mm)

✚  $l_f$  = Longitud final de la probeta (mm)

✚  $n$  = Porcentaje de elongación (%) [2]

### **Módulo de elasticidad (E)**

El módulo de Young o elasticidad es la relación entre el esfuerzo con respecto a la deformación que presenta un determinado material en la zona elástica [36].

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\sigma_{\text{máx}}}{\epsilon} \quad (\text{E.c 3.8})$$

Donde:

✚  $E$  = Módulo de elasticidad (MPa)

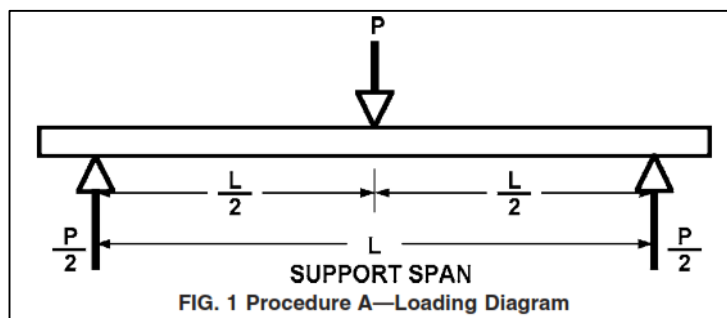
✚  $\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo a tracción (MPa)

✚  $\epsilon$  = Elongación (mm/mm) [1]

### **3.5.3.2 Ensayo de flexión en materiales compuestos**

Se realizó con la misma máquina que el ensayo de tracción del literal 3.5.3.1 en el laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua.

Según lo establecido en la norma ASTM D7264-07 se utilizó el procedimiento A que consta de un sistema de carga de tres puntos, que aplica una carga central sobre una viga simplemente soportada, como se observa en la figura 3.30.



**Figura 3.30** Procedimiento A para ensayo de flexión

Fuente: Norma ASTM D7264-07

La longitud entre apoyos conocido como SUPPORT SPAN según la presente norma debe ser 32 veces el espesor de las probetas. Como se analizó dos grupos de probetas se determinó el promedio del espesor de cada grupo y se hizo la relación de 32 veces el espesor y se ensayó cada grupo con las distancias entre apoyos mencionadas en la tabla 3.18.

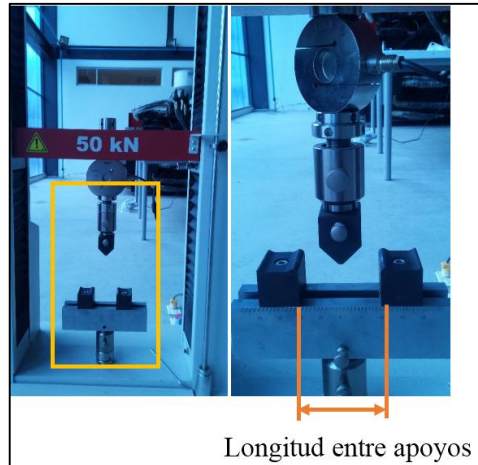
**Tabla 3.18** Distancia entre apoyos para ensayo de flexión

Grupo		Probetas	Espesor promedio (mm)	Distancia entre apoyos (mm)
1	Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior	T - F1	2,16	2,16 x 32 = 70
		T - F2		
		T - F3		
		T - F4		
		T - F5		
2	Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores	L - F1	2,76	2,76 x 32 = 90
		L - F2		
		L - F3		
		L - F4		
		L - F5		

Fuente: El autor

### Procedimiento del ensayo

Se colocó el puente de flexión en la máquina como se observa en la figura 3.31 y se marcó la distancia entre apoyos de acuerdo a la tabla 3.18 para cada grupo de probetas, seguidamente se colocaron las probetas y se aplicó una carga que se incrementó a una velocidad constante a lo largo de su sección transversal hasta que estas sufrieron una falla o rotura.



**Figura 3.31** Puentes de flexión de la máquina de ensayo

Fuente: Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero

En la figura 3.32 se visualiza la colocación de las probetas en el puente de flexión de la máquina de ensayo.



**Figura 3.32** Colocación de las probetas en el puente de flexión

Fuente: Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero

Luego de realizar el ensayo se obtuvieron los valores de la deflexión y la fuerza máxima que soportaron las probetas y con estos datos se procedió a calcular el esfuerzo a flexión y el módulo de flexión de la siguiente manera.

### **Esfuerzo a flexión**

Es el esfuerzo máximo que soporta un determinado material sometido a una deflexión máxima antes de su fractura, es decir el esfuerzo está en función

de deflexiones y no de deformaciones como en el ensayo a tracción.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{Ec 3.9})$$

Donde:

✚  $\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo a flexión (MPa)

✚ P = Fuerza aplicada (N)

✚ L = Longitud de apoyos (mm)

✚ b = Ancho de la probeta (mm)

✚ h = Espesor de la probeta (mm)

### **Módulo de flexión ( $E_f$ )**

Es la relación que existe entre el esfuerzo máximo que soporta el material con respecto a su deflexión máxima en la región elástica.

Se calcula con la siguiente fórmula:

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta} \quad (\text{Ec 3.10})$$

Donde:

✚  $E_f$  = Módulo de flexión (MPa)

✚ F = Fuerza aplicada (N)

✚ L = Longitud entre apoyos (mm)

✚ b = Ancho de la probeta (mm)

✚ h = Espesor de la probeta (mm)

✚  $\delta$  = Deflexión de la probeta (mm) [1]

### **3.5.3.3 Ensayo de impacto en materiales compuestos**

Se realizó el ensayo de impacto de dardo en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. En la figura 3.33 se puede visualizar la máquina y el equipo que se utilizó.





**Figura 3.33** Máquina y equipo para ensayo de impacto de dardo

Fuente: Laboratorio de la FICM - UTA

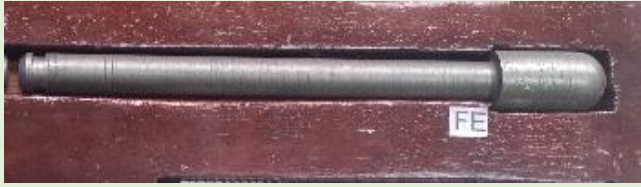
### Procedimiento del ensayo

Primero se determinó el tipo de dardo a utilizar que en este caso fue el dardo FE, esta selección se realizó en función de las dimensiones de las probetas que son (58 x 58 x espesor) y la norma ASTM D5628-01 indica que para probetas de 58 mm se utilice el dardo FE.

Las características de la geometría del dardo tipo FE se describen en la tabla 3.19.

**Tabla 3.19** Características de la geometría del dardo tipo FE

<b>GEOMETRÍA DEL DARDO TIPO FE</b>	
<b>Peso (Kg)</b>	0,2309
<b>Diámetro mayor (mm)</b>	20
<b>Diámetro menor (mm)</b>	13
<b>Longitud (mm)</b>	190



Fuente: El autor

Este ensayo consiste en colocar una probeta en las abrazaderas de la máquina como se observa en la figura 3.34 y posteriormente dejar caer un dardo desde una altura inicial de 600 mm según lo establecido en la norma anteriormente mencionada, se

debe incrementar la altura o el peso del impactador hasta que las probetas presenten una falla.



**Figura 3.34** Colocación de las probetas en las abrazaderas de la máquina de ensayo

Fuente: Laboratorio de la FICM - UTA

El ensayo determina la altura y el peso del impactador con los que fallaron las probetas y se procedió a calcular la energía de impacto con la siguiente ecuación:

$$MEF = hwf \quad (\text{Ec 3.11})$$

Donde:

- ✚ MEF = Energía de impacto (J)
- ✚ h = Altura máxima de falla (mm)
- ✚ w = Masa del impactador (Kg)
- ✚ f = Factor de conversión a Joule ( $9,806 \times 10^{-3}$ ) [2]

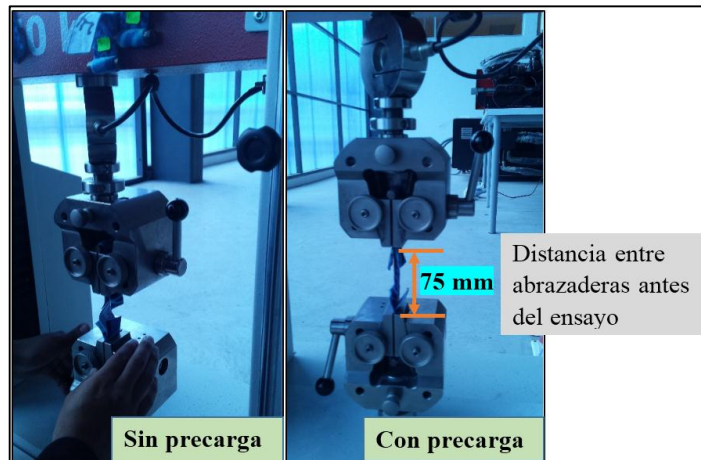
#### **3.5.3.4 Ensayo en tracción en materiales textiles**

Se realizó con la misma máquina que los ensayos de tracción y flexión de los materiales compuestos de los literales 3.5.3.1 y 3.5.3.2 respectivamente en el Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua.

#### **Procedimiento para el ensayo**

Se colocaron las probetas en las abrazaderas de la máquina y se aplicó una precarga para que estén rectas antes de iniciar el ensayo. Según lo establecido en la norma ASTM D5035-03 debe haber una distancia de 75 mm entre abrazaderas antes del ensayo.

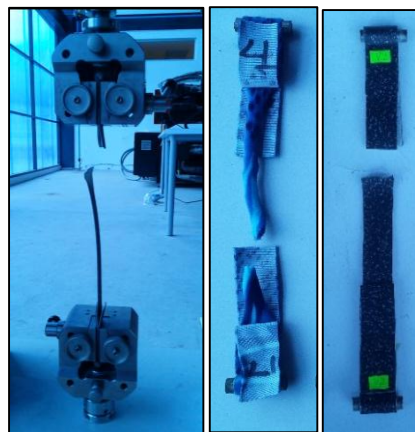
En la figura 3.35 se puede ver las probetas antes y después de aplicar la precarga.



**Figura 3.35** Probetas colocadas en las abrazaderas sin y con precarga

Fuente: El autor

Una vez que se aplicó la precarga a las probetas y estaban rectas se procedió a realizar el ensayo, el que consiste en aplicar una carga que se incrementa a velocidad constante a lo largo del eje longitudinal de las probetas hasta que estas se rompan, como se observa en la figura 3.36.



**Figura 3.36** Probetas ensayadas

Fuente: El autor

Luego que se realizó el ensayo se obtuvo la fuerza de rotura y la deformación máxima que sufrieron las probetas, posterior a esto se procedió a calcular el esfuerzo máximo, la deformación unitaria y el módulo de elasticidad de la siguiente manera:

**Esfuerzo máximo ( $\sigma$ ):** Se calculó de la misma manera que en el ensayo de tracción que se realizó a los materiales compuestos y cuyo procedimiento y fórmulas están descritos en el literal 3.5.3.1.


**Deformación unitaria ( $\epsilon$ ):** Se refiere a la relación de la deformación de las probetas antes y después de realizar el ensayo, esta relación se calculó con respecto a la longitud calibrada que es la distancia entre abrazaderas antes del ensayo, ya que esta es la longitud que realmente se deforman las probetas durante el ensayo, para ello se utilizó las siguientes fórmulas:


$$\epsilon = \frac{l_f}{l_c} \quad (\text{Ec 3.12})$$

$$\%n = \frac{l_f}{l_c} * 100 \quad (\text{Ec 3.13})$$

Donde:

  $\epsilon$  = Elongación (mm/mm)

  $l_f$  = Longitud que se deforma la probeta durante el ensayo (mm)

  $l_c$  = Longitud calibrada (75 mm)

  $n$  = Porcentaje de elongación (%) [2]

**Módulo de elasticidad ( $E$ ):** Se calculó de la misma manera que en el ensayo de tracción en materiales compuestos del literal 3.5.3.1.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Recolección de datos



##### 4.1.1 Ensayos realizados en materiales compuestos

##### 4.1.1.1 Ensayo de tracción

Luego que se realizó el ensayo y los cálculos respectivos detallados en el literal 3.5.3.1, se obtuvieron los resultados presentados en las tablas 4.1 y 4.3 respectivamente.

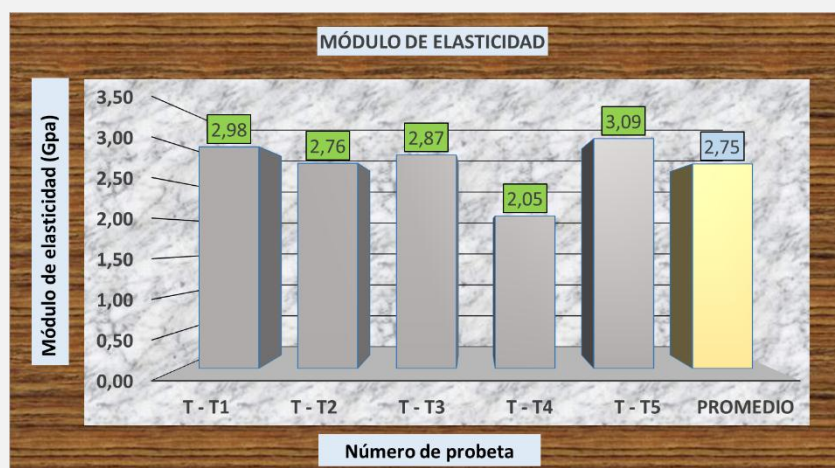
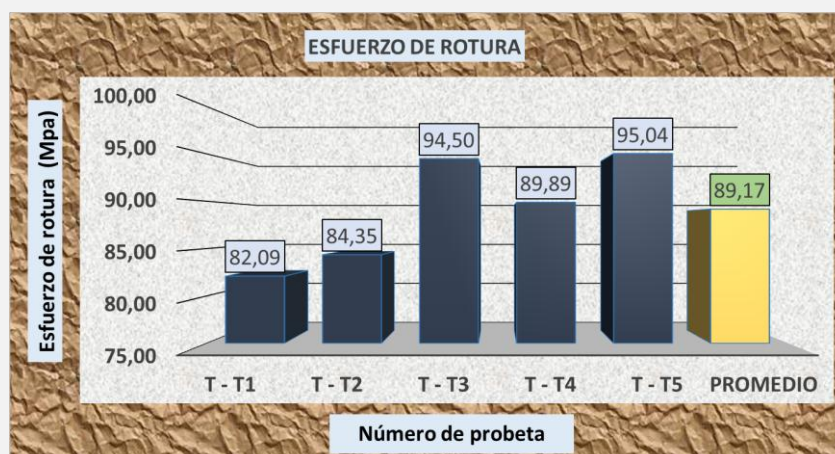
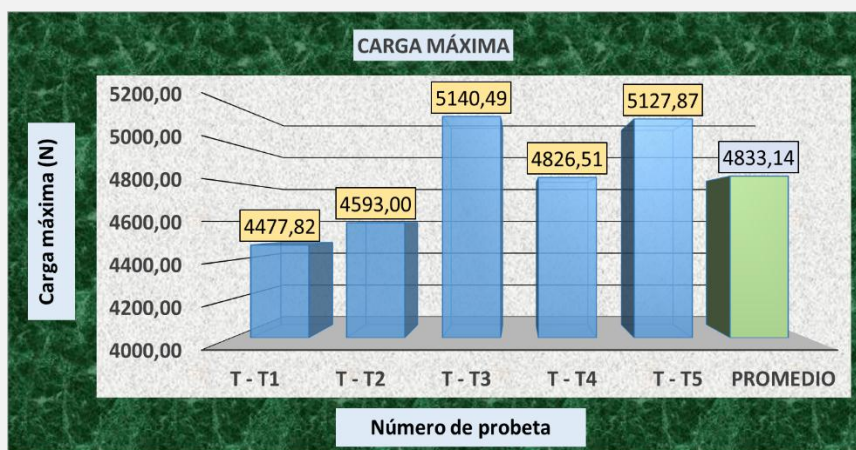
**Resultados del primer material:** Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior.

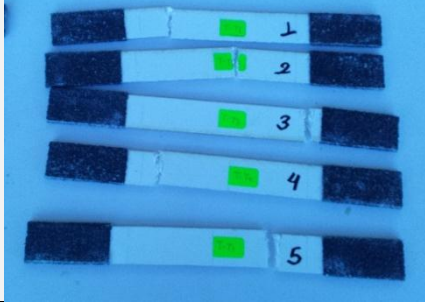
**Tabla 4.1** Resultados del ensayo de tracción en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior</b>						
Laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua						
<b>Máquina</b>	Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50					
<b>Tipo de Ensayo</b>	Tracción	<b>Norma</b>	ASTM D3039-00			
<b>Matriz</b>	Resina poliéster	<b>Fracc. Volumétrica</b>	70%			
<b>Refuerzo</b>	Fibra de vidrio	<b>Fracc. Volumétrica</b>	30%			
<b>Orientación del tejido</b>	Aleatorio	<b>Número de probetas ensayadas</b>	5			
<b>Dimensiones de probeta (mm)</b>	250x25xespesor					
<b>Espesor promedio</b>	2,19 mm	<b>Fecha de ejecución</b>	12/01/2017			
<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro			
<b>DATOS Y RESULTADOS</b>						
N° de probeta	Carga máxima (N)	Deformación máxima		Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Tipo de falla
		(mm)	(%)			
T - T1	4477.82	7.28	2.91	82,09	2.98	LGM
T - T2	4593.00	7.80	3.12	84,35	2.76	LGM

T - T3	5140.49	7.83	3.13	94,50	2.87	LIT
T - T4	4826.51	8.38	3.35	89,89	2.05	LIT
T - T5	5127.87	8.48	3.39	95,04	3.09	LGM
<b>Promedio</b>	<b>4833.14</b>	<b>7.95</b>	<b>3.18</b>	<b>89.17</b>	<b>2.75</b>	
<b>Desv. estándar</b>	<b>302.20</b>	<b>0.49</b>	<b>0.19</b>	<b>5.85</b>	<b>0.41</b>	

### GRÁFICAS DE RESULTADOS



PROBETAS ENSAYADAS		EVALUACIÓN (PROMEDIO)	
		Carga máxima (N)	4833,14
		Esfuerzo de rotura (MPa)	89,17
		Módulo de elasticidad (GPa)	2,74
		OBSERVACIONES	
		Las probetas 1,2 y 5 se fracturaron en la zona media calibrada. Las probetas 3 y 4 se fracturaron en la parte superior cerca del agarre.	
Realizado por	Daniel Castro	Revisado por	Ing. Mg. Christian Castro

Fuente: El autor

El tipo de falla evaluado de la tabla 4.1 corresponde a los criterios establecidos en la norma ASTM D3039-00 descritos en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Tipo de falla para probetas ensayadas a tracción

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
		I	Dentro del agarre		
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio
		<b>Otra nomenclatura</b>			
NR: La máquina no registra valores			NA: No aplica		

Fuente: Norma ASTM D3039-00

**Resultados del segundo material:** Material compuesto de fibra de vidrio resina poliéster, forro laterales interiores.

**Tabla 4.3** Resultados del ensayo de tracción en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

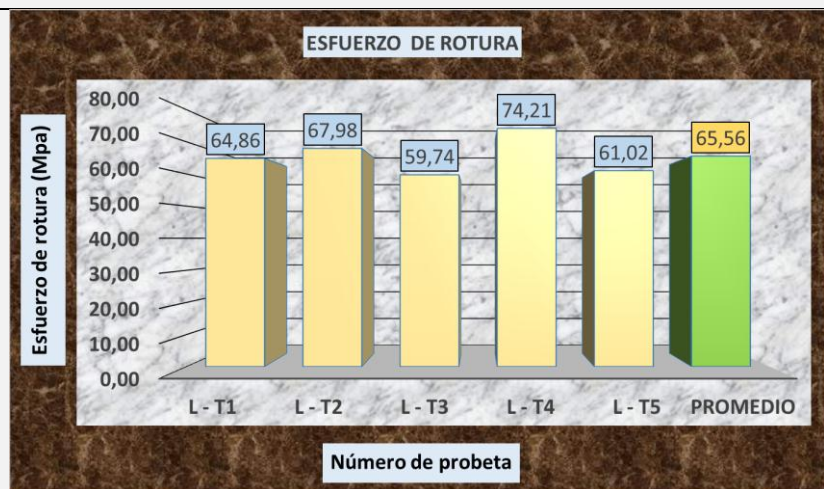
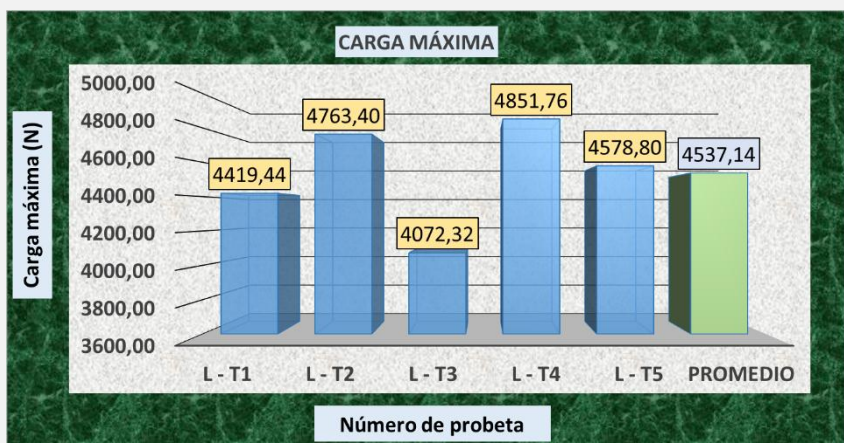
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores</b>					
Laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero consejo provincial de Tungurahua					
<b>Máquina</b>	Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50				
<b>Tipo de Ensayo</b>	Tracción	<b>Norma</b>	ASTM D3039-00		
<b>Matriz</b>	Resina poliéster	<b>Frac. Volumétrica</b>	80%		

Refuerzo	Fibra de vidrio	Frac. Volumétrica	20%
Orientación del tejido	Aleatorio	Número de probetas ensayadas	5
Dimensiones de probeta (mm)	250x25xespesor	Velocidad del ensayo	10 mm/min
Espesor promedio	2,80 mm	Fecha de ejecución	12/01/2017
Realizado por	Daniel Castro	Revisado por	Ing. Mg. Christian Castro

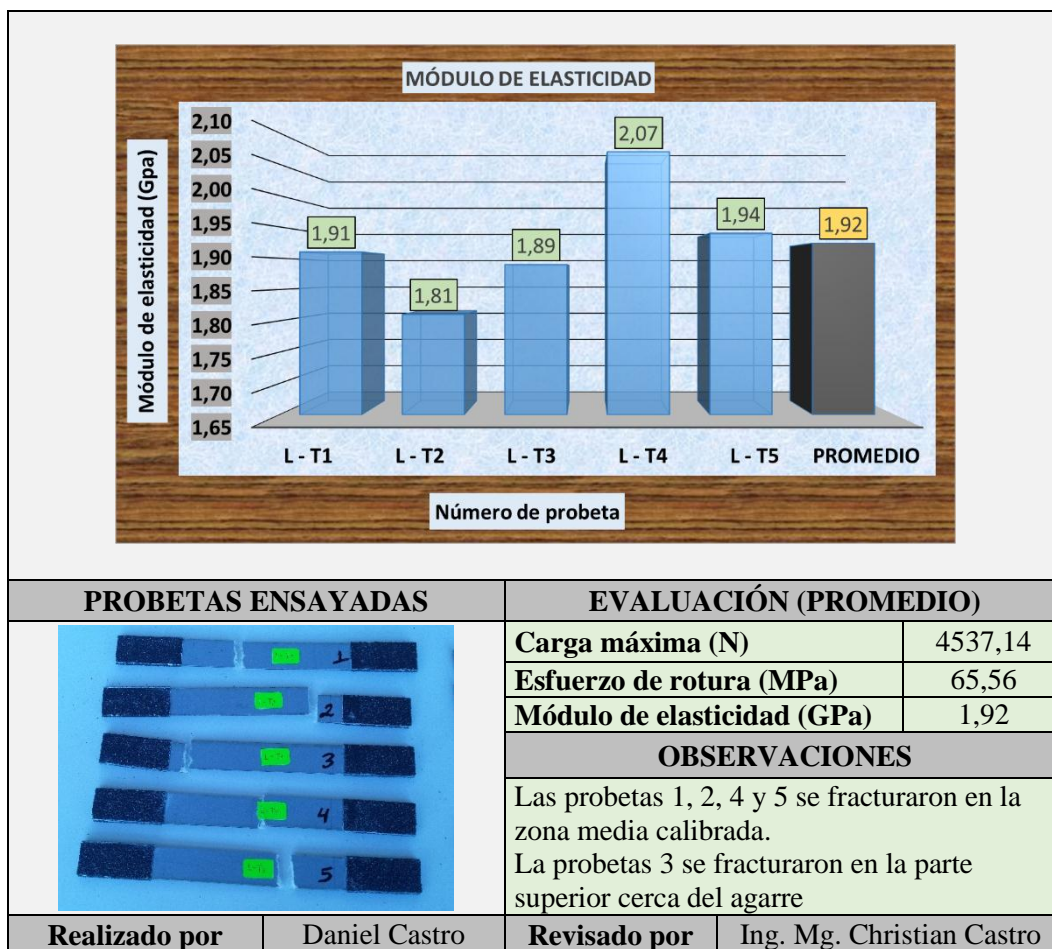
### DATOS Y RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Deformación máxima		Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Tipo de falla
		(mm)	(%)			
L - T1	4419.44	8.25	3.30	64.86	1.91	LGM
L - T2	4763.40	7.90	3.16	67.98	1.81	LGM
L - T3	4072.32	7.95	3.18	59.74	1.89	LIT
L - T4	4851.76	8.13	3.25	74.21	2.07	LGM
L - T5	4578.80	6.88	2.75	61.02	1.94	LGM
<b>Promedio</b>	<b>4537.14</b>	<b>7.82</b>	<b>3.25</b>	<b>65.56</b>	<b>1.92</b>	
<b>Desv. estándar</b>	<b>308.96</b>	<b>0.55</b>	<b>0.22</b>	<b>5.82</b>	<b>0.09</b>	

### GRÁFICAS DE RESULTADOS







Fuente: El autor



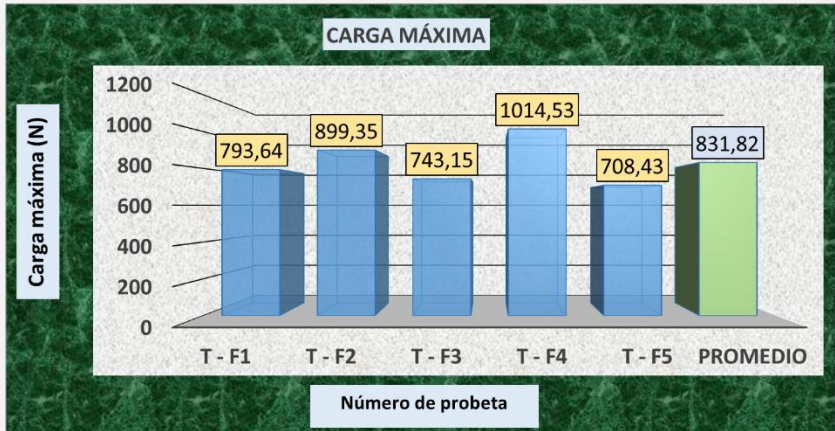
El tipo de falla que se evaluó en la tabla 4.3 corresponde a los criterios establecidos en la norma ASTM D3039-00 descritos en la tabla 4.2.

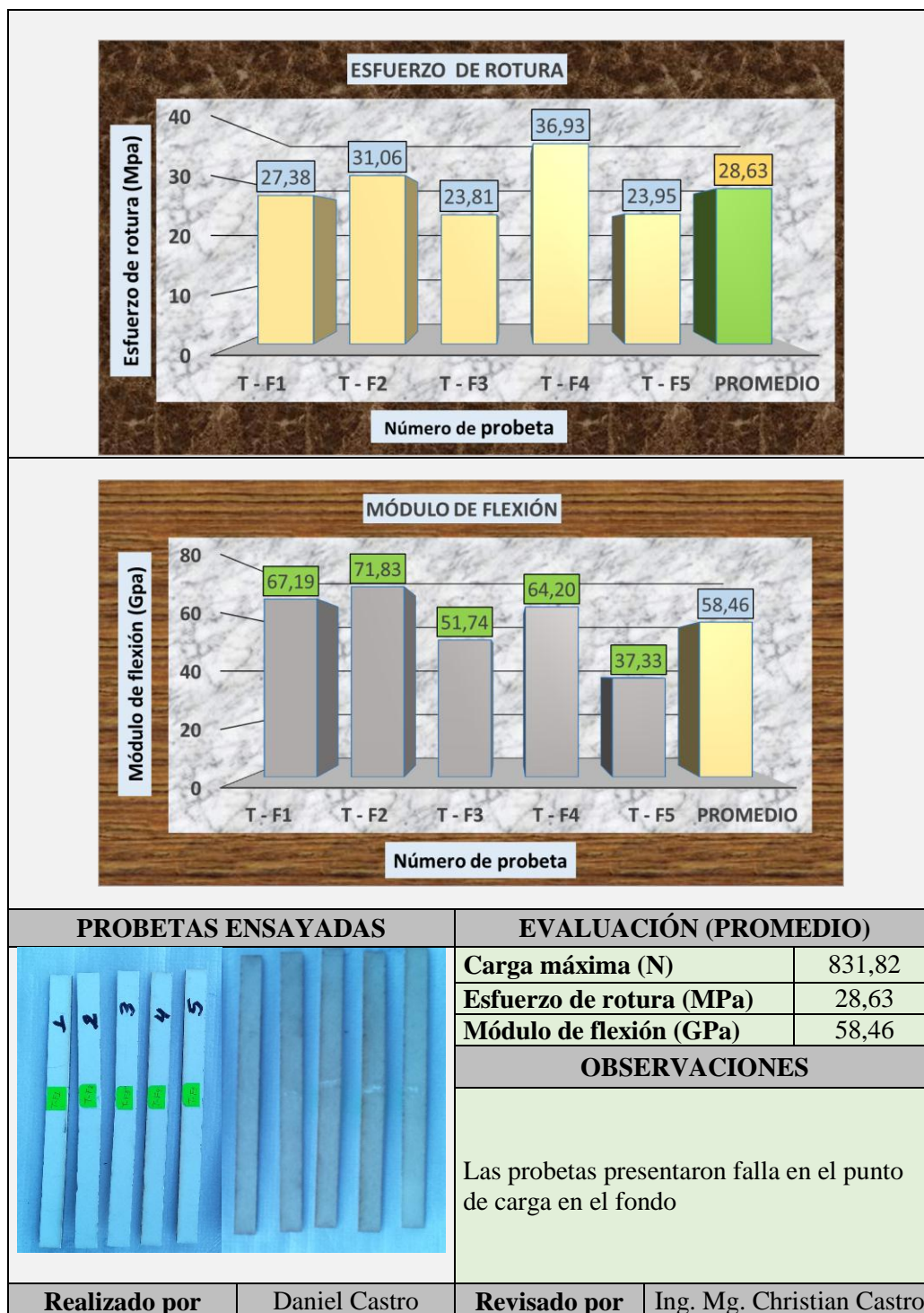
#### 4.1.1.2 Ensayo de flexión

Tras haberse realizado el ensayo y los cálculos mencionados en el apartado 3.5.3.2, se obtuvieron los resultados descritos en las tablas 4.4 y 4.6 respectivamente.

**Resultados del primer material:** Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior.

**Tabla 4.4** Resultados del ensayo de flexión en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior</b>					
Laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua					
<b>Máquina</b>	Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50				
<b>Tipo de Ensayo</b>	Flexión	<b>Norma</b>	ASTM D7264-07		
<b>Matriz</b>	Resina poliéster	<b>Fracc. Volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo</b>	Fibra de vidrio	<b>Fracc. Volumétrica</b>	30%		
<b>Orientación del tejido</b>	Aleatorio	<b>Número de probetas ensayadas</b>	5		
<b>Dimensiones de probeta (mm)</b>	160x13xespesor	<b>Velocidad del ensayo</b>	10 mm/min		
<b>Espesor promedio</b>	2,16 mm	<b>Fecha de ejecución</b>	12/01/2017		
<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro		
<b>DATOS Y RESULTADOS</b>					
N° de probeta	Carga máxima (N)	Deflexión máxima (mm)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Tipo de falla
T - F1	793.64	11.4	27.38	67.19	OAB
T - F2	899.35	10.93	31.06	71.83	OAB
T - F3	743.15	9.72	23.81	51.74	OAB
T - F4	1014.53	12.06	36.93	64.20	OBB
T - F5	708.43	15.53	23.95	37.33	OAB
<b>Promedio</b>	<b>831.82</b>	<b>11.93</b>	<b>28.63</b>	<b>58.46</b>	
<b>Desv. estándar</b>	<b>124.99</b>	<b>2.19</b>	<b>5.51</b>	<b>13.96</b>	
<b>GRÁFICAS DE RESULTADOS</b>					
					



Fuente: El autor

El tipo de falla que se evaluó en la tabla 4.4 corresponde a los criterios de la norma ASTM D7264-07 mencionados en la tabla 4.5.



**Tabla 4.5** Tipo de falla para probetas ensayadas a flexión

Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
<b>O</b>	Otros	<b>A</b>	En el punto de carga	<b>B</b>	Fondo

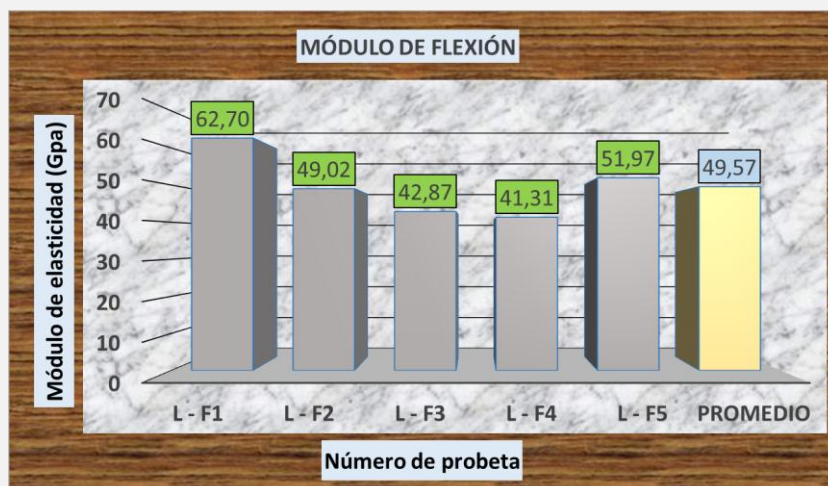
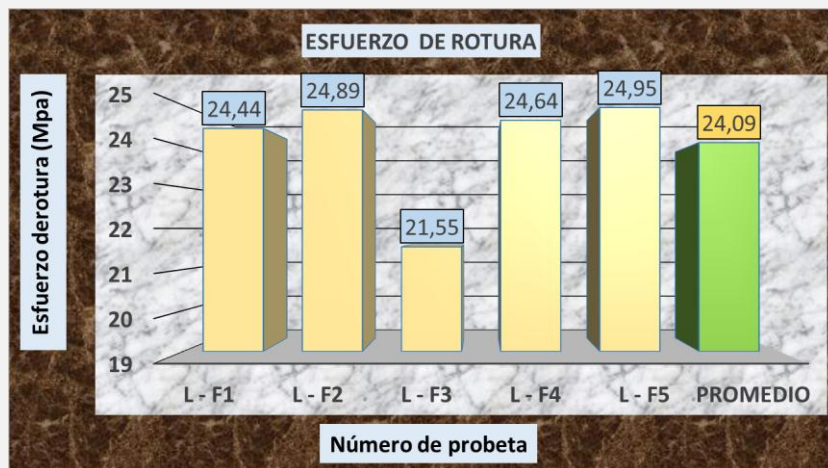
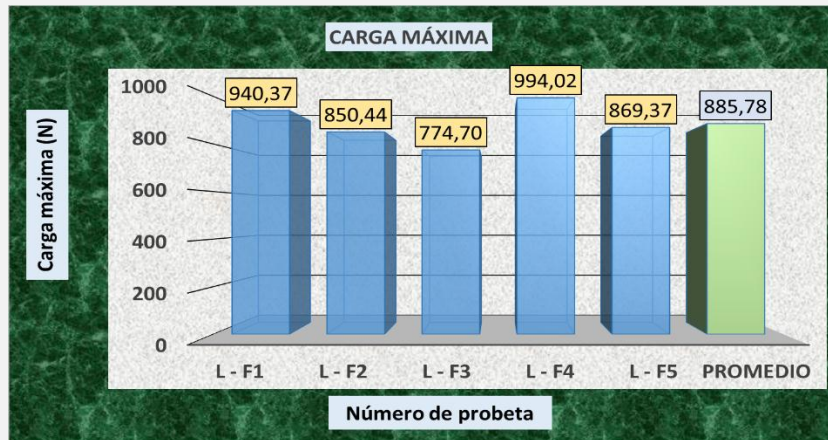
Fuente: Norma ASTM D7264-07

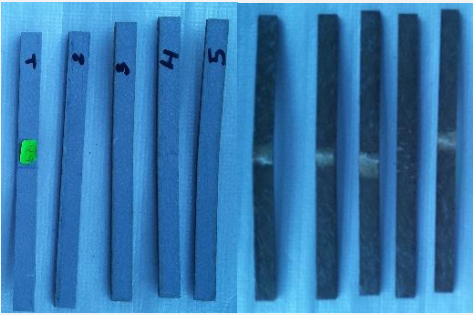
**Resultados del segundo material:** Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores.

**Tabla 4.6** Resultados del ensayo de flexión en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores</b>					
Laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua					
<b>Máquina</b>	Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50				
<b>Tipo de Ensayo</b>	Flexión	<b>Norma</b>	ASTM D7264-07		
<b>Matriz</b>	Resina poliéster	<b>Fracc. Volumétrica</b>	80%		
<b>Refuerzo</b>	Fibra de vidrio	<b>Fracc. Volumétrica</b>	20%		
<b>Orientación del tejido</b>	Aleatorio	<b>Número de probetas ensayadas</b>	5		
<b>Dimensiones de probeta (mm)</b>	160x13xespesor				
<b>Espesor promedio</b>	2,76 mm	<b>Velocidad del ensayo</b>	10 mm/min		
		<b>Fecha de ejecución</b>	12/01/2017		
<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro		
<b>DATOS Y RESULTADOS</b>					
<b>N° de probeta</b>	<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Deflexión máxima (mm)</b>	<b>Esfuerzo de rotura (MPa)</b>	<b>Módulo de flexión (GPa)</b>	<b>Tipo de falla</b>
L - F1	940,37	12,01	24,44	62,70	OAB
L - F2	850,44	15,71	24,89	49,02	OAB
L - F3	774,70	13,71	21,55	42,87	OAB
L - F4	994,02	11,94	24,64	41,31	OAB
L - F5	869,37	14,71	24,95	51,97	OAB
<b>Promedio</b>	<b>885,78</b>	<b>13,62</b>	<b>24,09</b>	<b>49,57</b>	
<b>Desv. estándar</b>	<b>84,49</b>	<b>1,66</b>	<b>1,44</b>	<b>8,54</b>	

## GRÁFICAS DE RESULTADOS



PROBETAS ENSAYADAS		EVALUACIÓN (PROMEDIO)	
		Carga máxima (N)	885,78
		Esfuerzo de rotura (MPa)	24,09
		Módulo de flexión (GPa)	49,57
		OBSERVACIONES	
		Las probetas presentaron falla en el punto de carga en el fondo	
Realizado por	Daniel Castro	Revisado por	Ing. Mg. Christian Castro

Fuente: El autor

El tipo de falla evaluado en la tabla 4.6 corresponde a los criterios de la norma ASTM D7264-07 descritos en la tabla 4.5.

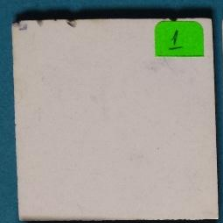
#### 4.1.1.3 Ensayo de impacto


Se realizó el ensayo con las características detalladas en el literal 3.5.3.3 de la siguiente manera:

#### Ensayo de impacto en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior

Se analizaron siete probetas. Lo primero que se hizo fue buscar una referencia de la altura y la carga a ser aplicadas, para esto se ensayó sobre una probeta inicial T – I1 a partir de una altura de 600 mm y se fue incrementando dicha altura en 100 mm tras cada lanzamiento hasta determinar la altura y la carga con las que tentativamente fallo la probeta, se realizaron 5 lanzamientos sobre esta y se obtuvo los resultados de la tabla 4.7.

**Tabla 4.7** Resultados de ensayo de impacto en la probeta T – I1

Probeta T – I1		Altura de caída del dardo (mm)	Peso del impactador (Kg)	Energía de impacto (J)	Consideración
Arandelas	5				
Peso (Kg)	0.0176				
		600	0.32	1.88	No falla
		700	0.32	2.20	No falla
		800	0.32	2.51	No falla
		900	0.32	2.82	No falla
		<b>1000</b>	0.32	<b>3.14</b>	<b>Falla</b>

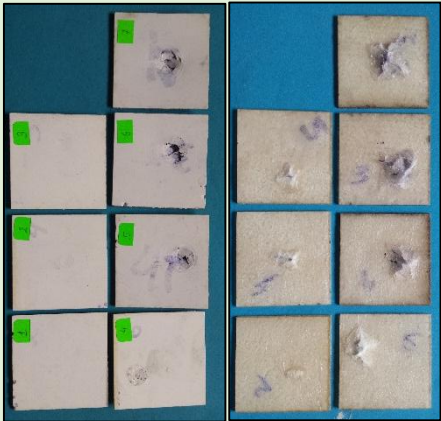
	<b>Observación</b>
La probeta presentó una pequeña fisura longitudinal al lado contrario del impacto de 10 mm aproximadamente	

Fuente: El autor

Posteriormente a partir de la altura y la carga de 1000 mm y 0.32 Kg respectivamente de la tabla 4.7, se ensayaron las seis probetas restantes, de no presentarse fallas en estas se incrementó la altura en 100 mm cada lanzamiento a fin de establecer un valor promedio con el que falla el material. Se colocaron 5 arandelas en el dardo para todos los lanzamientos sobre las probetas y se obtuvieron los resultados descritos en la tabla 4.8.

**Tabla 4.8** Resultados de ensayo de impacto de dardo en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior</b>					
Laboratorio de resistencia de materiales de la FICM-UTA					
<b>Máquina</b>	Máquina de impacto de dardo				
<b>Tipo de Ensayo</b>	Impacto	<b>Norma</b>	ASTM D5628-01		
<b>Matriz</b>	Resina poliéster	<b>Fracc. Volumétrica</b>	70%		
<b>Refuerzo</b>	Fibra de vidrio	<b>Fracc. Volumétrica</b>	30%		
<b>Orientación del tejido</b>	Aleatorio	<b>Número de probetas</b>	7		
<b>Dimensiones de probeta (mm)</b>	58x58xespesor	<b>Geometría de dardo FE</b>	Diámetro = 20 mm		
<b>Espesor promedio</b>	2,2 mm	<b>Masa arandela (Kg)</b>	0,0176 Kg		
<b>Fecha de ejecución</b>	19/01/2017	<b>Total arandelas</b>	5		
		<b>Peso total impactador</b>	0,32 Kg		
<b>DATOS Y RESULTADOS</b>					
<b>N° de probeta</b>	<b>Altura de caída del dardo (mm)</b>	<b>Peso del impactador (Kg)</b>	<b>Energía de impacto (J)</b>	<b>Consideración</b>	
T - I1	1000	0,32	3,14	Falla	
T - I2	1100	0,32	3,45	Falla	
T - I3	1100	0,32	3,45	Falla	

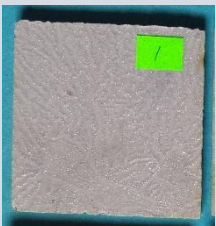
T - I4	1200	0,32	3,77	Falla
T - I5	1200	0,32	3,77	Falla
T - I6	1300	0,32	4,08	Falla
T - I7	1400	0,32	4,39	Falla
<b>Promedio</b>	1186	0	3,72	
<b>Desv. estándar</b>	134,52	0	0,42	
<b>Pobretas ensayadas</b>			<b>Observaciones</b>	
			<p>Las probetas 2 y 3 presentaron unas pequeñas fisuras al lado contrario del impacto</p> <p>La probeta 4 , 5 ,6 y 7 presentaron una fractura tanto del refuerzo como de la matriz al lado contrario del impacto. y en la lado del golpe presentaron una perforación a causa del impacto del dardo</p>	
<b>Realizado por</b>	Daniel Castro		<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro

Fuente: El autor

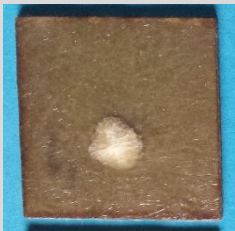
### Ensayo de impacto en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

Se analizaron siete probetas y se realizó de la misma manera que para el primer material compuesto descrito anteriormente. Lo primero que se hizo fue determinar una altura y carga referenciales a ser aplicadas, para esto se ensayó sobre la primera probeta L –I1 a partir de una altura de 600 mm y se incrementó la altura en 100 mm en cada lanzamiento hasta establecer una altura y carga con la que fallo la probeta, se realizaron 3 lanzamientos y se obtuvo los resultados de la tabla 4.9.

**Tabla 4.9** Resultados de ensayo de impacto en la probeta L – I1

<b>Probeta L – I1</b>		<b>Altura de caída del dardo (mm)</b>	<b>Peso del impactador (Kg)</b>	<b>Energía de impacto (J)</b>	<b>Consideración</b>
Arandelas	5				
Peso (Kg)	0.0176				
		600	0,32	1,88	No falla
		700	0,32	2,20	No falla
		<b>800</b>	0.32	<b>2,51</b>	<b>Falla</b>





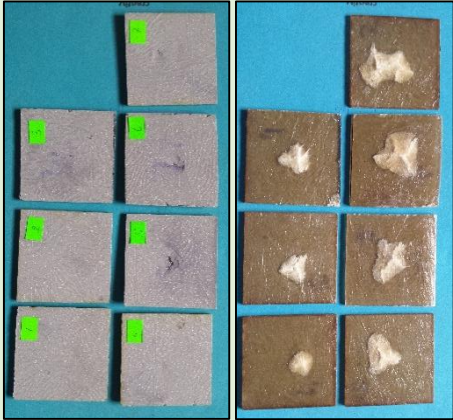
	<p><b>Observación</b></p> <p>La probeta presento una fisura circular al lado posterior del impacto de 15 mm aproximadamente</p>
---	---

Fuente: El autor

A partir de la altura de 800 mm y la carga de 0.32 Kg respectivamente de la tabla 4.9 se ensayaron las seis probetas restantes, sino se presentaban fallas en estas se incrementó la altura en 100 mm por cada lanzamiento, se colocó 5 arandelas en el dardo en todos los lanzamientos y se obtuvo los resultados detallados en la tabla 4.10.

**Tabla 4.10** Resultados de ensayo de impacto de dardo en el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores</b>				
Laboratorio de resistencia de materiales de la FICM-UTA				
<b>Máquina</b>	Máquina de impacto de dardo			
<b>Tipo de Ensayo</b>	Impacto	<b>Norma</b>	ASTM D5628-01	
<b>Matriz</b>	Resina poliéster	<b>Fracc. Volumétrica</b>	80%	
<b>Refuerzo</b>	Fibra de vidrio	<b>Fracc. Volumétrica</b>	20%	
<b>Orientación del tejido</b>	Aleatorio	<b>Número de probetas</b>	7	
<b>Dimensiones de probeta (mm)</b>	58x58xespesor	<b>Geometría de dardo FE</b>	Diámetro = 20 mm Masa = 0,2309 Kg	
<b>Espesor promedio</b>	2,75 mm	<b>Masa arandela (Kg)</b>	0,0176 Kg	
		<b>Total arandelas</b>	5	
<b>Fecha de ejecución</b>	19/01/2017	<b>Peso total impactador</b>	0,32 Kg	
<b>DATOS Y RESULTADOS</b>				
<b>N° de probeta</b>	<b>Altura de caída del dardo (mm)</b>	<b>Peso del impactador (Kg)</b>	<b>Energía de impacto (J)</b>	<b>Consideración</b>
L-I1	800	0,32	2,51	Falla
L-I2	900	0,32	2,82	Falla
L-I3	1000	0,32	3,14	Falla
L-I4	1100	0,32	3,45	Falla

L-I5	1100	0,32	3,45	Falla
L-I6	1200	0,32	3,77	Falla
L-I7	1200	0,32	3,77	Falla
<b>Promedio</b>	<b>1042,86</b>	<b>0,32</b>	<b>3,27</b>	
<b>D. estándar</b>	<b>151,19</b>	<b>0</b>	<b>0,47</b>	
Pobretas ensayadas		Observaciones		
		<p>Las probetas 2, 3 y 4 presentaron un fisura al lado contrario del impacto.</p> <p>Las probetas 5, 6 y 7 presentaron una fractura del refuerzo y la matriz al lado contrario del golpe.</p> <p>Las probetas 5 y 6 sufrieron una pequeña perforación del lado del impacto del dardo.</p>		
<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro	

Fuente: El autor


#### 4.1.2 Ensayo realizado en materiales textiles

##### 4.1.2.1 Ensayo de tracción

Luego de realizarse el ensayo y sus respectivos cálculos especificados en el literal 3.5.3.4, se obtuvieron los resultados descritos en las tablas 4.11, 4.12 y 4.13 respectivamente.

**Resultados del primer material:** Pranna poliéster flexible (forro de asientos) ensayo en el sentido del largo del material.

**Tabla 4.11** Resultados del ensayo de tracción en el material pranna poliéster flexible en el sentido del largo

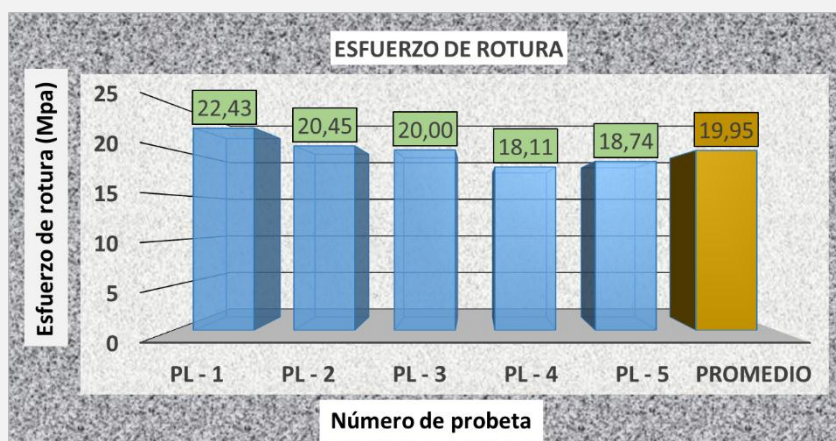
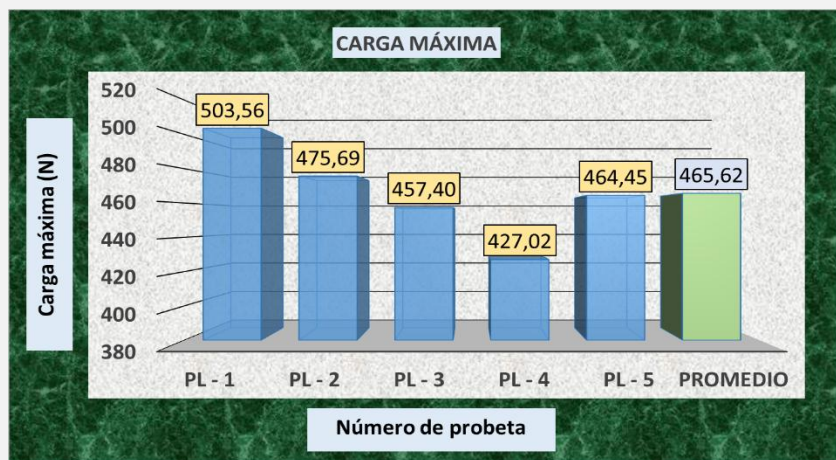
 <p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b></p> 	
<b>Material</b>	<b>Pranna poliéster flexible</b>
<b>Ensayo en el sentido del largo del material</b>	
Laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua	

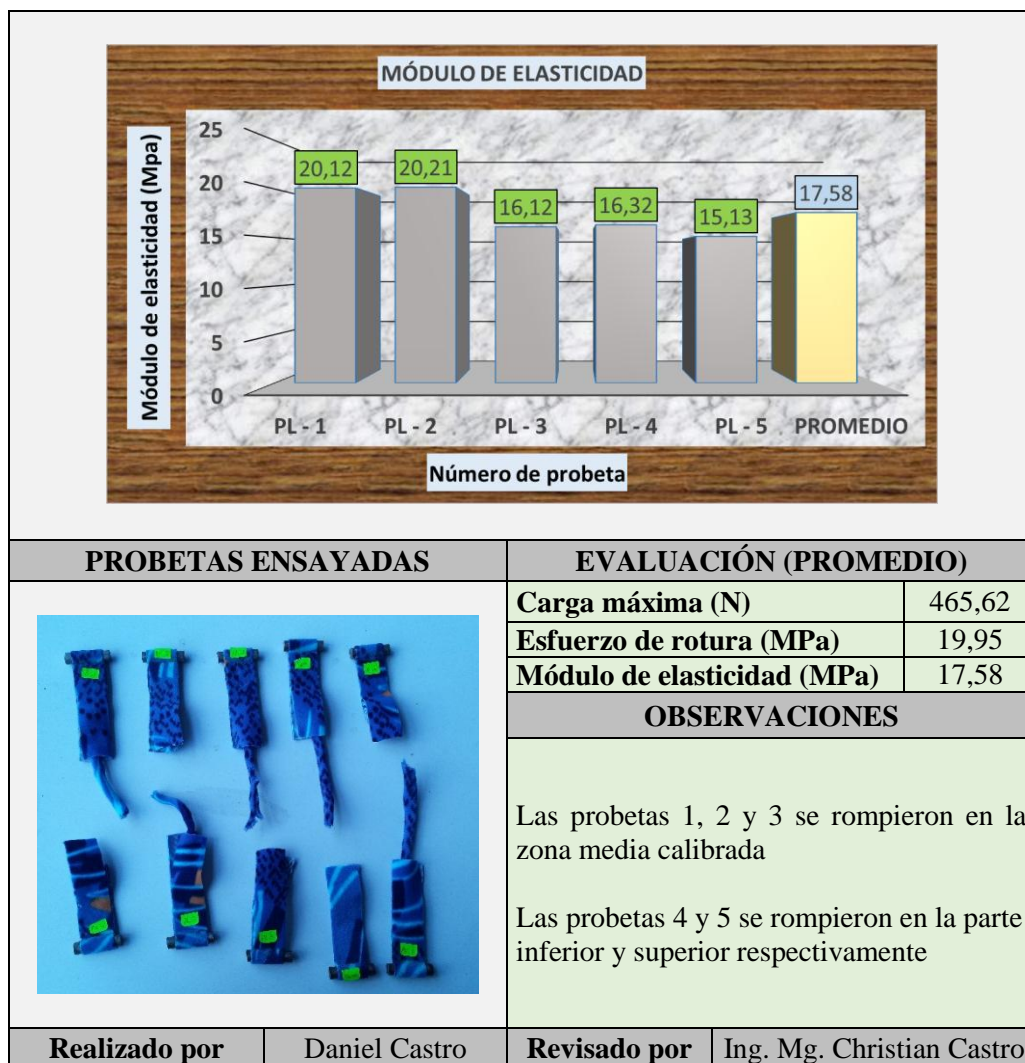
<b>Máquina</b>	Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50		
<b>Tipo de Ensayo</b>	Tracción		<b>Norma</b> ASTM D5035-03
<b>Dimensiones de probetas (mm)</b>	Largo	201	<b>Precarga</b> 20 N
	Ancho	25	
<b>Espesor promedio</b>	0,91 mm		<b>Longitud calibrada</b> 75 mm
<b>Fecha de ejecución</b>	22/02/2017		<b>Probetas ensayadas</b> 5
<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro

### DATOS Y RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Deformación máxima		Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tiempo de falla (seg)
		(mm)	(%)			
PL - 1	503,56	83,63	111,51	22,43	20,12	22
PL - 2	475,69	75,91	101,21	20,45	20,21	21
PL - 3	457,40	93,07	124,09	20,00	16,12	25
PL - 4	427,02	83,21	110,94	18,11	16,32	22
PL - 5	464,45	92,95	123,93	18,74	15,13	23
<b>Promedio</b>	<b>465,62</b>	<b>85,75</b>	<b>114,34</b>	<b>19,95</b>	<b>17,58</b>	<b>22,60</b>
<b>Desv. estándar</b>	<b>27,84</b>	<b>7,30</b>	<b>9,73</b>	<b>1,68</b>	<b>2,40</b>	<b>1,52</b>

### GRÁFICAS DE RESULTADOS







Fuente: El autor

**Resultados del primer material:** Pranna poliéster flexible (forro de asientos) ensayo en el sentido del ancho del material.

**Tabla 4.12** Resultados del ensayo de tracción en el material pranna poliéster flexible en el sentido del ancho

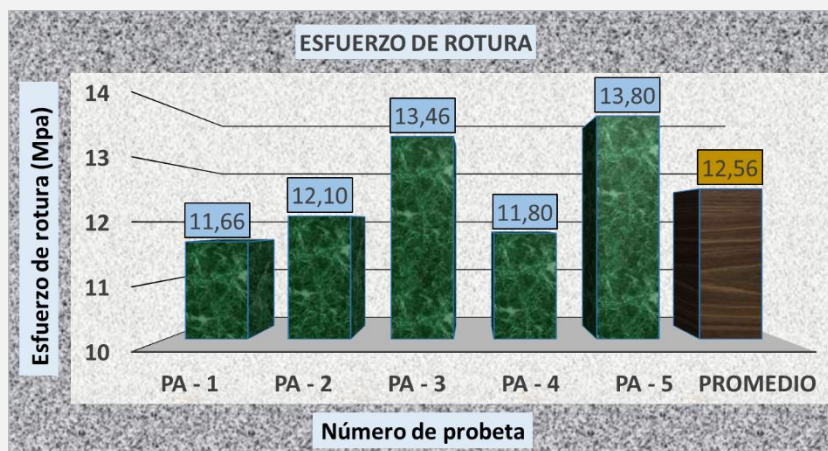
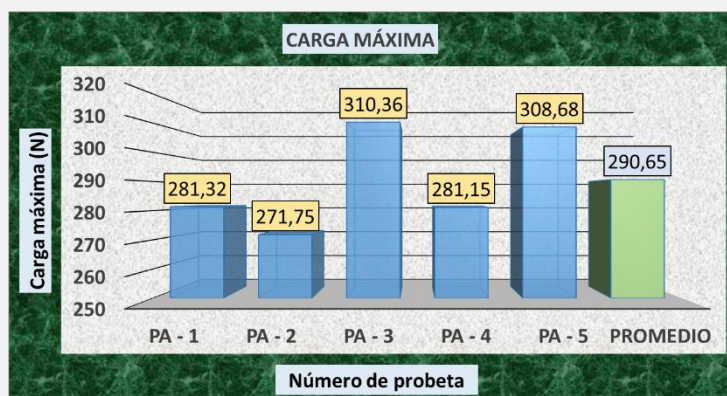
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 	
<b>Material</b>	<b>Pranna poliéster flexible</b>
<b>Ensayo en el sentido del ancho del material</b>	
Laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua	
<b>Máquina</b>	Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50

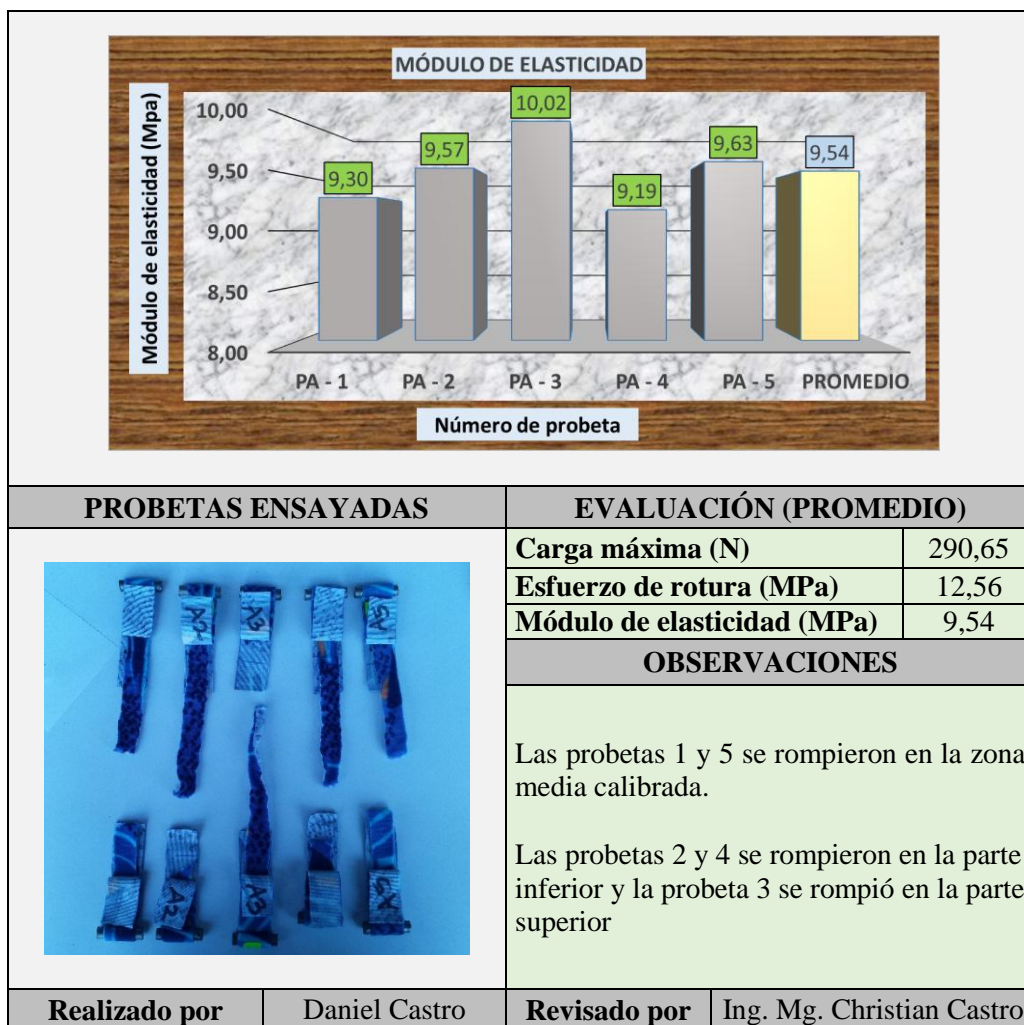
Tipo de Ensayo	Tracción		Norma	ASTM D5035-03
Dimensiones de probetas (mm)	Largo	201	Precarga	20 N
	Ancho	25	Velocidad del ensayo	300 mm/min
Espesor promedio	0,92 mm		Longitud calibrada	75 mm
Fecha de ejecución	22/02/2017		Probetas ensayadas	5
Realizado por	Daniel Castro		Revisado por	Ing. Mg. Christian Castro

### DATOS Y RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Deformación máxima		Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tiempo de falla (seg)
		(mm)	(%)			
PA - 1	281,32	93,98	125,31	11,66	9,30	27
PA - 2	271,75	94,79	126,38	12,10	9,57	28
PA - 3	310,36	100,67	134,23	13,46	10,02	28
PA - 4	281,15	96,31	128,41	11,80	9,19	28
PA - 5	308,68	107,51	143,34	13,80	9,63	30
<b>Promedio</b>	<b>290,65</b>	<b>98,65</b>	<b>131,53</b>	<b>12,56</b>	<b>9,54</b>	<b>28,20</b>
<b>Desv. estándar</b>	<b>17,66</b>	<b>5,58</b>	<b>7,44</b>	<b>0,99</b>	<b>0,32</b>	<b>1,10</b>

### GRÁFICAS DE RESULTADOS





Fuente: El autor

**Resultados del segundo material:** Textil a base de vinilo (forro de piso)

**Tabla 4.13** Resultados del ensayo de tracción en el material textil a base de vinilo

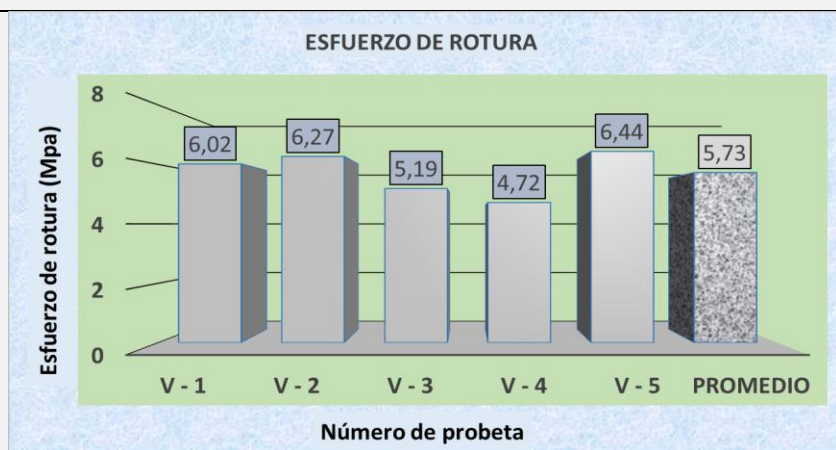
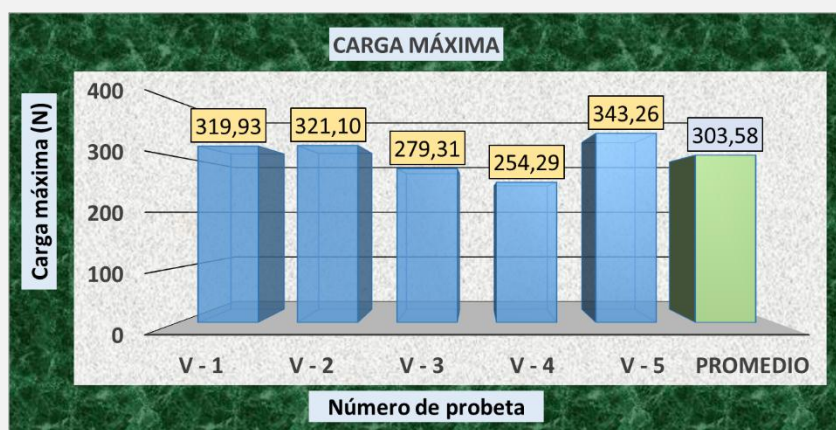
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 	
<b>Material</b>	<b>Textil a base de vinilo para piso</b>
Laboratorio del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del consejo provincial de Tungurahua	
<b>Máquina</b>	Máquina universal para polímeros METROTEC MTE-50
<b>Tipo de Ensayo</b>	Tracción
<b>Dimensiones de probetas (mm)</b>	Largo 201
	Ancho 25
<b>Espesor promedio</b>	2,07 mm
<b>Fecha de ejecución</b>	22/02/2017
<b>Norma</b>	ASTM D5035-03
<b>Precarga</b>	20 N
<b>Velocidad del ensayo</b>	300 mm/min
<b>Longitud calibrada</b>	75 mm
<b>Probetas ensayadas</b>	5

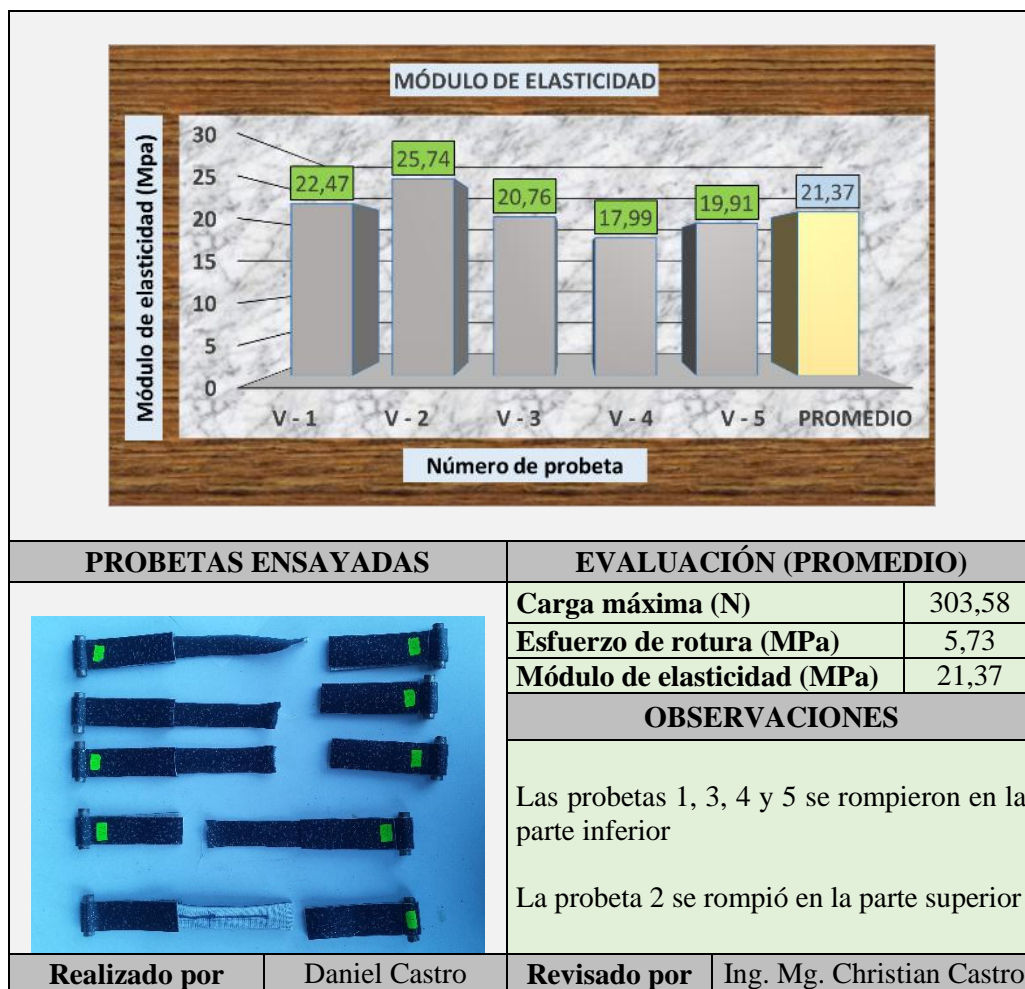
Realizado por	Daniel Castro	Revisado por	Ing. Mg. Christian Castro
---------------	---------------	--------------	---------------------------

### DATOS Y RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Deformación máxima		Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tiempo de falla (seg)
		(mm)	(%)			
V - 1	319,93	200,91	267,88	6,02	22,47	52
V - 2	321,10	182,69	243,59	6,27	25,74	50
V - 3	279,31	187,52	250,02	5,19	20,76	50
V - 4	254,29	196,80	262,40	4,72	17,99	50
V - 5	343,26	242,59	323,45	6,44	19,91	65
<b>Promedio</b>	<b>303,58</b>	<b>202,10</b>	<b>269,47</b>	<b>5,73</b>	<b>21,37</b>	<b>53,40</b>
<b>Desv. estándar</b>	<b>35,94</b>	<b>23,76</b>	<b>31,68</b>	<b>0,74</b>	<b>2,93</b>	<b>6,54</b>

### GRÁFICAS DE RESULTADOS





Fuente: El autor

## 4.2 Análisis de los resultados

### 4.2.1 Análisis de resultados en materiales compuestos



Se analizaron dos materiales compuestos utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas siendo estos:

1. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro interior del techo interior
2. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

Tras la realización de los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto se obtuvieron los resultados descritos en la tabla 4.14.

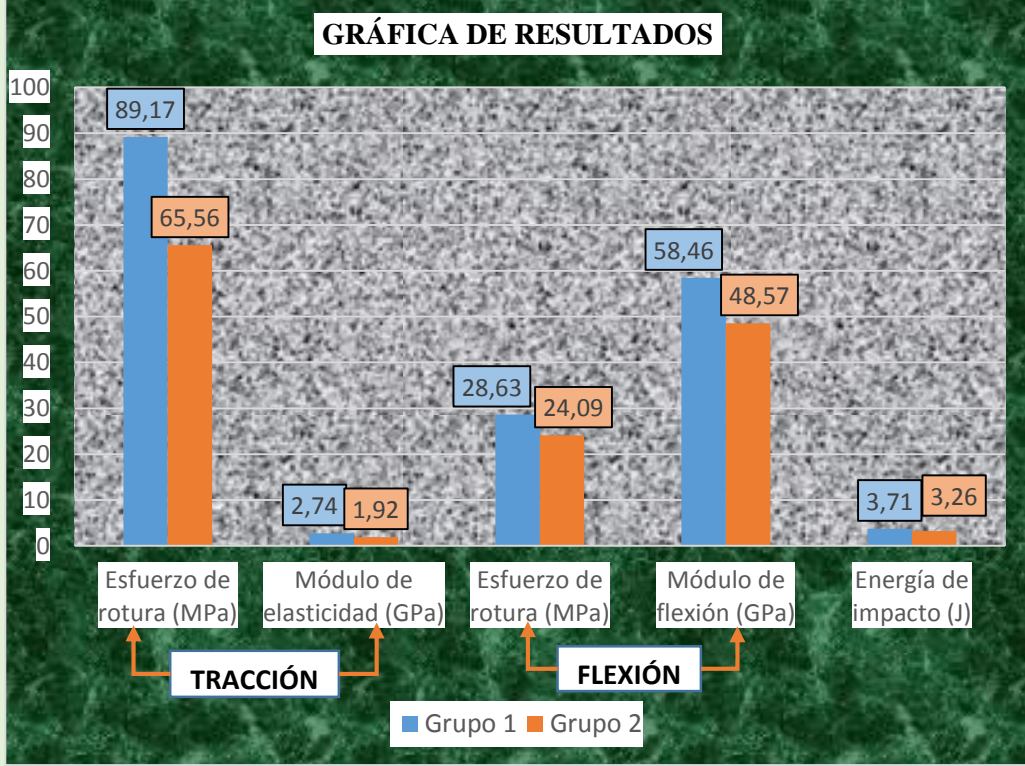


**Tabla 4.14** Resultados promedio de ensayos a tracción, flexión e impacto en materiales compuestos

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
<b>Análisis de resultados promedio de ensayos en materiales compuestos</b>					
Materiales compuestos de fibra de vidrio con resina poliéster					
<b>RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS</b>					
Material	Tracción		Flexión		Impacto
	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo de rotura (MPa)	Módulo de flexión (GPa)	Energía de impacto (J)
Grupo 1	89,17	2,74	28,63	58,46	3,72
Grupo 2	65,56	1,92	24,09	48,57	3,27

**GRÁFICA DE RESULTADOS**



Propiedad	Grupo 1	Grupo 2
Esfuerzo de rotura (MPa) - Tracción	89,17	65,56
Módulo de elasticidad (GPa) - Tracción	2,74	1,92
Esfuerzo de rotura (MPa) - Flexión	28,63	24,09
Módulo de flexión (GPa) - Flexión	58,46	48,57
Energía de impacto (J)	3,71	3,26

El grupo N° 1 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior

El grupo N° 2 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro
----------------------	---------------	---------------------	---------------------------

Fuente: El autor

De los resultados obtenidos de la tabla 4.14 el material compuesto que presentó mejores propiedades a tracción, flexión e impacto fue el grupo N°1 que es el material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior.



#### 4.2.2 Análisis de resultados en materiales textiles

Se ensayaron dos materiales textiles que son:

1. Pranna poliéster flexible (forro de asientos)
2. Textil a base de vinilo (forro de piso)

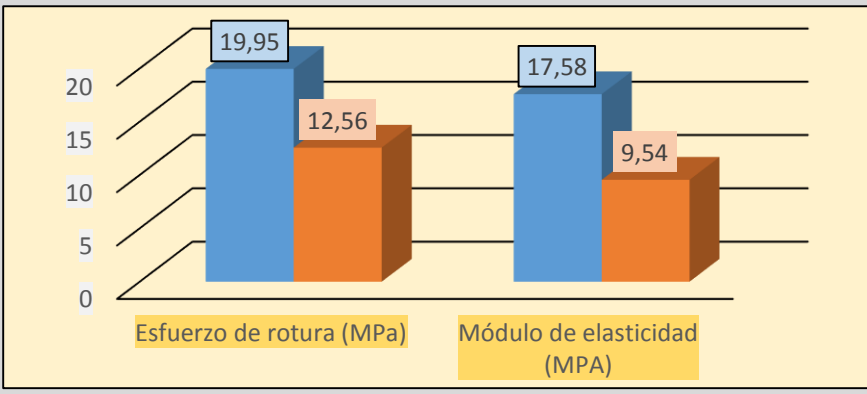
A los materiales mencionados se les realizó el ensayo de tracción y se obtuvo los resultados detallados en las tablas 4.15 y 4.16 respectivamente.

**Tabla 4.15** Resultados del ensayo a tracción en el material pranna poliéster flexible

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>Material</b>		Pranna poliéster flexible	
<b>Análisis de resultados</b>			
<b>Ensayo realizado</b>		<b>Tracción</b>	
<b>Sentido de ensayo</b>		<b>Esfuerzo de rotura (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>
Largo del material		19,95	17,58
Ancho del material		12,56	9,54

**GRÁFICA DE RESULTADOS**





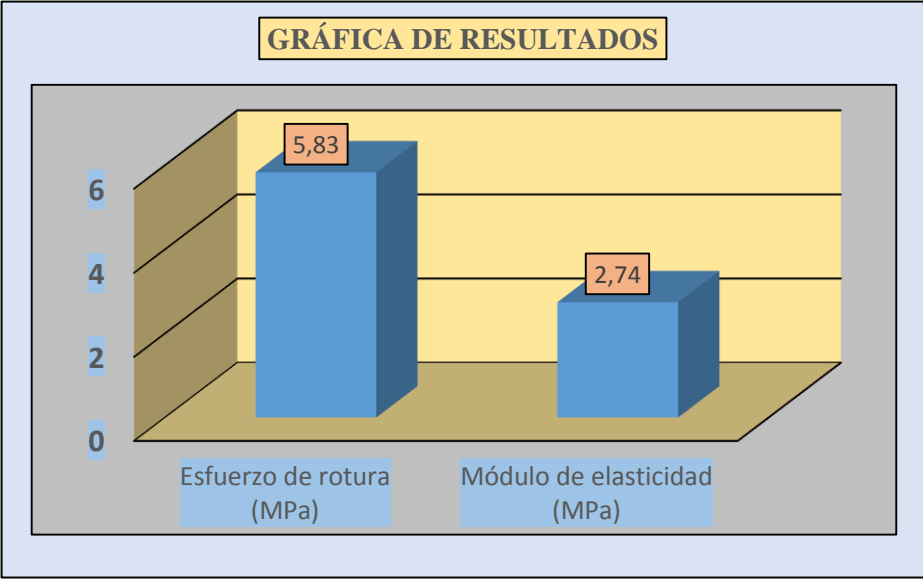
■ Largo del material   ■ Ancho del material

<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro
----------------------	---------------	---------------------	---------------------------

Fuente: El autor

De la tabla 4.15 se puede identificar que el material pranna poliéster flexible (forro de asientos) presento una mejor propiedad a tracción en el sentido del largo del material.

**Tabla 4.16** Resultados del ensayo a tracción en el material textil a base de vinilo

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 			
<b>Material</b>	Textil a base de vinilo para piso		
<b>Análisis de resultados</b>			
<b>Ensayo realizado</b>	<b>Esfuerzo de rotura (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	
Tracción	5,83	2,74	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"><b>GRÁFICA DE RESULTADOS</b></div> 			
<b>Realizado por</b>	Daniel Castro	<b>Revisado por</b>	Ing. Mg. Christian Castro

Fuente: El autor

### 4.3 Verificación de la hipótesis

La hipótesis del presente trabajo se comprobó descriptiva y estadísticamente.

#### 4.3.1 Verificación de la hipótesis descriptivamente

Se comprobó de manera descriptiva porque se detalla el análisis realizado a los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas

donde se describió las características de los materiales, el dimensionamiento de las probetas, el procedimiento para la realización de los ensayos en función de la normativa ASTM y el análisis de resultados descritos en los literales 3.5.1, 3.5.2, 3.5.3 y 4.2 respectivamente.

#### **4.3.2 Verificación de la hipótesis estadísticamente**

Para la verificación de la hipótesis de manera estadística se ha establecido el método t-student para medias de dos muestras emparejadas.

Este método se utiliza cuando existe un par natural de observaciones, para ello se tomaron los datos de los ensayos de tracción, flexión e impacto realizados a los materiales compuestos (techo y laterales).

#### **Procedimiento**

##### **1. Se plantean las dos hipótesis**

##### **Hipótesis alternativa (Ha)**

**Ha:** Mediante el análisis de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas se podrán determinar sus propiedades mecánicas.

##### **Hipótesis nula (Ho)**

**Ho:** Mediante el análisis de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas no se podrán determinar sus propiedades mecánicas.

##### **2. Verificación**

Se procedió a verificar la hipótesis utilizando el método t-student con forma de campana, se realizó un ensayo bilateral hacia las dos colas con un nivel de significancia del 5%.

##### **Cálculo de grados de libertad (Gl)**

Los grados de libertad son el número de datos que son libres de variar cuando se realiza la prueba [37].

$$Gl = n - 1 \quad (\text{Ec 4.1})$$

$$Gl = 5 - 1 = 4$$

Donde

- $G_l$  = grados de libertad
- $n$  = Número de muestras [38]

$n = 5$ , porque son las probetas analizadas por cada ensayo de tracción y flexión.

### Probabilidad ( $\alpha$ )

Es el riesgo dispuesto a correr al momento de realizar la prueba, generalmente se toma un valor del 5%.

$$\alpha = 0,05$$

$$\alpha = \frac{0,05}{2} = 0,025$$

Se dividió  $\alpha$  para 2, porque se realizó el ensayo hacia las dos colas de la campana.

### Resolución

Con  $G_l = 4$  y  $\alpha = 0,025$  buscamos en la tabla t-student el valor de  $t_{\text{tabulado}}$ , como se puede ver en la tabla 4.17.

**Tabla 4.17** Distribución t-student [39]

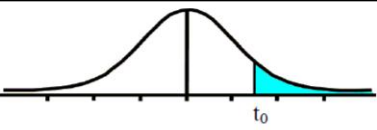


Tabla t-Student

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	0.7487	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

$$t_{\text{tabulado}} = 2,7765$$

### 3. Regla de la decisión

Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) si el valor  $t_{\text{calculado}}$  está entre el rango de  $-2,7765$  a  $2,7765$ , de otra manera se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ).

#### 4.3.2.1 Verificación de la hipótesis con respecto al ensayo de tracción realizado en materiales compuestos (techo y laterales)

Se presentan los valores de los esfuerzos a tracción de los dos materiales compuestos, cuyos valores se detallan en la tabla 4.18.

**Tabla 4.18** Esfuerzos a tracción de los materiales compuestos

Probeta	Esfuerzo MPa Material 1 (X)	Esfuerzo MPa Material 2 (Y)	H= X - Y	H <sup>2</sup>
1	82,09	64,86	17,23	296,87
2	84,35	67,98	16,37	267,98
3	94,50	59,74	34,76	1208,26
4	89,89	74,21	15,68	245,86
5	95,04	61,02	34,02	1157,36
<b>Suma</b>	<b>445,87</b>	<b>327,81</b>	<b>118,06</b>	<b>3176,33</b>
<b>Promedio</b>	<b>89,17</b>	<b>65,56</b>	<b>23,61</b>	<b>635,27</b>
<b>Observación:</b> El material 1 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior El material 2 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores				

Fuente: El autor

Se procede a calcular las varianzas de las diferencias utilizando la siguiente ecuación:

$$S^2d = \frac{\sum H^2 - \frac{(\sum H)^2}{n}}{n(n-1)} \quad (\text{Ec 4.2})$$

Donde:

- S<sup>2</sup>d = varianza de las diferencias
- H = diferencia entre los datos
- n = número de muestras = 5
- Sd = desviación

$$S^2d = \frac{3176,33 - \frac{(118,06)^2}{5}}{5(5-1)} = 19,43$$

$$Sd = \sqrt{19,43} = 4,41$$

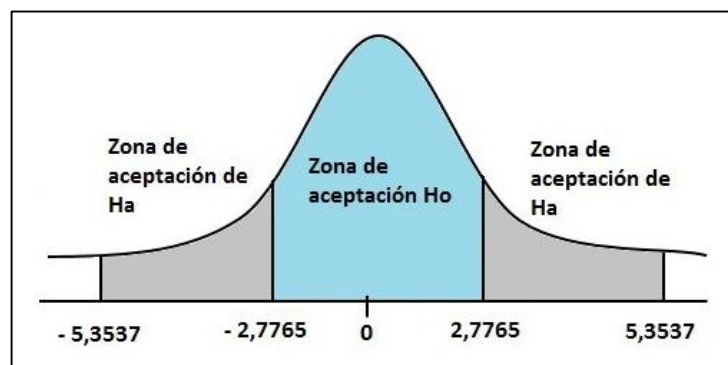
Cálculo del t-student utilizando la siguiente ecuación:

$$t_{\text{cal}} = \frac{\bar{H}}{S_d} \quad (\text{Ec 4.3})$$

Donde:

- $\bar{H}$  = promedio de las diferencias
- $t_{\text{cal}} = t_{\text{calculado}}$  [38]

$$t_{\text{cal}} = \frac{23,61}{4,41} = 5,3537$$



**Figura 4.1** Campana de distribución t para la verificación de la hipótesis mediante el ensayo de tracción en materiales compuestos

Fuente: El autor

En vista que  $t_{\text{calculado}}$  es mayor que  $t_{\text{tabulado}}$  ( $5,3537 > 2,7765$ ) según la figura 4.1, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice:

Mediante el análisis de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas se podrán determinar sus propiedades mecánicas.

#### 4.3.4.2 Verificación de la hipótesis con respecto al ensayo de flexión realizado en materiales compuestos (techo y laterales)

Se presentan los valores de los esfuerzos a flexión de los dos materiales compuestos, como se puede ver en la tabla 4.19.

**Tabla 4.19** Esfuerzos a flexión de los materiales compuestos

Probeta	Esfuerzo MPa Material 1 (X)	Esfuerzo MPa Material 2 (Y)	H= X - Y	H <sup>2</sup>
1	27,38	24,44	2,94	8,64

2	31,06	24,89	6,17	38,07
3	23,81	21,55	2,26	5,11
4	36,93	24,64	12,29	151,04
5	23,95	24,95	-1,00	1,00
<b>Suma</b>	143,13	120,47	22,66	203,86
<b>Promedio</b>	28,63	24,09	4,53	40,77

**Observación:**

El material 1 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior

El material 2 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

Fuente: El autor

Se calcula las varianzas de las diferencias utilizando la ecuación 4.2.

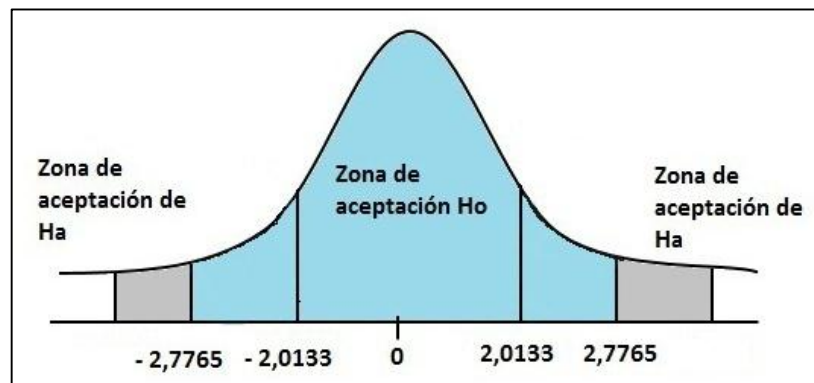
$$S^2d = \frac{203,86 - \frac{(22,66)^2}{5}}{5(5 - 1)}$$

$$S^2d = 5,06$$

$$Sd = \sqrt{5,06} = 2,25$$

Cálculo del t-student utilizando la ecuación 4.3.

$$t_{cal} = \frac{4,53}{2,25} = 2,0133$$



**Figura 4.2** Campana de distribución t para la verificación de la hipótesis mediante el ensayo de flexión en materiales compuestos

Fuente: El autor



En vista que  $t_{calculado}$  es menor que  $t_{tabulado}$  ( $2,0133 < 2,7765$ ) según la figura 4.2, se acepta la hipótesis nula que dice:

Mediante el análisis de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas no se podrán determinar sus propiedades mecánicas.

#### 4.3.4.3 Verificación de la hipótesis con respecto al ensayo de impacto realizado en materiales compuestos (techo y laterales)

A diferencia de los ensayos de tracción y flexión en donde se analizaron 5 probetas, en el ensayo de impacto se ensayaron 7 probetas por lo que se volvió a calcular los grados de libertad.

$$Gl = 7 - 1 = 6$$

Con  $Gl = 6$  y  $\alpha = 0,025$  buscamos en la tabla t-student el valor de  $t_{tabulado}$ , como se observa en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20** Distribución t-student [39]

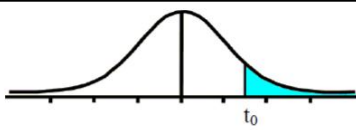


Tabla t-Student

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

$$t_{tabulado} = 2,4469$$

#### Regla de la decisión

Se acepta la hipótesis nula ( $H_0$ ) si el valor  $t_{calculado}$  está entre el rango de  $-2,4469$  a  $2,4469$ , de otra manera se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ )

#### Verificación

Se presentan los valores de la energía de impacto de los dos materiales compuestos detallados en la tabla 4.21.

**Tabla 4.21** Energía de impacto de los materiales compuestos

Probeta	Energía de impacto (Joule) Material 1 (X)	Energía de impacto (Joule) Material 2 (Y)	H= X - Y	H <sup>2</sup>
1	3,14	2,51	0,63	0,40
2	3,45	2,82	0,63	0,40
3	3,45	3,14	0,31	0,10
4	3,77	3,45	0,32	0,10
5	3,77	3,45	0,32	0,10
6	4,08	3,77	0,31	0,10
7	4,39	3,77	0,62	0,38
<b>Suma</b>	<b>26,05</b>	<b>22,91</b>	<b>3,14</b>	<b>1,58</b>
<b>Promedio</b>	<b>3,72</b>	<b>3,27</b>	<b>0,45</b>	<b>0,23</b>

**Observación:**  
 El material 1 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior  
 El material 2 corresponde al material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores

Fuente: El autor

Se calcula las varianzas de las diferencias utilizando la ecuación 4.2.

$$S^2d = \frac{1,58 - \frac{(3,14)^2}{7}}{7(7 - 1)}$$

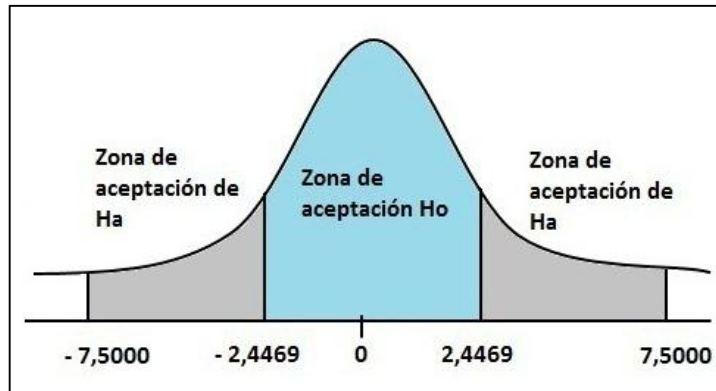
$$S^2d = 0,004$$

$$S^2d = \sqrt{0,004} = 0,06$$

Cálculo del t-student utilizando la ecuación 4.3.

$$t_{cal} = \frac{0,45}{0,06}$$

$$t_{cal} = 7,50$$



**Figura 4.3** Campana de distribución t para la verificación de la hipótesis mediante el ensayo de impacto en materiales compuestos

Fuente: El autor

En vista que  $t_{calculado}$  es mayor que  $t_{tabulado}$  ( $7,5000 > 2,4469$ ) como se puede ver en la figura 4.3, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que dice:

Mediante el análisis de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas se podrán determinar sus propiedades mecánicas.

### 4.3.3 Conclusión

En la tabla 4.22 se presenta el resumen de las tres comprobaciones que se realizó para la verificación de la hipótesis.

**Tabla 4.22** Verificación de la hipótesis en función de los ensayos realizados en materiales compuestos

Ensayo	$t_{tabulado}$	$t_{calculado}$	Diferencia	Hipótesis nula (Ho)	Hipótesis alterna (Ha)
Tracción	2,7765	5,3537	2,5772		X
Flexión	2,7765	2,0133	0,7632	X	
Impacto	2,4469	7,5000	5,0531		X

Fuente: El autor

En la tabla 4.22 se puede ver que de las tres comprobaciones que se realizó, en los casos de tracción e impacto se rechaza la hipótesis nula y en el caso de flexión se acepta la hipótesis nula, esto es debido a que los valores de los esfuerzos de flexión de la tabla 4.19 tienen una diferencia relativamente baja entre los dos materiales,

además la diferencia entre el  $t_{calculado}$  y el  $t_{calculado}$  es de 0,7632 que es muy baja lo que significa que el valor de  $t_{calculado}$  está muy cerca de la zona de aceptación de la hipótesis alterna, por lo tanto para finalizar el proyecto quedó aceptada la hipótesis alterna que dice:

Mediante el análisis de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas se podrán determinar sus propiedades mecánicas.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Luego del desarrollo del presente estudio se puede concluir lo siguiente:

- ✚ Se determinó el proceso de moldeo que se utiliza para la elaboración de los materiales compuestos que es el de estratificación manual y el conformado de estos siendo:
  1. 70% resina y 30% fibra de vidrio, para el material compuesto forro del techo interior.
  2. 80% resina y 20% fibra de vidrio, para el material compuesto forro laterales interiores.
- ✚ Se elaboró probetas para la realización de los ensayos en materiales compuestos en función de las normas ASTM siendo estas: (Tracción - ASTM D3930-00), (Flexión - ASTM D7264-07), (Impacto - ASTM D5628-01).
- ✚ Se determinó las propiedades mecánicas a tracción y flexión de los materiales compuestos analizados siendo estas:
  1. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior.
    - Esfuerzo de rotura a tracción (89,17 MPa)
    - Módulo de elasticidad (2,74 GPa)
    - Esfuerzo de rotura a flexión (28,63 MPa)
    - Módulo de flexión (58,46 GPa)
  2. Material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro laterales interiores.
    - Esfuerzo de rotura a tracción (65,56 MPa)
    - Módulo de elasticidad (1,92 GPa)
    - Esfuerzo de rotura a flexión (24,09 MPa)
    - Módulo de flexión (48,57 GPa)

- ✚ Se determinó la energía de impacto de los materiales compuestos cuyos valores son: 3,76 joule (J) para el primer material y 3,27 joule (J) para el segundo material respectivamente.
- ✚ Se evaluó las propiedades mecánicas obtenidas de los materiales compuestos (techo y laterales), determinando que de los dos materiales el que presento mejores propiedades en los 3 ensayos realizados (tracción, flexión e impacto) fue el primer material compuesto de fibra de vidrio con resina poliéster, forro del techo interior, cuyos valores están descritos en la tabla 4.14.
- ✚ En el ensayo de tracción en materiales compuestos no se produjo deslizamiento de las probetas de las abrazaderas de la máquina de ensayo.
- ✚ Se determinó la propiedad mecánica a tracción de los materiales textiles cuyos valores son:
  1. Pranna poliéster flexible (forro de asientos)
    - Ensayo a lo largo del material
      - Esfuerzo de rotura (19,95 MPa)
      - Módulo de elasticidad (17,58 MPa)
    - Ensayo a lo ancho del material
      - Esfuerzo de rotura (12,56 MPa)
      - Módulo de elasticidad (9,54 MPa)
  2. Textil a base de vinilo (forro de piso)
    - Esfuerzo de rotura (5,83 MPa)
    - Módulo de elasticidad (2,74 MPa)
- ✚ El material pranna poliéster flexible (forro de asientos) presentó una mejor propiedad a tracción en el sentido del largo del material.
- ✚ La colocación de las probetas de los materiales textiles en las abrazaderas de la máquina de ensayo fue muy dificultosa debido a que estas tienen un ancho de 42 mm y a las probetas se les colocó un eje en cada extremo de 35 mm dejando aproximadamente 7 mm para ubicar las probetas en las abrazaderas.

## 5.2 Recomendaciones

Al finalizar el presente estudio se puede recomendar lo siguiente:

- ✚ En materiales compuestos para obtener probetas con un buen acabado hay que realizar el corte con una máquina laser CNC.
- ✚ Para el ensayo de tracción en materiales compuestos se debe colocar una sobremonta de 56 mm en cada extremo de las probetas, para que estas no se resbalen de las abrazaderas al momento del ensayo.
- ✚ En el ensayo de flexión la distancia entre apoyos conocida como SUPPORT SPAN debe ser 32 veces el espesor de las probetas como indica la norma ASTM D7264-07.
- ✚ En el ensayo de impacto de dardo hay que evitar que el impactador no rebote sobre las probetas luego de cada lanzamiento.
- ✚ Es necesario contar con unas dos probetas adicionales en caso de necesitar reemplazar a alguna de estas durante el ensayo.
- ✚ En el ensayo de tracción en materiales textiles, para evitar que se resbalen las probetas durante el ensayo se debe colocar un eje de  $3/8'' = 10 \text{ mm}$  aproximadamente en cada extremo de cada probeta.
- ✚ En el ensayo de tracción en materiales textiles es aconsejable proteger a las probetas con una lengüeta en el área de contacto con las abrazaderas de la máquina, ya que estas suelen lastimar al material durante el ensayo.

## MATERIALES DE REFERENCIA

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] 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*", Mg. Tesis, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador, 2012.
- [2] L. D. Nuñez Barriga , "*Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz epóxica reforzada con tejido mixto elaborado con fibras de carbono y kevlar y su incidencia en las propiedades mecánicas de partes externas de autos*", Ing. Tesis, Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica, Universidad Técnica de ambato, Ambato, Ecuador, 2014.
- [3] C. M. Bayas Guevara y D. R. Rosero Sánchez, "*Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia fórmula "SAE" en fibra de vidrio, para la Escuela de Ingeniería Automotriz*", Ing. Tesis, Facultad de Ingeniería Automotriz, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2015.
- [4] C. B. Castro Miniguano, "*Estudio del comportamiento frente al fuego de los materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías y su incidencia en la homologación de modelos y competitividad de la empresa carrocera Industria Metálica CEPEDA*", Mg. Tesis, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2014.
- [5] E. Carrera Gallissa, "Caracterización de tejidos - principales ensayos físicos para evaluar la calidad textiles", Universidad Politécnica de Cataluña, primera ed, Vol 1, Cataluña - España: Terrassa, 2015, 238 pp.
- [6] C. B. Castro Miniguano, «DOCUMENTACIÓN DIGITAL Universidad Técnica de Ambato,» 17 Mayo 2016. [En línea]. Available: <http://redi.uta.edu.ec/handle/123456789/23429>. [Último acceso: 12 Diciembre



2016].

- [7] J. Pérez Porto, «Carrocería,» Definición, 2016. [En línea]. Available: <http://definicion.de/carroceria/>. [Último acceso: 12 12 2016].
- [8] J. A. Rivas, «REFERENCIAS EN CHASIS,» rivas diseños, [En línea]. Available: <http://www.bus-america.com/JAR/index.htm>. [Último acceso: 13 Marzo 2017].
- [9] J. Pérez, «COMPONENTES DE UN REFUERZO Y FABRICACIÓN,» CARBON CONCRETE , 2008. [En línea]. Available: <http://www.carbonconcrete.es/HTLM/es/Material%20Compuesto.html>. [Último acceso: 22 Diciembre 2016].
- [10] M. Zubitur, «MATERIALES COMPUESTOS,» OpenCourseWare, Diciembre 2009. [En línea]. Available: [https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/7038/mod\\_resource/content/1/materia\\_comp/Course\\_listing.html](https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/7038/mod_resource/content/1/materia_comp/Course_listing.html). [Último acceso: 17 Mayo 2017].
- [11] M. «Materiales compuestos,» Tecnología de los Plásticos, 11 Julio 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/07/materiales-compuestos.html>. [Último acceso: 23 Diciembre 2016].
- [12] J. C. Almache Hernández y D. A. Tapia Pazmiño, “*Estudio de la adherencia de un sistema compuesto frcm sostenible para el reforzamiento de elementos de hormigón armado*”, Ing.Tesis, Facultad de Ingeniería , Universidad Nacional del Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2016.
- [13] R. Tino Ramos, «"Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio",» *Cimbra*, pp. 43-44, Marzo 2010.
- [14] «La Resina de Poliéster,» RESINAS DE POLIESTER Y FIBRA DE VIDRIO. (ESTRATIFICADO), 15 Octubre 2016. [En línea]. Available: [http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester\\_archivos/Page396.htm](http://usuaris.tinet.cat/jaranda/Poliester_archivos/Page396.htm). [Último acceso: 9 Febrero 2017].

- [15] A. Portón , «Resina Polyester (formula + preparacion),» Portón Artesano, 23 Mayo 2011. [En línea]. Available: <http://www.portonartesano.com.ar/verdocumento67.html>. [Último acceso: 10 Febrero 2017].
- [16] M. «Moldeo manual de materiales compuestos (hand lay-up),» Tecnología de los Plásticos, 1 Noviembre 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/moldeo-manual-de-materiales-compuestos.html>. [Último acceso: 22 Febrero 2017].
- [17] M. «Fibra de vidrio,» Tecnología de los Plásticos, 6 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/12/fibra-de-vidrio.html>. [Último acceso: 4 Marzo 2017].
- [18] «Fibra de vidrio,» Wikipedia, Mayo 2012. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_de\\_vidrio](https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_vidrio). [Último acceso: 5 Enero 2017].
- [19] «Fibra de vidrio: propiedades y aplicaciones,» ESCOMTM, 28 Abril 2016. [En línea]. Available: <http://www.atescom.es/fibra-vidrio-propiedades-aplicaciones/>. [Último acceso: 6 Enero 2017].
- [20] «Estudio de los Materiales Compuestos,» ingemecámica, 20 Julio 2011. [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html>. [Último acceso: 3 Marzo 2017].
- [21] M. J. Ariza, «ual,» 11 Mayo 2012. [En línea]. Available: <http://www.ual.es/~mjariza/pract11.pdf>. [Último acceso: 3 Marzo 2017].
- [22] F. Garduza, «Propiedades y comportamiento de los materiales,» SlideShare, 4 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/angelgarduza/propiedades-unidad-5>. [Último acceso: 17 Mayo 2017].
- [23] «Los materiales textiles,» wikiteca, 9 Junio 2010. [En línea]. Available: <https://www.wikiteka.com/apuntes/los-materiales-textiles/>. [Último acceso: 13 Febrero 2017].

- [24] «Fibras textiles,» Tecnología - Materiales, 12 Agosto 2011. [En línea]. Available: <https://tecnologia-materiales.wikispaces.com/Fibras+textiles>. [Último acceso: 13 Febrero 2017].
- [25] J. Puma, «Fabricación del Poliéster,» Prezi, 18 Julio 2014. [En línea]. Available: <https://prezi.com/pqapqy6uisyf/fabricacion-del-poliester/?webgl=0>. [Último acceso: 16 Febrero 2017].
- [26] «Tricot (textil),» Wikipedia, [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tricot\\_\(textil\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Tricot_(textil)). [Último acceso: 16 Febrero 2017].
- [27] D. García, «Campos de algodón,» Tecno Agro, 2013. [En línea]. Available: <https://tecnoagro.com.mx/revista/2013/no-87/campos-de-algodon-gossypium-sp-malvaceae/>. [Último acceso: 18 Mayo 2017].
- [28] G. Celestecielo, «Fibras artificiales,» Celestecielo, [En línea]. Available: <https://elrincondECElestecielo.blogspot.com/2015/07/algunos-conceptos-de-telas-en-fibras.html>. [Último acceso: 17 Mayo 2017].
- [29] «Trama y urdimbre,» Soluciones textiles DRT, 14 Junio 2010. [En línea]. Available: <http://solucionestextilesdrt.blogspot.com/2010/06/trama-y-urdimbre.html>. [Último acceso: 13 Febrero 2017].
- [30] C. Gómez Pineda, «La importancia de las pruebas mecánicas estándares de materiales,» BLOG UDLAP, 2013 Julio 2013. [En línea]. Available: <http://blog.udlap.mx/blog/2013/07/estandaresdemateriales/>. [Último acceso: 11 Marzo 2017].
- [31] R. De los Santos, «Ensayo de impacto,» Scribd, 15 Agosto 2010. [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/87265311/Ensayo-de-impacto>. [Último acceso: 11 Marzo 2017].
- [32] «Tenacidad,» WIKIPEDIA, [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Tenacidad>. [Último acceso: 11 Marzo 2017].
- [33] M. T. Sanchez Sanchez, «Propiedades de las fibras textiles,» Slideshare, 16 Abril 2014. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/mayrat30/propiedades->

de-las-fibras-textiles. [Último acceso: 16 Febrero 2017].

- [34] ASTM - American Society for Testing Materials. **ASTM D-5035 – 03 - Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)**. In Annual Book of ASTM, 1995.
- [35] «asientos de los autobuses,» REDACCIÓN SDPNOTICIAS., 7 Julio 2016. [En línea]. Available: <http://www.sdpnoticias.com/estilo-de-vida/2016/07/07/para-esto-sirven-las-fundas-en-los-asientos-de-los-autobuses>. [Último acceso: 13 Marzo 2017].
- [36] «Módulo de Young,» Wikipedia, 15 Enero 2016. [En línea]. Available: [https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo\\_de\\_Young](https://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%B3dulo_de_Young). [Último acceso: 2 Febrero 2017].
- [37] J. L. De la Cruz Oré, «¿Qué significan los grados de libertad?,» *Revista Peruana de Epidemiología*, vol. XVII, nº 2, pp. 1-6, Lima - Perú, 2013.
- [38] A. O. Jácome Aguiño, "*Estudio de la configuración estructural de los materiales compuestos sintéticos estratificados de matriz epoxi y su influencia en las propiedades mecánicas del fuselaje de los vehículos aéreos no tripulados (UAV) del centro de investigación y desarrollo*", Ing. Tesis, Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica, Universidad Técnica de ambato, Ambato, Ecuador, 2015.
- [39] D. Pinto, «procesamiento del lenguaje natural,» 2010. [En línea]. Available: [dpinto.cs.buap.mx/pln/Autumn2010/tstudenttable.pdf](http://dpinto.cs.buap.mx/pln/Autumn2010/tstudenttable.pdf). [Último acceso: 15 Marzo 2017].

# ANEXOS

**ANEXO A:** Proyecto de investigación planteado por el Ing. Mg Christian Castro & Ing. Mg Cristian Pérez bajo el tema “Análisis y determinación de índices de inflamabilidad de materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas de la ciudad de Ambato”.

**ANEXO B:** Informe técnico de los ensayos a tracción y flexión en materiales compuestos del laboratorio de resistencia de materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P de Tungurahua.

**ANEXO C:** Informe técnico del ensayo a tracción en materiales textiles del laboratorio de resistencia de materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero del H.G.P de Tungurahua.

**ANEXO D:** Norma para ensayo de tracción en materiales compuestos ASTM D3039-00.

**ANEXO E:** Norma para ensayo de flexión en materiales compuestos ASTM D7264-07.

**ANEXO F:** Norma para ensayo de impacto en materiales compuestos ASTM D5628-01.

**ANEXO G:** Norma para ensayo de tracción en materiales textiles ASTM D5035-03.

# ANEXO A



## Universidad Técnica de Ambato Consejo Universitario

Av. Colombia 02-11 y Chile (Cdla. Ingahurco) • Teléfonos: 593 (03) 2521-081 / 2822-960 • Fax: 2521-084  
Ambato - Ecuador

### RESOLUCIÓN: 0909-CU-P-2016

El Honorable Consejo Universitario de la Universidad Técnica de Ambato, en sesión ordinaria efectuada el martes 17 de mayo del 2016, vista la Resolución CONIN-P-055-2016, de mayo 4 de 2016, suscrita por la Doctora Adriana Reinoso Núñez, Presidenta del Consejo de Investigación, remitiendo para aprobación el Proyecto de Investigación "ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE INFLAMABILIDAD DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS DE LA CIUDAD DE AMBATO", elaborado por un Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica; en base a los artículos 1, 3 y demás pertinentes del Reglamento de la Dirección de Investigación y Desarrollo de la Universidad Técnica de Ambato, el literal b) del artículo 59 del Estatuto Universitario, y demás normativa legal aplicable para el efecto; y, en uso de sus atribuciones contempladas en el artículo 21 *ibídem*;

### RESUELVE:

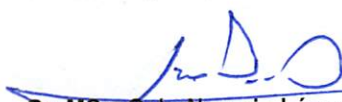
1. Aprobar el Proyecto de Investigación "ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE ÍNDICES DE INFLAMABILIDAD DE MATERIALES UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DEL INTERIOR DE CARROCERÍAS METALMECÁNICAS DE LA CIUDAD DE AMBATO", elaborado por un Docente Investigador de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de acuerdo al siguiente detalle:

Coordinador:	Ing. Christian Castro
Investigación:	Aplicada
Duración:	Doce (12) meses
Financiamiento solicitado DIDE:	\$ 11.400,00 (DIDE)
Financiamiento contraparte:	\$ 19.200,00
Monto total financiamiento:	\$ 30.600,00

2. Autorizar lo siguiente para el mencionado Proyecto de Investigación:

- La elaboración y suscripción del contrato correspondiente a la ejecución del mismo
- La elaboración y suscripción del contrato respectivo con la Dra. María de la Caridad García responsable del Proyecto.
- La asignación total de USD 11.400,00 para la ejecución del Proyecto
- Que el presente Proyecto de Investigación sea ejecutado con Fondos de Investigación del 2016.

Ambato mayo 17, 2016

  
Dr. MSc. Galo Naranjo López  
PRESIDENTE DEL H. CONSEJO  
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



  
Ab. MSc. José Romo Santana  
SECRETARIO GENERAL



**Instrucciones:** El siguiente formulario deberá ser llenado empleando letra tipo Times New Roman de 10 puntos, a espacio sencillo, en hojas tamaño A4, manteniendo un margen de 2,5 cm por lado. Si en alguna de las tablas del formulario requiere de más filas, puede crearlas, sin embargo, debe tener en consideración los límites de texto que puede ingresar en algunas secciones del formulario.

CÓDIGO

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN SEMILLA

### A. DATOS GENERALES DEL PROYECTO

#### TÍTULO

*Análisis y determinación de índices de inflamabilidad de materiales utilizados en la fabricación del interior de carrocerías metalmecánicas de la ciudad de Ambato.*

#### TIPOLOGÍA

Investigación Básica

Investigación Aplicada

Investigación Experimental

#### ÁREA TEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN EN EL QUE TENDRÁ IMPACTO EL PROYECTO

Facultad	<i>Ingeniería Civil y Mecánica</i>
Carrera	<i>Ingeniería Mecánica</i>
Área de conocimiento	<i>52 Ingeniería y profesiones afines</i>
Línea de Investigación	<i>Sistemas de Control</i>
Programa de Investigación	<i>Seguridad y prevención de riesgos laborales. Calidad de procesos productivos y de servicios.</i>

#### TIEMPO DE EJECUCIÓN DEL PROYECTO

Duración del proyecto en meses *12 meses*

#### FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO

Monto total del financiamiento proyecto	<i>30600, 00 usd</i>
Monto Financiamiento DIDE	<i>11400,00 usd</i>
Monto Financiamiento Contraparte	<i>19200, 00 usd</i>
Monto Financiamiento Instituciones	<i>De ser el caso, ingrese el monto del financiamiento de la Institución auspiciante o coautora</i>

#### EQUIPO DE INVESTIGACIÓN DEL PROYECTO

*Nota: Debe incluirse el mayor grado académico afín al tema del proyecto que poseen los integrantes del grupo de investigación.*

Coordinador	<i>Ingeniero Mecánico Magister en Diseño Mecánico</i>
Investigador	<i>Ingeniero Mecánico Magister en Diseño Mecánico</i>
Auxiliar de Investigación	<i>Estudiantes Ingeniería Mecánica</i>

# ANEXO B



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

## LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME N°: A1- 180459037820170104-ETC

**Designación del material:** Materiales compuestos de resina reforzada con fibra de vidrio.

**Método de ensayo:** ASTM D3039-2015.

**Empresa / Cliente:** Sr. Daniel Federico Castro Chico.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 12 de enero de 2017.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 12 de enero de 2017.

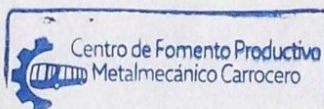
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

### Número de Probetas cuantificadas

N°	Descripción	Fracción volumétrica de Resina	Fracción volumétrica de Fibra de vidrio	Dirección de las fibras	Cantidad
1	Techo	70%	30%	Aleatorio discontinuo	5
2	Lateral	80%	20%	Aleatorio discontinuo	5
				<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

**Nota:** El proceso de fabricación para la elaboración de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio se las realizó con la configuración aleatoria discontinuo.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza Chacón	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC	Director Técnico de Pruebas e Inspecciones CFPMC



Ambato, 30 Enero de 2017.  
N° Factura. 001-002-000002123





Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Resultados:**

Muestra	Identificación de muestra	Temperatura y humedad	Dimensiones	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de Rotura (MPa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
1	180459037820170111-ETC-01-1	21°C, 68%	a=24,61 ;c=2,20	4477,82	3,03	82,09	2983,43	2,91	LGM
2	180459037820170111-ETC-01-2	21°C, 68%	a=24,64 ;c=2,21	4593,00	2,06	84,35	2762,43	3,12	LGM
3	180459037820170111-ETC-01-3	21°C, 68%	a=24,83 ;c=2,19	5140,49	3,34	94,50	2872,93	3,13	LIT
4	180459037820170111-ETC-01-4	21°C, 68%	a=24,63 ;c=2,16	4826,51	2,08	89,89	2053,04	3,35	LIT
5	180459037820170111-ETC-01-5	21°C, 68%	a=24,75 ;c=2,18	5127,87	3,25	95,04	3093,92	3,39	LGM
6	180459037820170111-ETC-02-1	21°C, 65%	a=24,60 ;c=2,77	4419,44	1,99	64,86	1906,04	3,30	LGM
7	180459037820170111-ETC-02-2	21°C, 65%	a=24,68 ;c=2,81	4763,40	2,05	67,98	1806,92	3,16	LGM
8	180459037820170111-ETC-02-3	21°C, 65%	a=24,60 ;c=2,77	4072,32	2,59	59,74	1886,92	3,18	LGM
9	180459037820170111-ETC-02-4	21°C, 65%	a=24,59 ;c=2,65	4851,76	2,76	74,21	2065,05	3,25	LIT
10	180459037820170111-ETC-02-5	21°C, 65%	a=24,85 ;c=3,00	4578,80	2,45	61,02	1935,98	2,75	LGM

**Nomenclatura:**

De tipo de falla evaluado: El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D3039-2015.

Primer caracter	Segundo caracter	Tercer caracter
L	A	T
L	I	T
A	G	M

**Otra nomenclatura:**

NR: La máquina no registra valores.

NA: No aplica.

**Reemplaza:** Este informe sustituye y deja sin validez a los resultados presentados en el informe de materiales compuestos N° 180459037820170104-ETC de fecha 18 de Enero de 2017, correspondiente a la factura 001-002-000002123.

Código: RG-RM-002

Fecha de Elaboración: 13-06-2016

Fecha de última aprobación: 28-11-2016

Revisión: 4

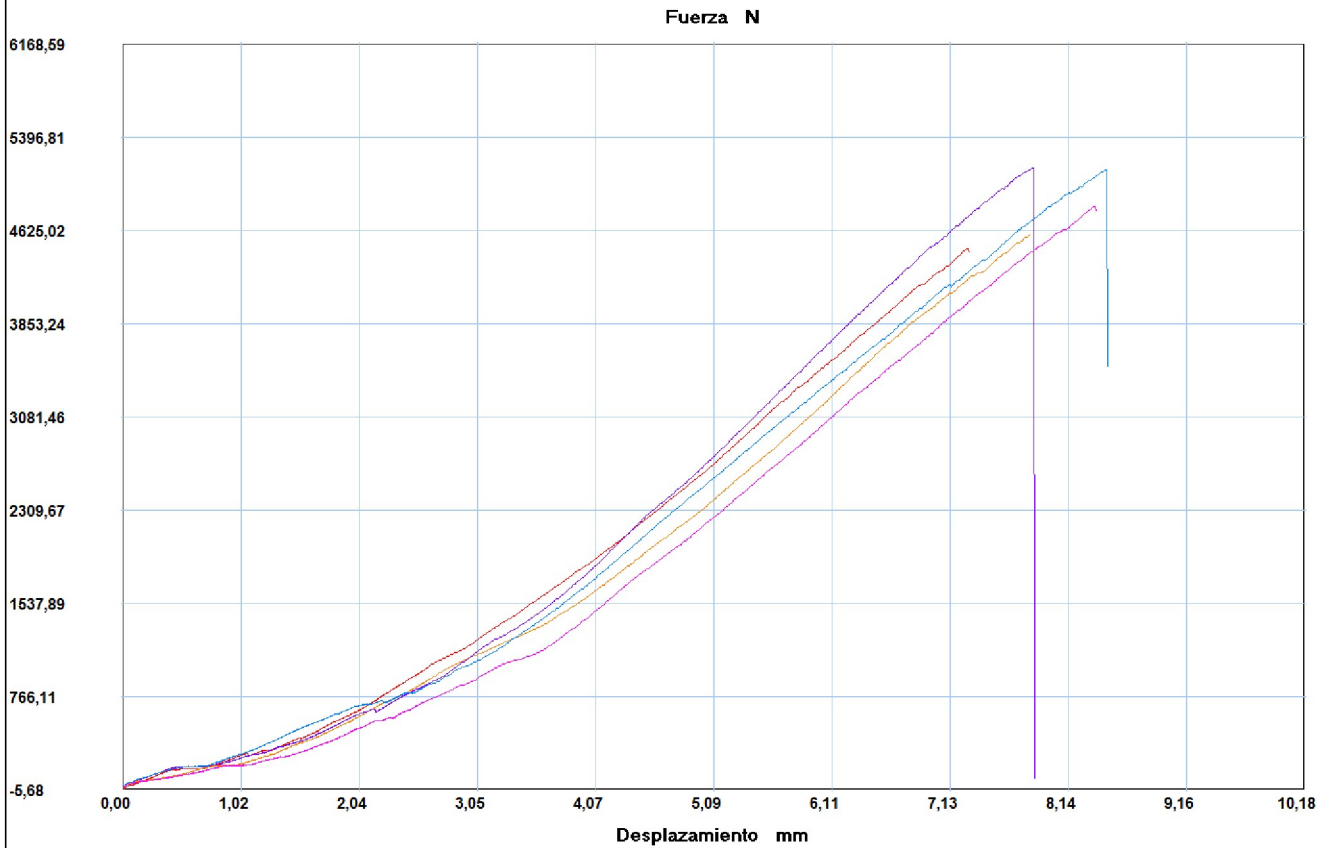
INFORME DE ENSAYO DE  
TRACCIÓN MATERIALES  
COMPUESTOS

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETC-01**  
**TRACCION**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D3039  
 Fecha : 12/01/2017  
 Hora : 14:51:42  
 Temperatura : 21  
 H.R.% : 68  
 Pedido : 180459037820170104



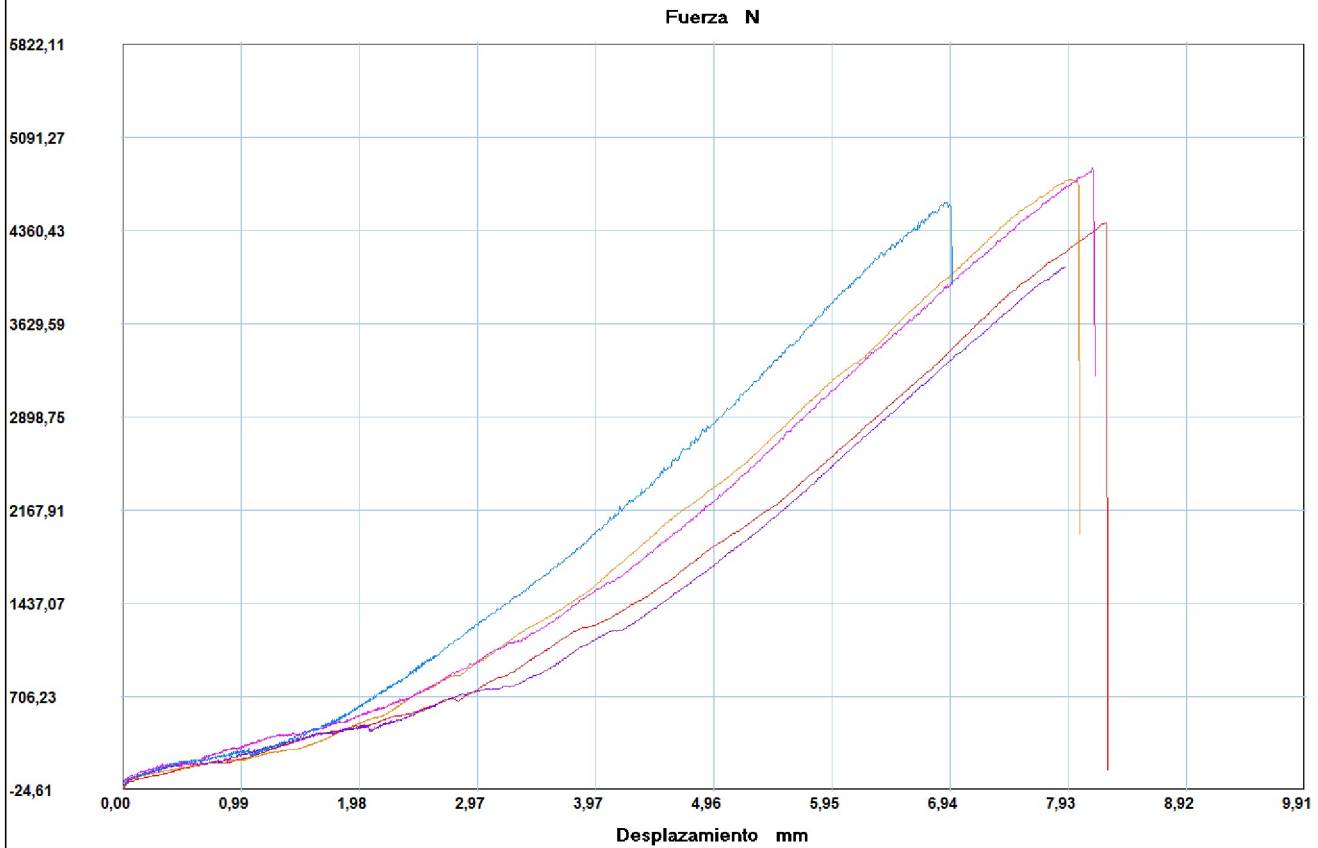
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	4477,82	164,09	4444,68	82,71	3,03	82,09
2	4593,00	112,02	4593,00	84,35	2,06	84,35
3	5140,49	181,45	5138,92	94,53	3,34	94,50
4	4826,51	110,45	4782,33	90,72	2,08	89,89
5	5127,87	175,14	5127,87	95,04	3,25	95,04
<b>Media</b>	<b>4833,138</b>	<b>148,630</b>	<b>4817,360</b>	<b>89,469</b>	<b>2,749</b>	<b>89,175</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>302,197</b>	<b>34,702</b>	<b>312,359</b>	<b>5,706</b>	<b>0,633</b>	<b>5,848</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,063</b>	<b>0,233</b>	<b>0,065</b>	<b>0,064</b>	<b>0,230</b>	<b>0,066</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>5739,730</b>	<b>252,736</b>	<b>5754,437</b>	<b>106,588</b>	<b>4,649</b>	<b>106,718</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETC-02**  
**TRACCION**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D3039  
 Fecha : 12/01/2017  
 Hora : 15:34:43  
 Temperatura : 21  
 H.R.% : 65  
 Pedido : 180459037820170104



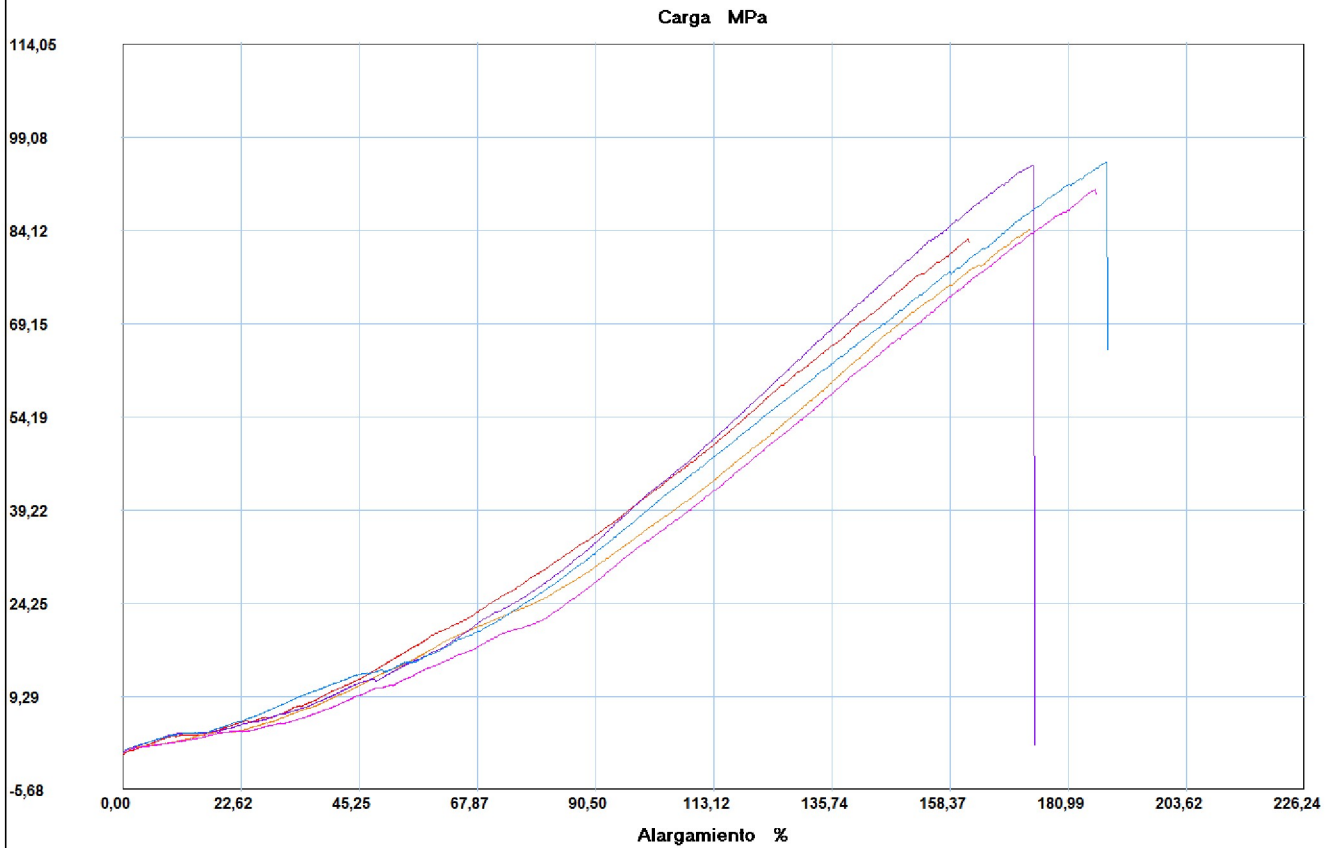
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	4419,44	135,69	4419,44	64,86	1,99	64,86
2	4763,40	142,00	4714,49	68,69	2,05	67,98
3	4072,32	176,71	4070,74	59,76	2,59	59,74
4	4851,76	179,87	4835,98	74,46	2,76	74,21
5	4578,80	183,02	4548,82	61,42	2,45	61,02
<b>Media</b>	<b>4537,144</b>	<b>163,458</b>	<b>4517,894</b>	<b>65,836</b>	<b>2,369</b>	<b>65,561</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>308,960</b>	<b>22,689</b>	<b>295,984</b>	<b>5,911</b>	<b>0,338</b>	<b>5,826</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,068</b>	<b>0,139</b>	<b>0,066</b>	<b>0,090</b>	<b>0,143</b>	<b>0,089</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>5464,025</b>	<b>231,525</b>	<b>5405,845</b>	<b>83,569</b>	<b>3,383</b>	<b>83,038</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETC-01**  
**TRACCION**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D3039  
 Fecha : 12/01/2017  
 Hora : 14:51:42  
 Temperatura : 21  
 H.R.% : 68  
 Pedido : 180459037820170104



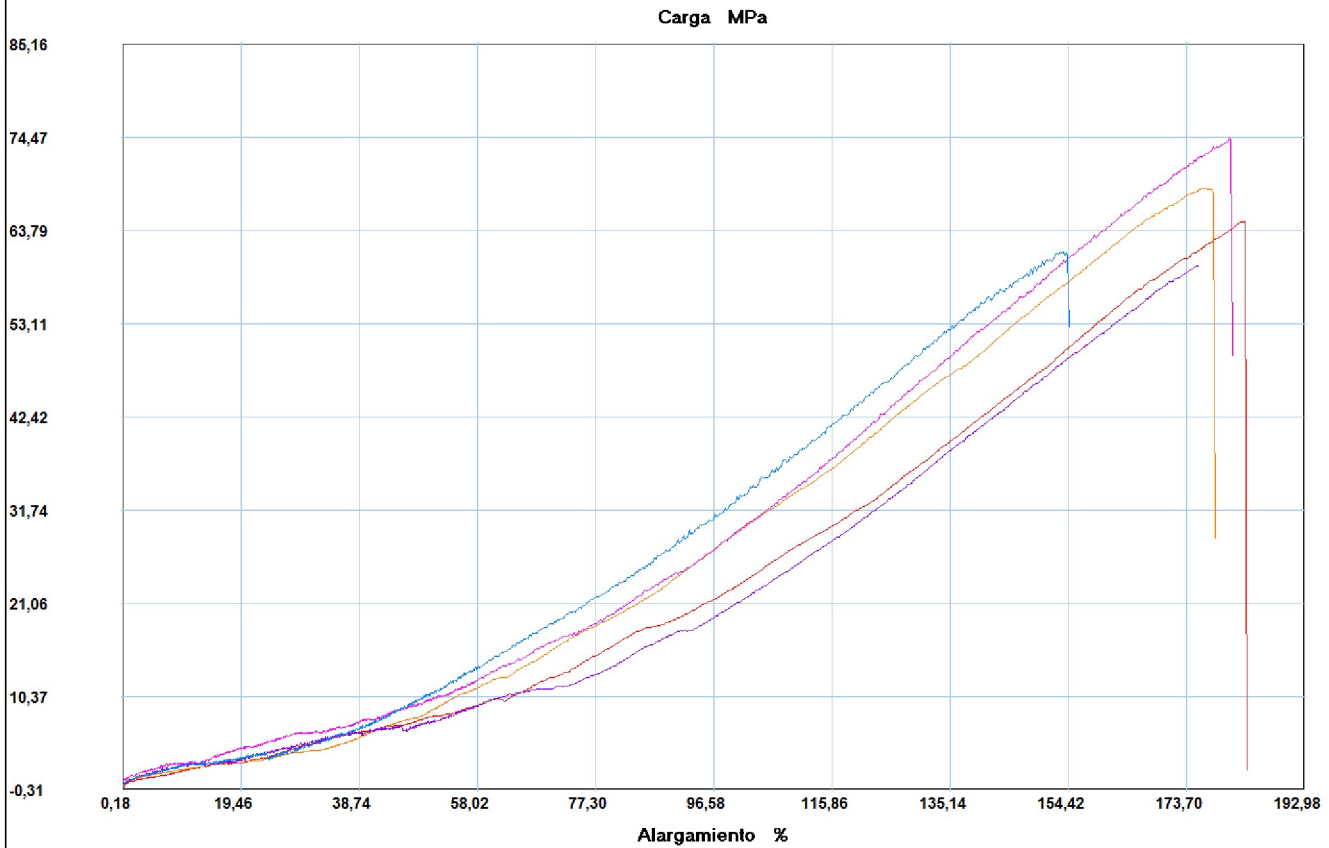
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	4477,82	164,09	4444,68	82,71	3,03	82,09
2	4593,00	112,02	4593,00	84,35	2,06	84,35
3	5140,49	181,45	5138,92	94,53	3,34	94,50
4	4826,51	110,45	4782,33	90,72	2,08	89,89
5	5127,87	175,14	5127,87	95,04	3,25	95,04
<b>Media</b>	<b>4833,138</b>	<b>148,630</b>	<b>4817,360</b>	<b>89,469</b>	<b>2,749</b>	<b>89,175</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>302,197</b>	<b>34,702</b>	<b>312,359</b>	<b>5,706</b>	<b>0,633</b>	<b>5,848</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,063</b>	<b>0,233</b>	<b>0,065</b>	<b>0,064</b>	<b>0,230</b>	<b>0,066</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>5739,730</b>	<b>252,736</b>	<b>5754,437</b>	<b>106,588</b>	<b>4,649</b>	<b>106,718</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETC-02**  
**TRACCION**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D3039  
 Fecha : 12/01/2017  
 Hora : 15:34:43  
 Temperatura : 21  
 H.R.% : 65  
 Pedido : 180459037820170104



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	4419,44	135,69	4419,44	64,86	1,99	64,86
2	4763,40	142,00	4714,49	68,69	2,05	67,98
3	4072,32	176,71	4070,74	59,76	2,59	59,74
4	4851,76	179,87	4835,98	74,46	2,76	74,21
5	4578,80	183,02	4548,82	61,42	2,45	61,02
<b>Media</b>	<b>4537,144</b>	<b>163,458</b>	<b>4517,894</b>	<b>65,836</b>	<b>2,369</b>	<b>65,561</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>308,960</b>	<b>22,689</b>	<b>295,984</b>	<b>5,911</b>	<b>0,338</b>	<b>5,826</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,068</b>	<b>0,139</b>	<b>0,066</b>	<b>0,090</b>	<b>0,143</b>	<b>0,089</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>5464,025</b>	<b>231,525</b>	<b>5405,845</b>	<b>83,569</b>	<b>3,383</b>	<b>83,038</b>

## Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	80,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	45000,00	N
Limite Desplazamiento	=	40,00	mm
Stop Ext	=	10,00	mm

## Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	40,00	mm/min
Posicionamiento	=	100,00	mm/min



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS**  
**INFORME N°: A1 - 180459037820170104-EFC**

**Designación del material:** Materiales compuestos de resina reforzada con fibra de vidrio.

**Método de ensayo:** ASTM D7264-2015.

**Empresa / Cliente:** Sr. Daniel Federico Castro Chico.

**Fecha de Inicio de Ensayo:** 13 de enero de 2017.

**Fecha de Finalización de Ensayo:** 13 de enero de 2017.

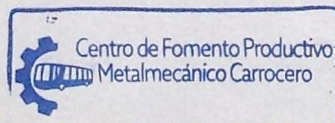
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Descripción	Fracción volumétrica de Resina	Fracción volumétrica de Fibra de vidrio	Distancia entre apoyos (mm)	Dirección de las fibras	Cantidad
1	Techo	70%	30%	70	Aleatorio discontinuo	5
2	Lateral	80%	20%	90	Aleatorio discontinuo	5
					<b>TOTAL</b>	<b>10</b>

**Nota:** El proceso de fabricación para la elaboración de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra de vidrio se las realizó con la configuración aleatoria discontinuo.

<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>
Ing. Fernando Galarza Chacón	Ing. Esteban López Espinel
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



**Ambato, 30 de Enero de 2017.**  
**N°. Factura. 001-002-000002123**



**Resultados**

Muestra	Identificación de muestra	Temperatura y humedad	Dimensiones	Carga máxima (N)	Esfuerzo de Rotura (MPa)	Módulo de flexión (MPa)	Deflexión (mm)	Tipo de falla evaluado
1	180459037820170104-EFC-01-1	17°C, 89%	a=13,09; e=2,17	793,64	27,38	67192,71	11,40	OAB
2	180459037820170104-EFC-01-2	17°C, 89%	a=13,10; e=2,16	899,35	31,06	71827,49	10,927	OAB
3	180459037820170104-EFC-01-3	17°C, 89%	a=12,80; e=2,18	743,15	23,81	51739,89	9,722	OAB
4	180459037820170104-EFC-01-4	17°C, 89%	a=12,56; e=2,15	1014,53	36,93	64202,37	12,058	OBB
5	180459037820170104-EFC-01-5	17°C, 89%	a=12,96; e=2,15	708,43	23,95	37332,49	15,534	OAB
6	180459037820170104-EFC-02-1	17°C, 88%	a=12,72; e=2,71	940,37	24,44	62697,13	12,010	OAB
7	180459037820170104-EFC-02-2	17°C, 88%	a=12,61; e=2,69	850,44	24,89	49023,14	15,708	OAB
8	180459037820170104-EFC-02-3	17°C, 88%	a=12,61; e=2,70	774,70	21,55	42867,21	13,758	OAB
9	180459037820170104-EFC-02-4	17°C, 88%	a=12,89; e=3,00	994,02	24,64	41311,09	11,938	OAB
10	180459037820170104-EFC-02-5	17°C, 88%	a=12,65; e=2,70	869,37	24,95	51968,97	14,709	OAB

**Nomenclatura:**

**De tipo de falla evaluado:** El tipo de falla evaluado se lo realiza mediante los criterios de la norma ASTM D7264-2015.

Primer caracter	Otros	Segundo caracter	Tercer caracter
O		A	B
		En el punto de carga	Fondo

**Reemplaza:** Este informe sustituye y deja sin validez a los resultados presentados en el informe de materiales compuestos N° 180459037820170104-EFC de fecha 18 de Enero de 2017, correspondiente a la factura 001-002-000002123.

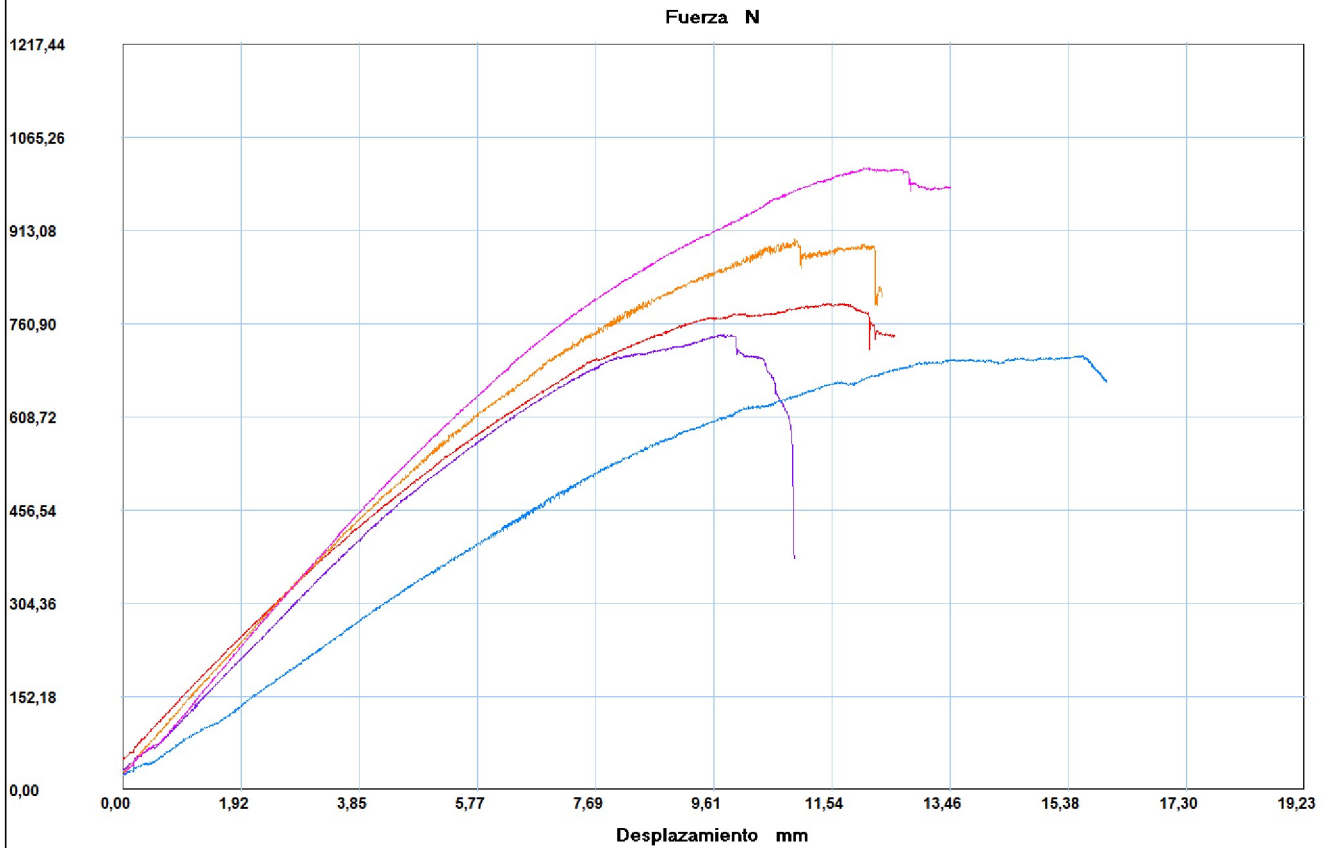


**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**EFC-01**  
**FLEXION 3P**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D7264  
 Fecha : 13/01/2017  
 Hora : 9:53:33  
 Temperatura : 17  
 H.R.% : 89  
 Pedido : 180459037820170104



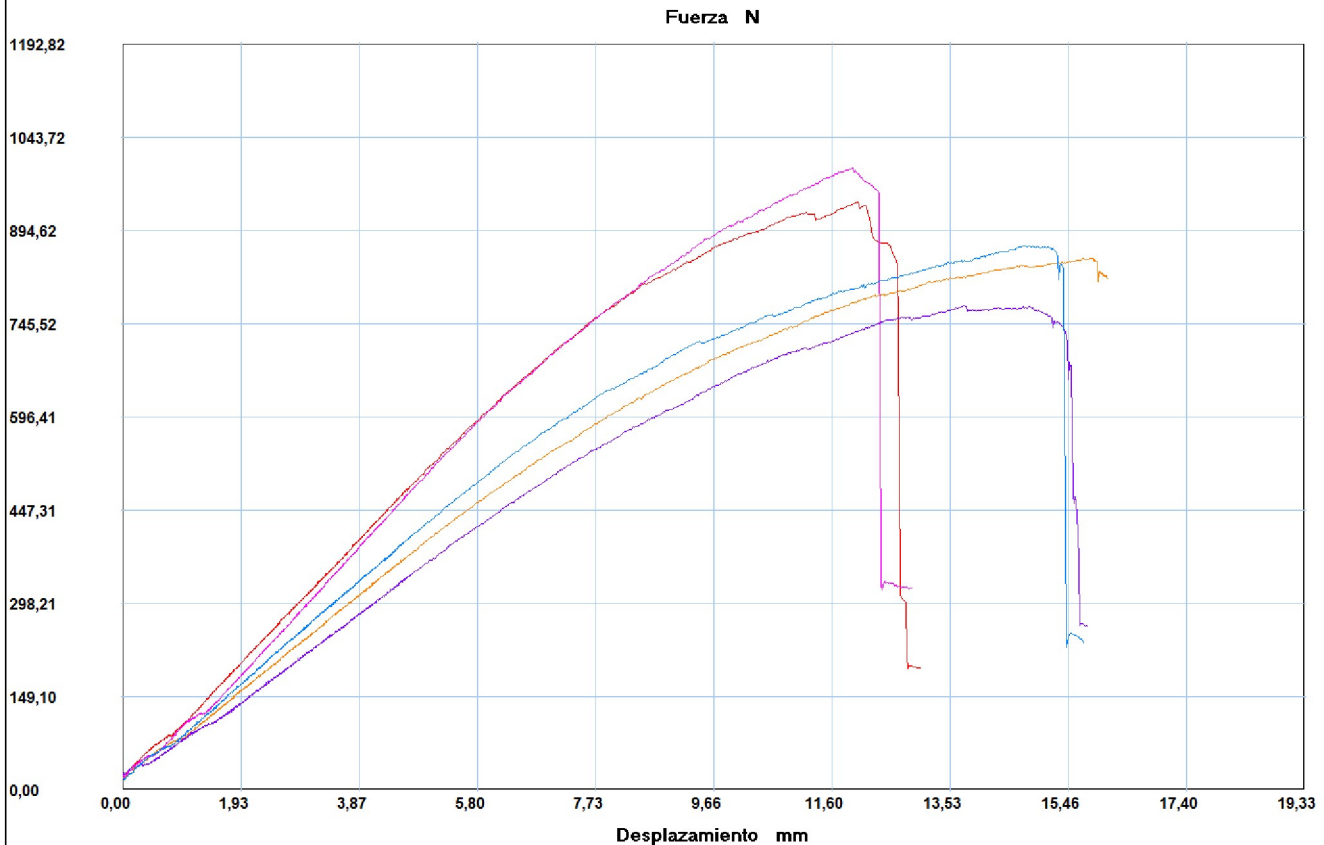
Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	793,64	777,86	27,94	27,38	67192,71
2	899,35	878,84	31,78	31,06	71827,49
3	743,15	664,26	26,63	23,81	51739,89
4	1014,53	997,17	37,57	36,93	64202,37
5	708,43	667,41	25,42	23,95	37332,49
<b>Media</b>	<b>831,820</b>	<b>797,108</b>	<b>29,870</b>	<b>28,625</b>	<b>58458,991</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>124,988</b>	<b>142,781</b>	<b>4,922</b>	<b>5,510</b>	<b>13959,371</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,150</b>	<b>0,179</b>	<b>0,165</b>	<b>0,192</b>	<b>0,239</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>1206,785</b>	<b>1225,451</b>	<b>44,637</b>	<b>45,156</b>	<b>100337,100</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**EFC-02**  
**FLEXION 3P**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D7264  
 Fecha : 13/01/2017  
 Hora : 11:16:10  
 Temperatura : 17  
 H.R.% : 88  
 Pedido : 180459037820170104



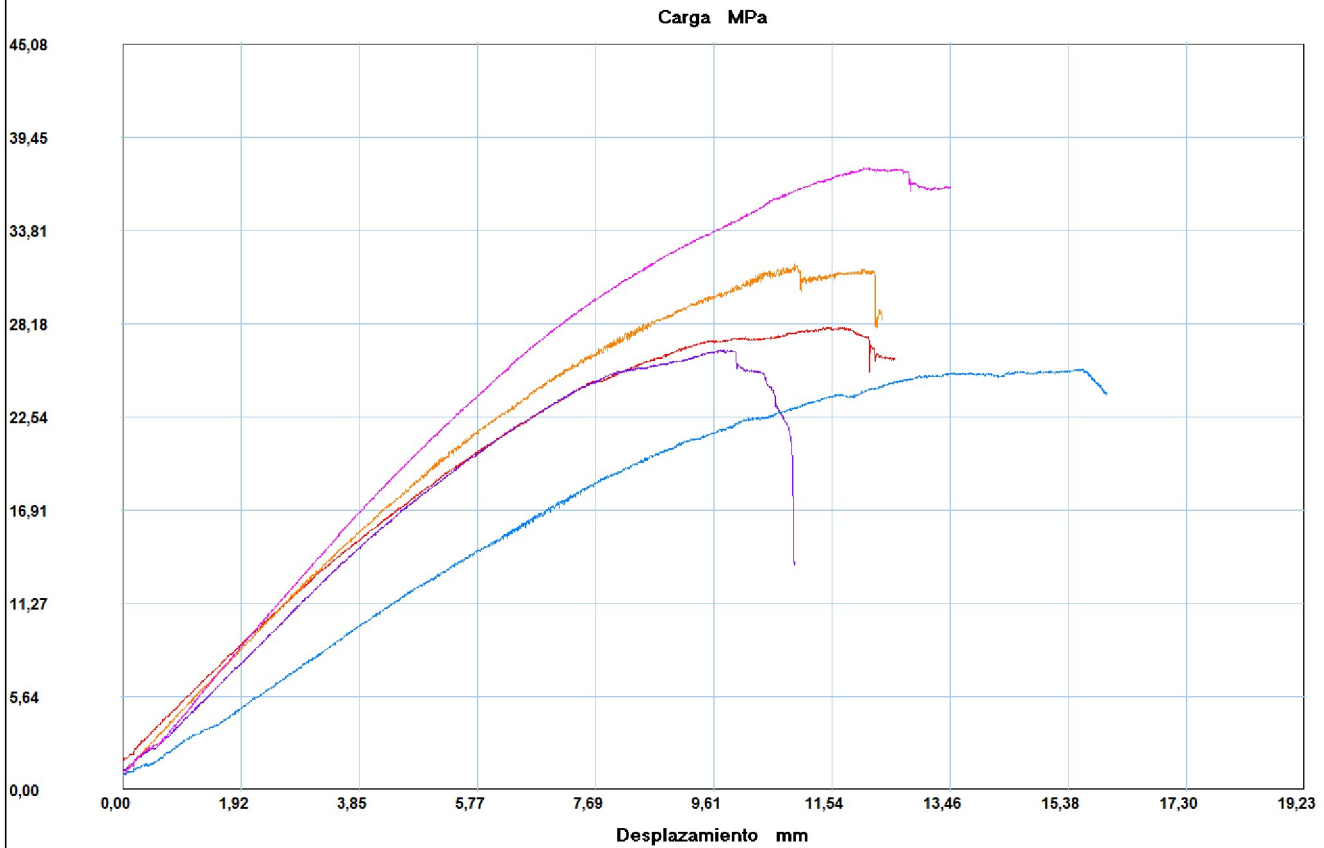
Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	940,37	842,55	27,28	24,44	62697,13
2	850,44	844,13	25,07	24,89	49023,14
3	774,70	733,68	22,75	21,55	42867,21
4	994,02	952,99	25,71	24,64	41311,09
5	869,37	852,01	25,45	24,95	51968,97
<b>Media</b>	<b>885,780</b>	<b>845,072</b>	<b>25,253</b>	<b>24,093</b>	<b>49573,508</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>84,488</b>	<b>77,637</b>	<b>1,630</b>	<b>1,436</b>	<b>8536,869</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,095</b>	<b>0,092</b>	<b>0,065</b>	<b>0,060</b>	<b>0,172</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>1139,244</b>	<b>1077,982</b>	<b>30,144</b>	<b>28,402</b>	<b>75184,115</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**EFC-01**  
**FLEXION 3P**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D7264  
 Fecha : 13/01/2017  
 Hora : 9:53:33  
 Temperatura : 17  
 H.R.% : 89  
 Pedido : 180459037820170104



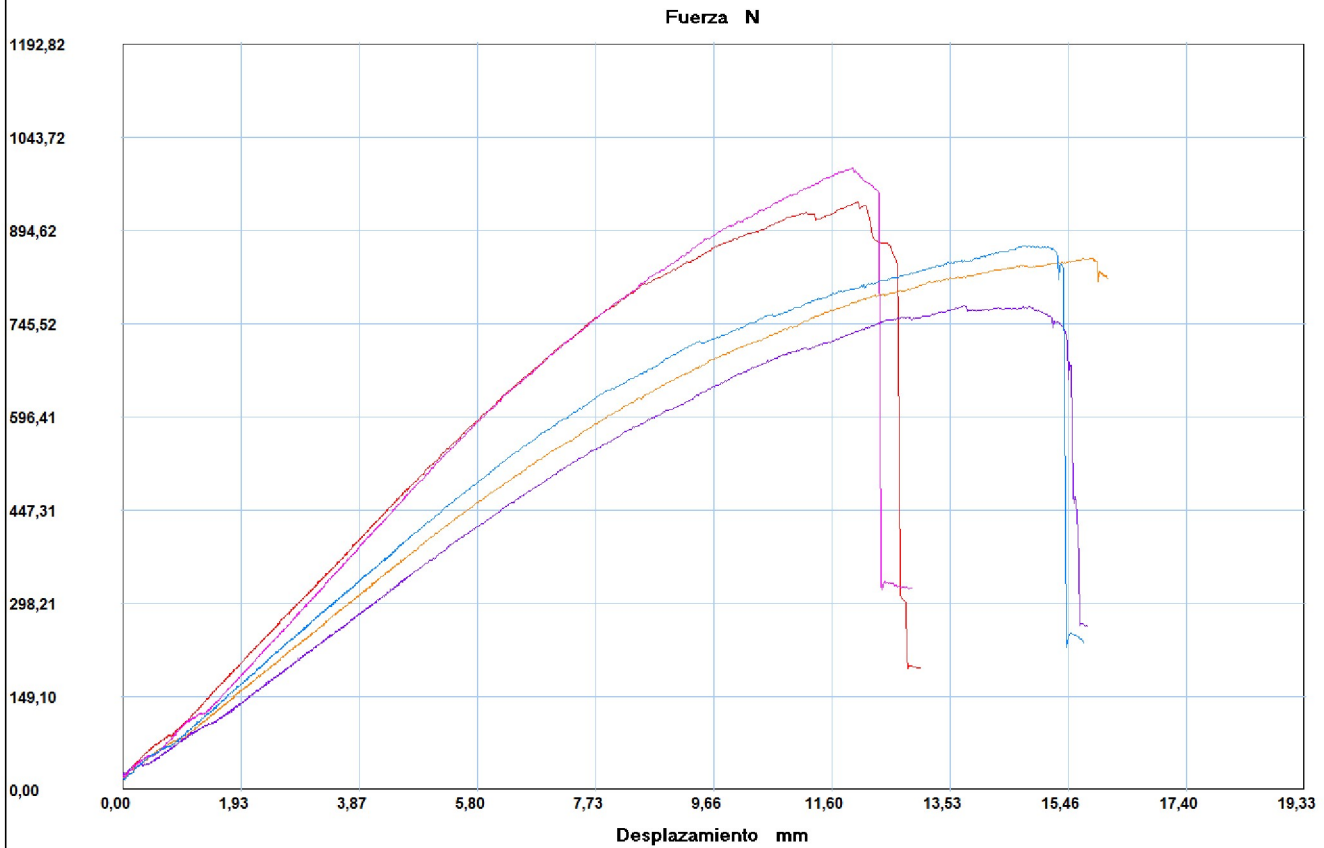
Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	793,64	777,86	27,94	27,38	67192,71
2	899,35	878,84	31,78	31,06	71827,49
3	743,15	664,26	26,63	23,81	51739,89
4	1014,53	997,17	37,57	36,93	64202,37
5	708,43	667,41	25,42	23,95	37332,49
<b>Media</b>	<b>831,820</b>	<b>797,108</b>	<b>29,870</b>	<b>28,625</b>	<b>58458,991</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>124,988</b>	<b>142,781</b>	<b>4,922</b>	<b>5,510</b>	<b>13959,371</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,150</b>	<b>0,179</b>	<b>0,165</b>	<b>0,192</b>	<b>0,239</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>1206,785</b>	<b>1225,451</b>	<b>44,637</b>	<b>45,156</b>	<b>100337,100</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**EFC-02**  
**FLEXION 3P**



Referencia : MATERIAL COMPUESTO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D7264  
 Fecha : 13/01/2017  
 Hora : 11:16:10  
 Temperatura : 17  
 H.R.% : 88  
 Pedido : 180459037820170104



Probeta	FMax N	FRot N	CMax MPa	CRot MPa	ModFlex MPa
1	940,37	842,55	27,28	24,44	62697,13
2	850,44	844,13	25,07	24,89	49023,14
3	774,70	733,68	22,75	21,55	42867,21
4	994,02	952,99	25,71	24,64	41311,09
5	869,37	852,01	25,45	24,95	51968,97
<b>Media</b>	<b>885,780</b>	<b>845,072</b>	<b>25,253</b>	<b>24,093</b>	<b>49573,508</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>84,488</b>	<b>77,637</b>	<b>1,630</b>	<b>1,436</b>	<b>8536,869</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,095</b>	<b>0,092</b>	<b>0,065</b>	<b>0,060</b>	<b>0,172</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>1139,244</b>	<b>1077,982</b>	<b>30,144</b>	<b>28,402</b>	<b>75184,115</b>

## Parametros

Precarga	=	0,00	N
Caida %	=	80,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	45000,00	N
Limite Desplazamiento	=	20,00	mm

## Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	40,00	mm/min
Posicionamiento	=	200,00	mm/min

## Cálculos

Distancia Apoyos	=	90,00	mm
------------------	---	-------	----

# ANEXO C



## LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES TEXTILES INFORME N°: A1-180459037820170217-ETMT

**Dirección de laboratorio:** Toronto y Canada.  
**Designación del material:** Materiales textiles.  
**Método de ensayo:** ASTM D5035-11.  
**Empresa / Cliente:** Sr. Daniel Federico Castro Chico.  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 22 de Febrero de 2017.  
**Fecha de Finalización de Ensayo:** 22 de Febrero de 2017.

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en muestras de materiales compuestos. Las muestras fueron entregadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

### Número de Probetas cuantificadas.

N°	Material	Orientación	Cantidad
1	Pranna Poliéster Flexible.	PL(Plano a lo largo)	5
2	Pranna Poliéster Flexible.	PA(Plano a lo ancho)	5
3	Textil a base de vinilo para piso.	-	5

### Configuración del ensayo:

*Tipo de muestra:* Prueba de tiras de corte 1C-25 mm (1,0 pulg).

*Tipo de máquina para el ensayo de tracción:* T- Tasa de desplazamiento constante (CRT).

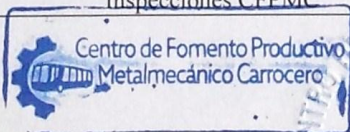
*Combinación identificada para el ensayo:* (1C-T)

*Tamaño de las caras de mandíbula usadas:* Ancho= 42mm; Alto= 53mm

*Tipo de relleno utilizado en las mordazas, modificación de la muestra en las mandíbulas, o modificación de las caras de la mandíbula, si alguna:* Las probetas fueron acolchadas en sus dos extremos superior e inferior con una lengüeta de (80 x 25) mm del mismo material.

*Precarga:* En todos los ensayos se utiliza una precarga de 20N.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC



**Ambato, 13 de Marzo de 2017.**  
**N°. Factura. 001-002-000002291**



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**Resultados:**

Muestra	Identificación de muestra	Temperatura y humedad	Dimensiones	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo de Rotura (MPa)	% Elongación (Calculado)	Tiempo de falla (seg)
1	180459037820170217-ETMT-01-1	16°C, 86%	a=25,80 ; e=0,87	503,56	13,23	22,43	111,51%	22
2	180459037820170217-ETMT-01-2	16°C, 86%	a=25,84 ; e=0,90	475,69	13,32	20,45	101,21%	21
3	180459037820170217-ETMT-01-3	16°C, 86%	a=25,13 ; e=0,91	457,40	10,44	20,00	124,09%	25
4	180459037820170217-ETMT-01-4	16°C, 86%	a=25,91 ; e=0,91	427,02	9,08	18,06	110,94%	22
5	180459037820170217-ETMT-01-5	16°C, 86%	a=25,81 ; e=0,96	464,45	9,73	18,74	123,93%	23
6	180459037820170217-ETMT-02-1	16°C, 84%	a=25,40 ; e=0,95	281,32	1,72	11,66	125,31%	27
7	180459037820170217-ETMT-02-2	16°C, 84%	a=24,96 ; e=0,90	271,75	1,63	12,10	126,38%	28
8	180459037820170217-ETMT-02-3	16°C, 84%	a=25,07 ; e=0,92	310,36	1,64	13,46	134,23%	28
9	180459037820170217-ETMT-02-4	16°C, 84%	a=25,61 ; e=0,93	281,15	1,68	11,80	128,41%	28
10	180459037820170217-ETMT-02-5	16°C, 84%	a=25,41 ; e=0,88	308,68	1,57	13,75	143,34%	30
11	180459037820170217-ETMT-03-1	21°C, 61%	a=24,64 ; e=2,07	319,93	1,86	6,02	267,88%	52
12	180459037820170217-ETMT-03-2	21°C, 61%	a=24,92 ; e=1,05	321,10	1,96	6,27	243,59%	50
13	180459037820170217-ETMT-03-3	21°C, 61%	a=25,68 ; e=2,09	279,31	1,59	5,19	250,02%	50
14	180459037820170217-ETMT-03-4	21°C, 61%	a=24,43 ; e=2,10	254,29	1,46	4,72	262,40%	50
15	180459037820170217-ETMT-03-5	21°C, 61%	a=25,95 ; e=2,05	343,26	1,74	6,44	323,45%	65

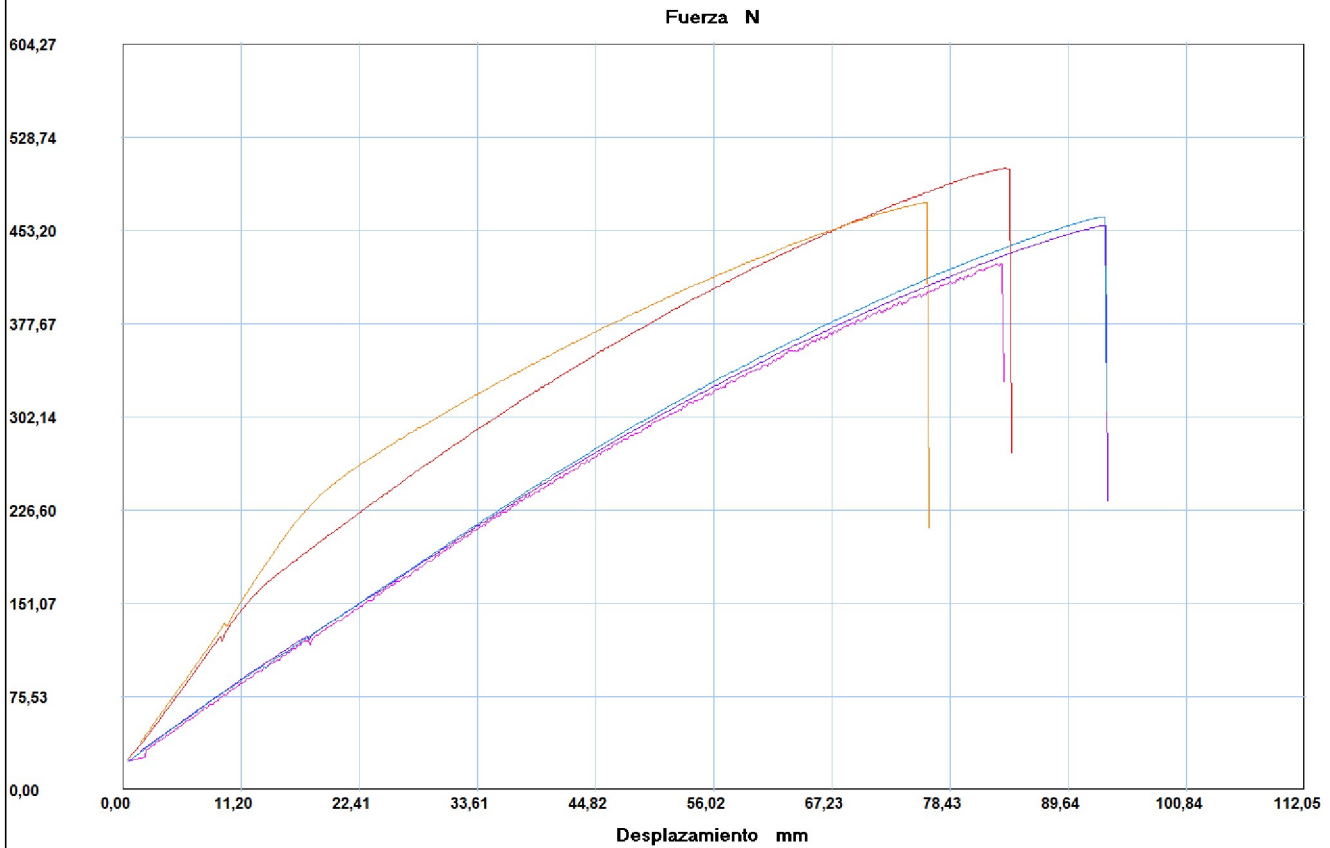
**Reemplaza:** Este informe sustituye y deja sin validez a los resultados presentados en el informe de materiales compuestos N° 180459037820170217-ETMT de fecha 22 de Enero de 2017, correspondiente a la factura 001-002-000002291. Basado en el documento RG-RM-002.

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETTM 01**  
**TRACCION**



Referencia : PRANNA POLIESTER FLE  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D5035  
 Fecha : 22/02/2017  
 Hora : 9:33:58  
 Temperatura : 16  
 H.R.% : 86  
 Pedido : 180459037820170217



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	503,56	503,39	297,94	22,43	13,23	22,43
2	475,69	475,69	310,52	20,45	13,32	20,45
3	457,40	457,40	239,52	20,00	10,44	20,00
4	427,02	425,84	214,18	18,11	9,08	18,06
5	464,45	464,45	241,20	18,74	9,73	18,74
<b>Media</b>	<b>465,624</b>	<b>465,354</b>	<b>260,672</b>	<b>19,949</b>	<b>11,160</b>	<b>19,938</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>27,838</b>	<b>28,191</b>	<b>41,418</b>	<b>1,678</b>	<b>1,987</b>	<b>1,689</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,060</b>	<b>0,061</b>	<b>0,159</b>	<b>0,084</b>	<b>0,178</b>	<b>0,085</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>549,137</b>	<b>549,928</b>	<b>384,926</b>	<b>24,983</b>	<b>17,122</b>	<b>25,005</b>

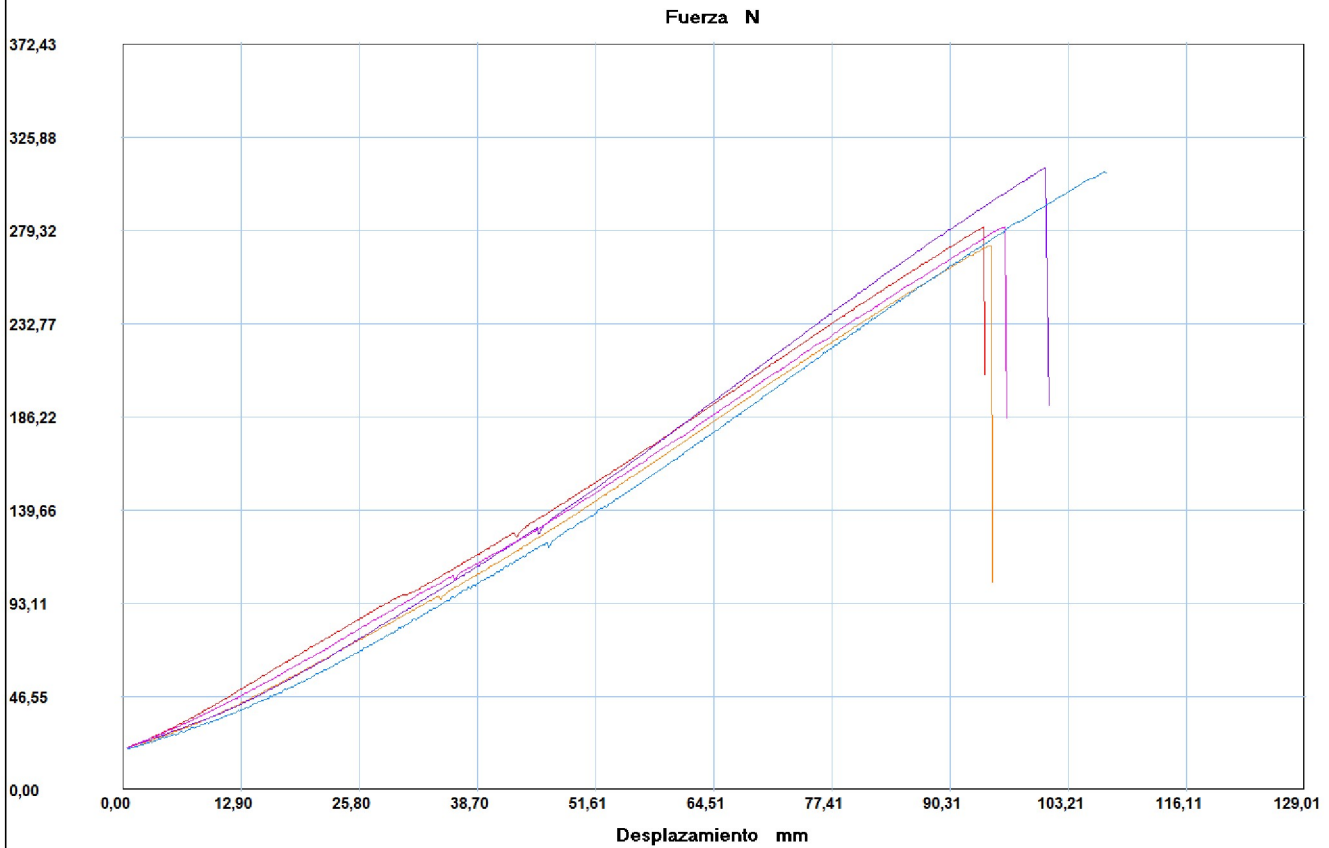


**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETTM 02**  
**TRACCION**



Referencia : PRANNA POLIESTER FLE  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM 5035  
 Fecha : 22/02/2017  
 Hora : 9:52:45  
 Temperatura : 16  
 H.R.% : 84  
 Pedido : 180459037820170217



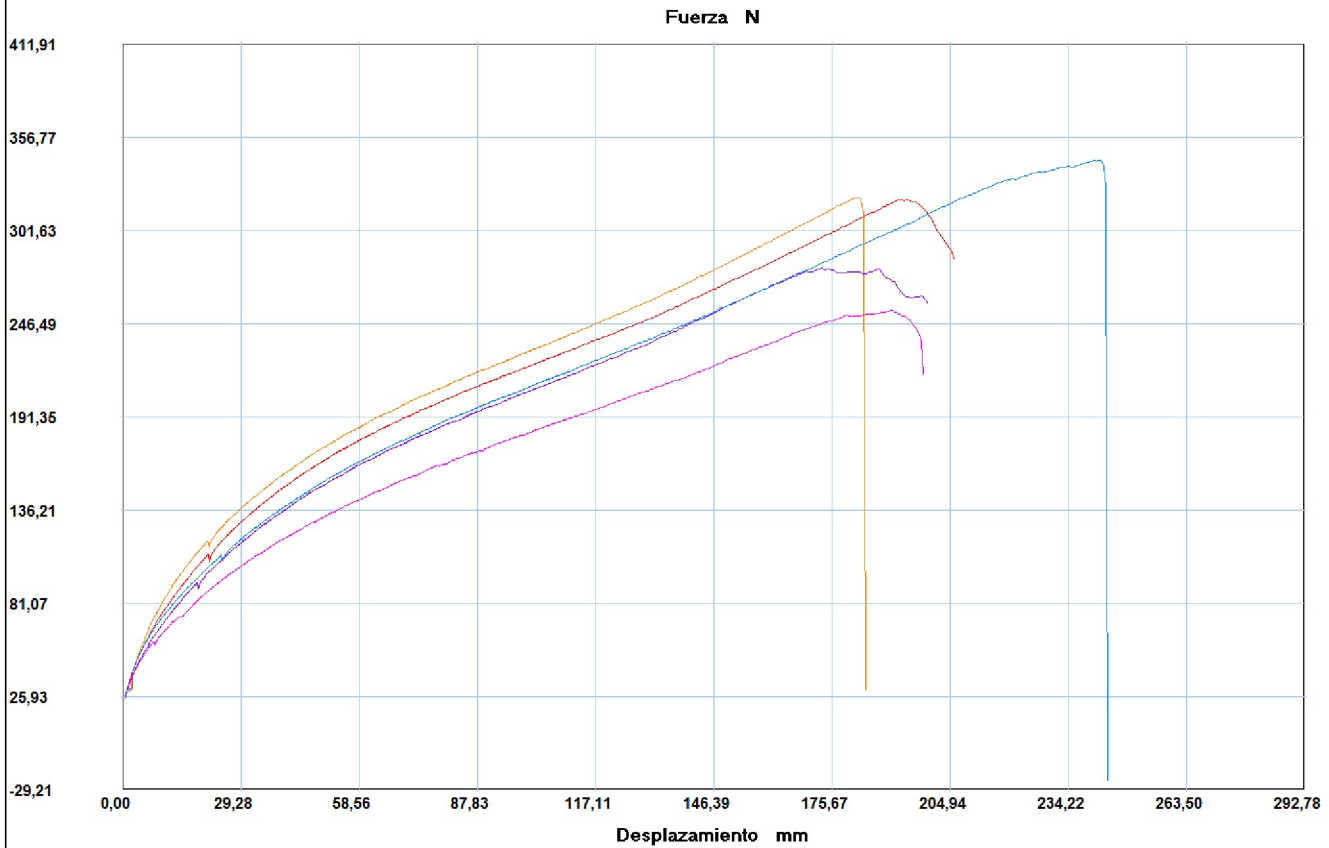
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	281,32	41,46	281,32	11,66	1,72	11,66
2	271,75	36,59	271,75	12,10	1,63	12,10
3	310,36	37,77	310,36	13,46	1,64	13,46
4	281,15	39,95	281,15	11,80	1,68	11,80
5	308,68	35,08	307,50	13,80	1,57	13,75
<b>Media</b>	<b>290,652</b>	<b>38,170</b>	<b>290,416</b>	<b>12,564</b>	<b>1,646</b>	<b>12,554</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>17,664</b>	<b>2,559</b>	<b>17,368</b>	<b>0,994</b>	<b>0,056</b>	<b>0,977</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,061</b>	<b>0,067</b>	<b>0,060</b>	<b>0,079</b>	<b>0,034</b>	<b>0,078</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>343,644</b>	<b>45,847</b>	<b>342,521</b>	<b>15,545</b>	<b>1,814</b>	<b>15,486</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETTM 03**  
**TRACCION**



Referencia : TEXTIL A BASE DE VINIL  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D5035  
 Fecha : 22/02/2017  
 Hora : 10:06:32  
 Temperatura : 21  
 H.R.% : 61  
 Pedido : 180459037820170217



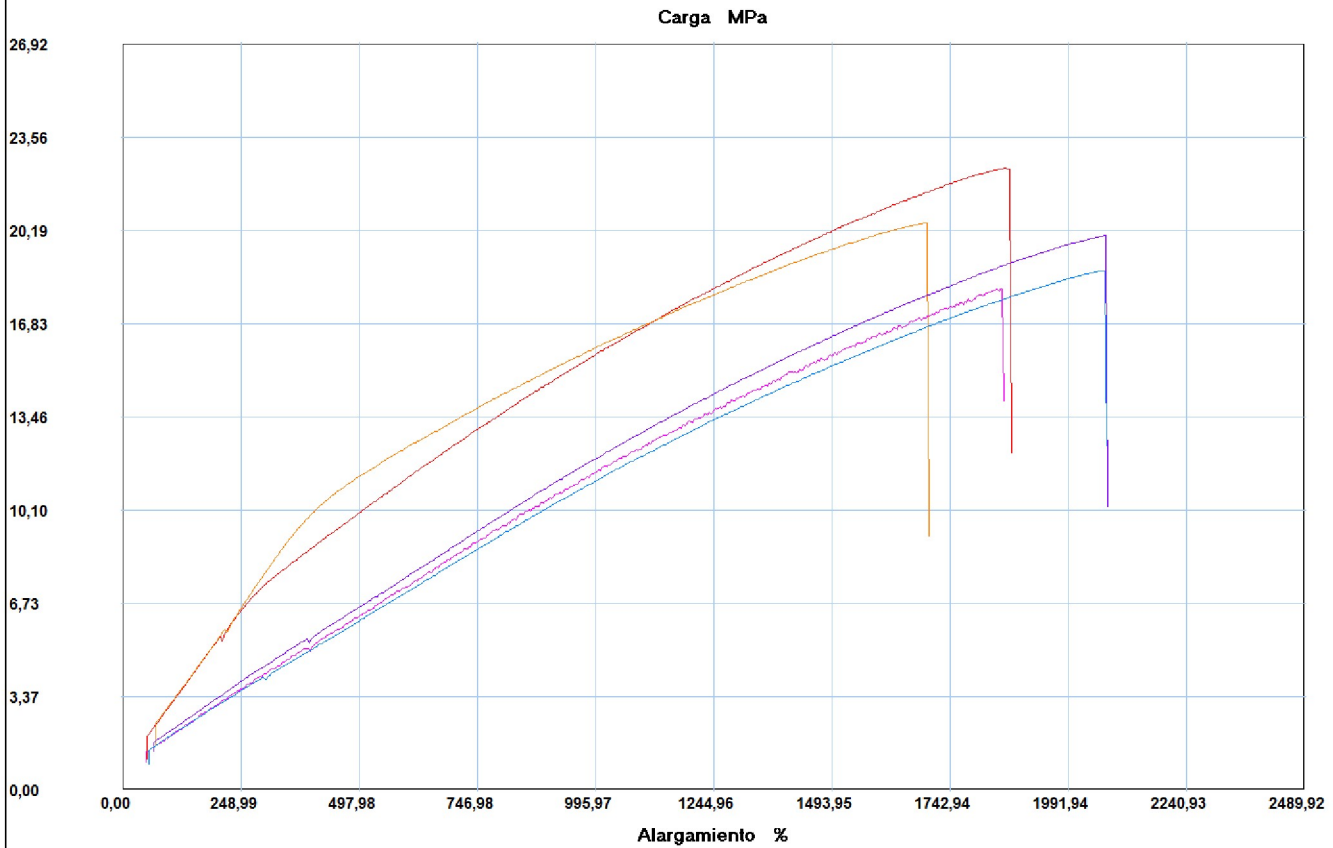
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	319,93	94,67	305,99	6,30	1,86	6,02
2	321,10	100,04	320,43	6,29	1,96	6,27
3	279,31	85,10	278,80	5,20	1,59	5,19
4	254,29	74,69	242,38	4,96	1,46	4,72
5	343,26	92,32	342,42	6,45	1,74	6,44
<b>Media</b>	<b>303,578</b>	<b>89,364</b>	<b>298,004</b>	<b>5,839</b>	<b>1,720</b>	<b>5,730</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>35,942</b>	<b>9,803</b>	<b>38,737</b>	<b>0,701</b>	<b>0,203</b>	<b>0,738</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,118</b>	<b>0,110</b>	<b>0,130</b>	<b>0,120</b>	<b>0,118</b>	<b>0,129</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>411,404</b>	<b>118,772</b>	<b>414,216</b>	<b>7,944</b>	<b>2,330</b>	<b>7,944</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETTM 01**  
**TRACCION**



Referencia : PRANNA POLIESTER FLE  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D5035  
 Fecha : 22/02/2017  
 Hora : 9:33:58  
 Temperatura : 16  
 H.R.% : 86  
 Pedido : 180459037820170217



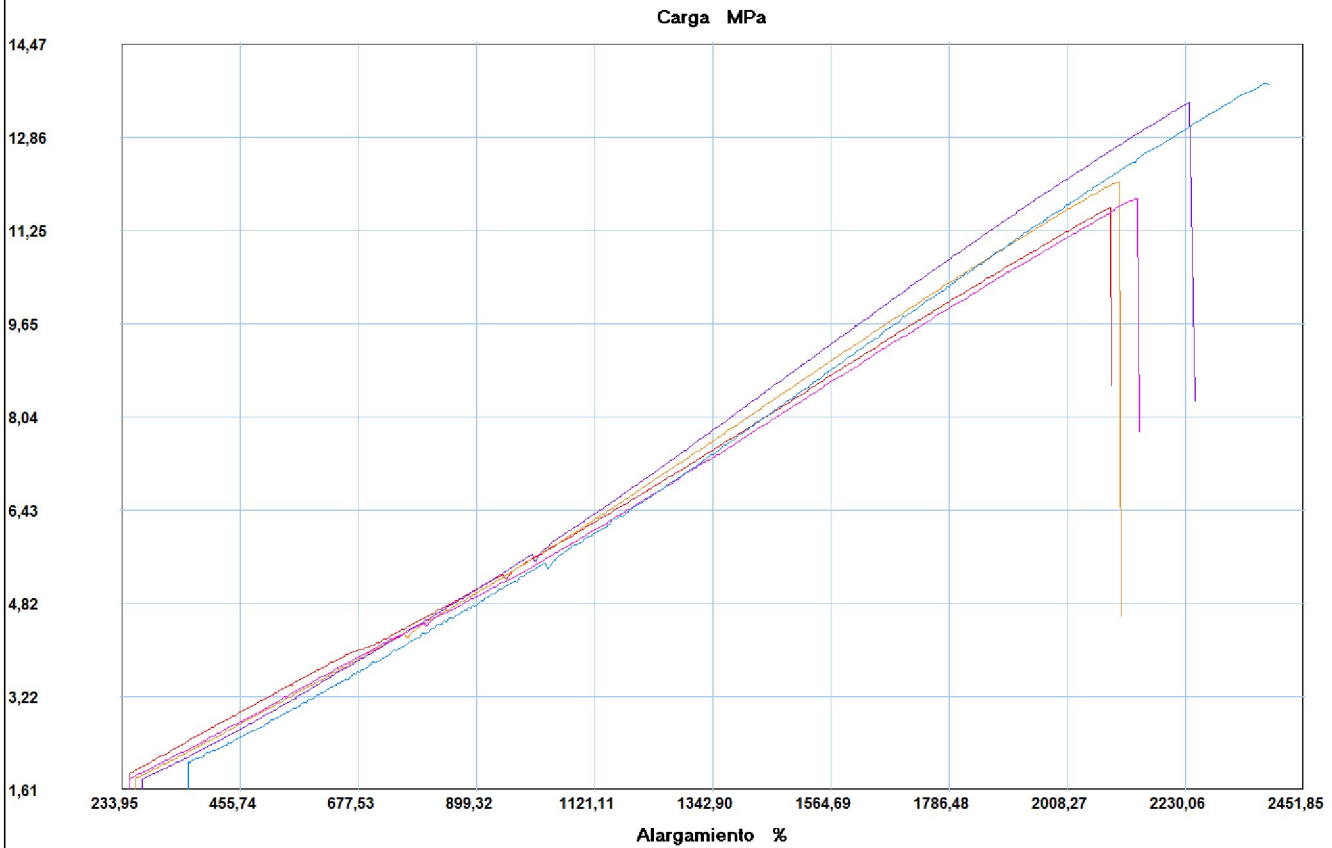
Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	503,56	503,39	297,94	22,43	13,23	22,43
2	475,69	475,69	310,52	20,45	13,32	20,45
3	457,40	457,40	239,52	20,00	10,44	20,00
4	427,02	425,84	214,18	18,11	9,08	18,06
5	464,45	464,45	241,20	18,74	9,73	18,74
<b>Media</b>	<b>465,624</b>	<b>465,354</b>	<b>260,672</b>	<b>19,949</b>	<b>11,160</b>	<b>19,938</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>27,838</b>	<b>28,191</b>	<b>41,418</b>	<b>1,678</b>	<b>1,987</b>	<b>1,689</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,060</b>	<b>0,061</b>	<b>0,159</b>	<b>0,084</b>	<b>0,178</b>	<b>0,085</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>549,137</b>	<b>549,928</b>	<b>384,926</b>	<b>24,983</b>	<b>17,122</b>	<b>25,005</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETTM 02**  
**TRACCION**



Referencia : PRANNA POLIESTER FLE  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM 5035  
 Fecha : 22/02/2017  
 Hora : 9:52:45  
 Temperatura : 16  
 H.R.% : 84  
 Pedido : 180459037820170217



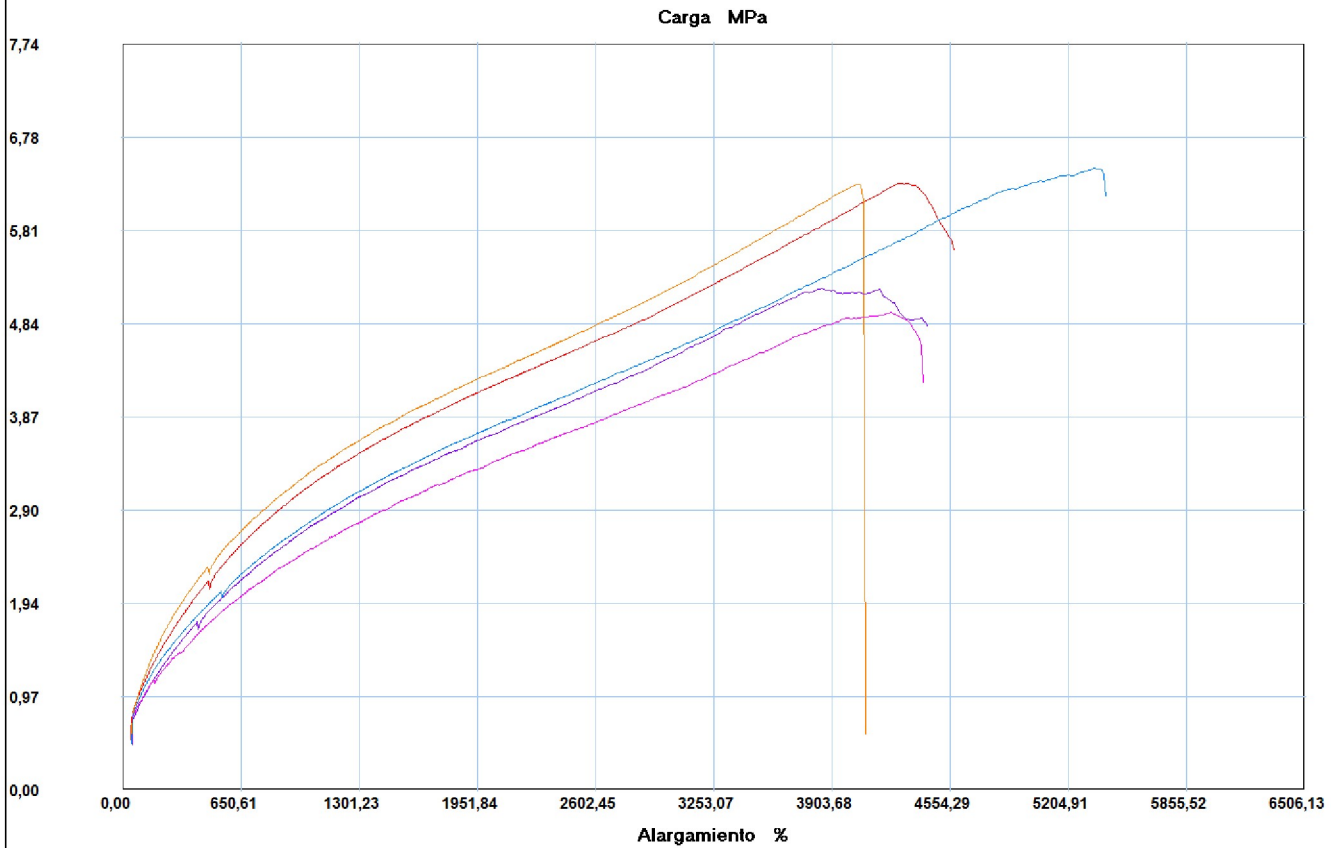
Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	281,32	41,46	281,32	11,66	1,72	11,66
2	271,75	36,59	271,75	12,10	1,63	12,10
3	310,36	37,77	310,36	13,46	1,64	13,46
4	281,15	39,95	281,15	11,80	1,68	11,80
5	308,68	35,08	307,50	13,80	1,57	13,75
<b>Media</b>	<b>290,652</b>	<b>38,170</b>	<b>290,416</b>	<b>12,564</b>	<b>1,646</b>	<b>12,554</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>17,664</b>	<b>2,559</b>	<b>17,368</b>	<b>0,994</b>	<b>0,056</b>	<b>0,977</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,061</b>	<b>0,067</b>	<b>0,060</b>	<b>0,079</b>	<b>0,034</b>	<b>0,078</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>343,644</b>	<b>45,847</b>	<b>342,521</b>	<b>15,545</b>	<b>1,814</b>	<b>15,486</b>

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**ETTM 03**  
**TRACCION**



Referencia : TEXTIL A BASE DE VINIL  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : ING. F. GALARZA  
 Norma : ASTM D5035  
 Fecha : 22/02/2017  
 Hora : 10:06:32  
 Temperatura : 21  
 H.R.% : 61  
 Pedido : 180459037820170217



Probeta	FMax N	FYield N	FRot N	CMax MPa	C.Yield MPa	CRot MPa
1	319,93	94,67	305,99	6,30	1,86	6,02
2	321,10	100,04	320,43	6,29	1,96	6,27
3	279,31	85,10	278,80	5,20	1,59	5,19
4	254,29	74,69	242,38	4,96	1,46	4,72
5	343,26	92,32	342,42	6,45	1,74	6,44
<b>Media</b>	<b>303,578</b>	<b>89,364</b>	<b>298,004</b>	<b>5,839</b>	<b>1,720</b>	<b>5,730</b>
<b>Desv. Std</b>	<b>35,942</b>	<b>9,803</b>	<b>38,737</b>	<b>0,701</b>	<b>0,203</b>	<b>0,738</b>
<b>Coef. V.</b>	<b>0,118</b>	<b>0,110</b>	<b>0,130</b>	<b>0,120</b>	<b>0,118</b>	<b>0,129</b>
<b>+3 Sigma</b>	<b>411,404</b>	<b>118,772</b>	<b>414,216</b>	<b>7,944</b>	<b>2,330</b>	<b>7,944</b>

## Parametros

Precarga	=	20,00	N
Caida %	=	20,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	5000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	0,00	mm

## Velocidades

Precarga	=	300,00	mm/min
Ensayo	=	300,00	mm/min
Retorno	=	120,00	mm/min
Posicionamiento	=	300,00	mm/min



## 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

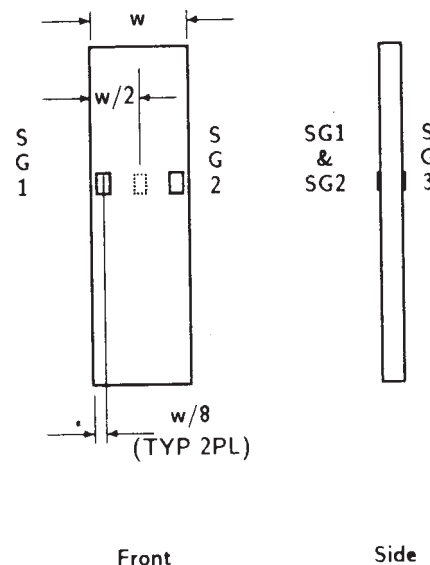


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

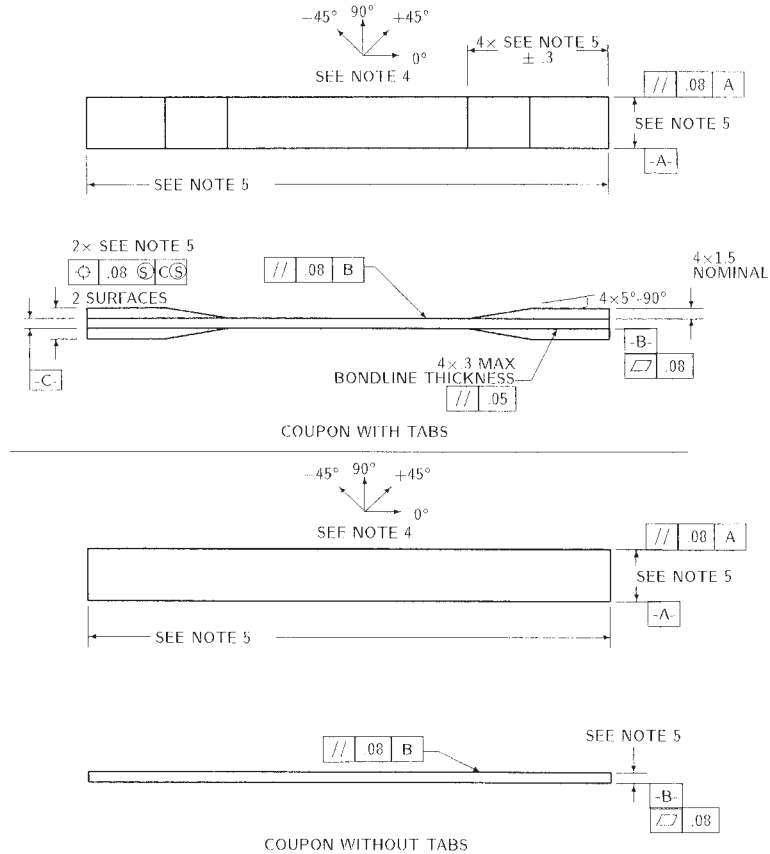


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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].

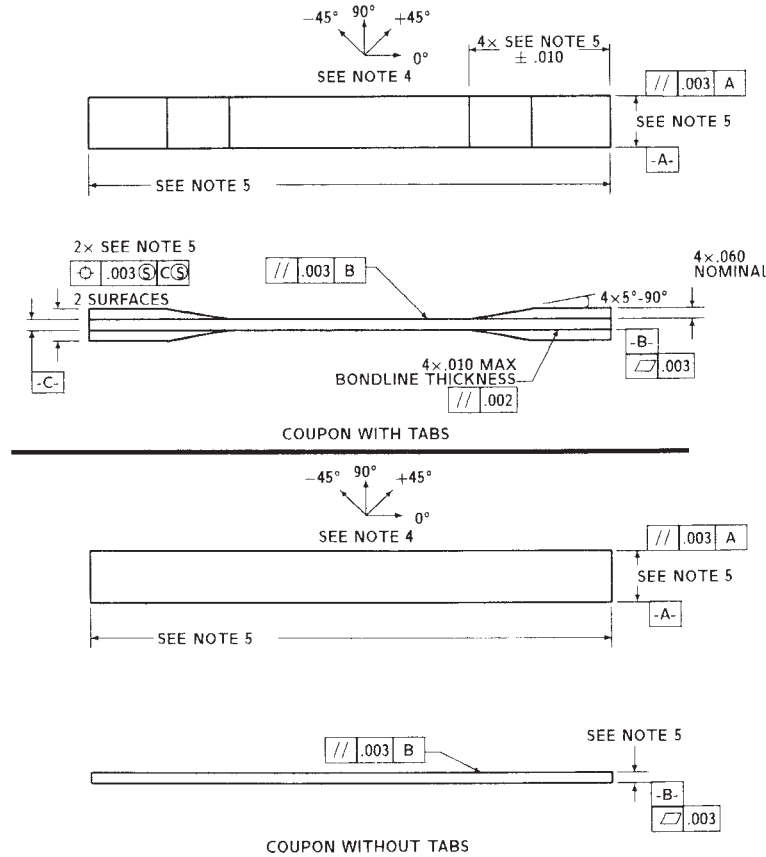
NOTE 6—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 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 Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 <sup>B</sup>	3000	2000

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

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

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

## 12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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

### 12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

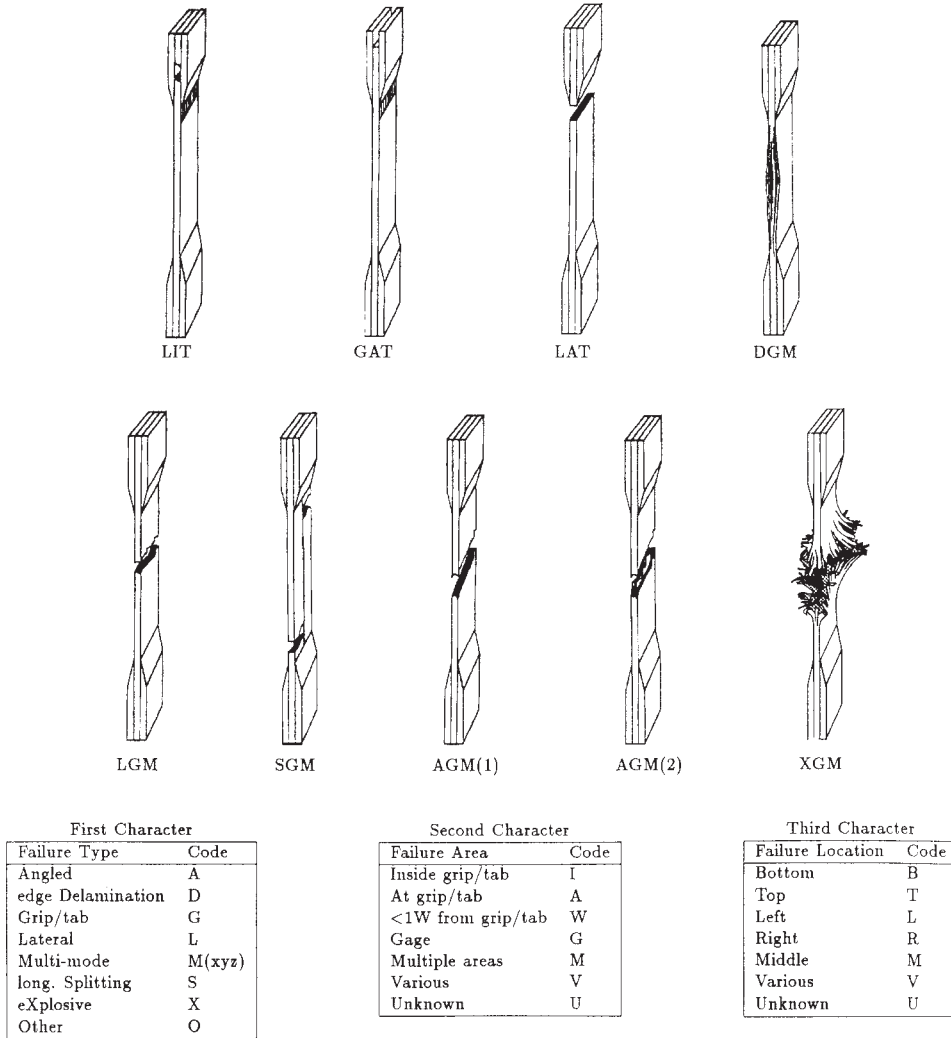


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

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

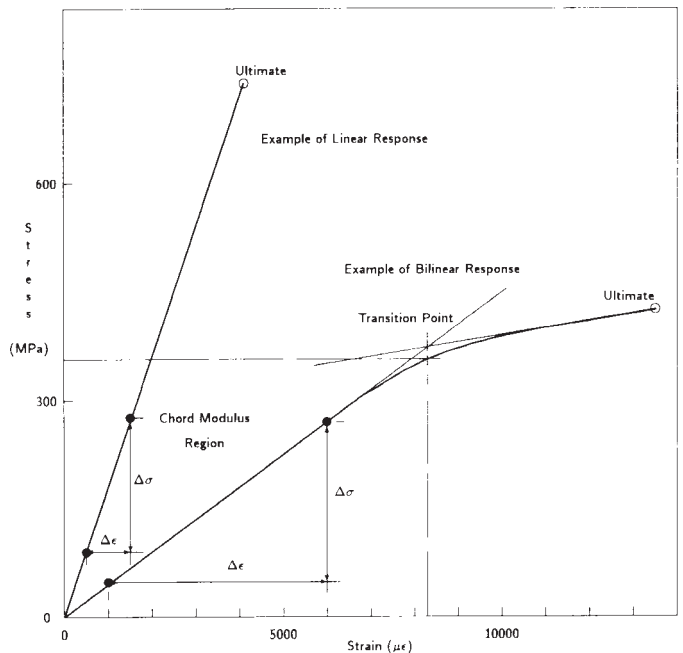


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves



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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

### 13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 14. Precision and Bias

### 14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

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

A	IM-6/3501-6 uni-tape (0)n
B	IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
C	IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
F	Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)- warp aligned
G	Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376

**TABLE 4 Precision Statistics**

Material	$\bar{x}$	$s \bar{x}$	$S_r$	$S_R$	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_r/X$  and  $S_R/X$  represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

<sup>10</sup> International Harmonization of Composite Materials—Phase I: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

Parameter	Average of $S/X$ , %	Average of $S_R/X$ , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

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

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

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



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

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

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

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 flexural strength,  $n$ —the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

3.2.2 flexural modulus,  $n$ —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

3.3 Symbols:

$b$  = specimen width

$CV$  = sample coefficient of variation, in percent

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

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

$h$  = specimen thickness

$L$  = support span

$m$  = slope of the secant of the load-deflection curve

$n$  = number of specimens

$P$  = applied force

$s_{n-1}$  = sample standard deviation

$x_i$  = measured or derived property

$\bar{x}$  = sample mean

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

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

$\sigma$  = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 Procedure A—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 Procedure B—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

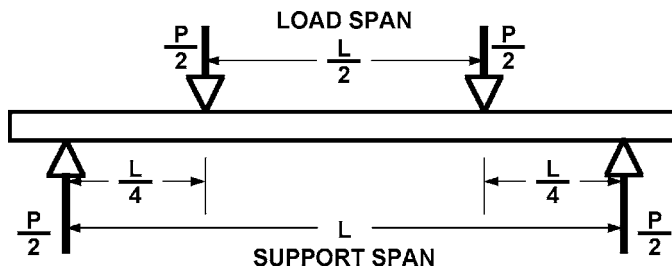


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

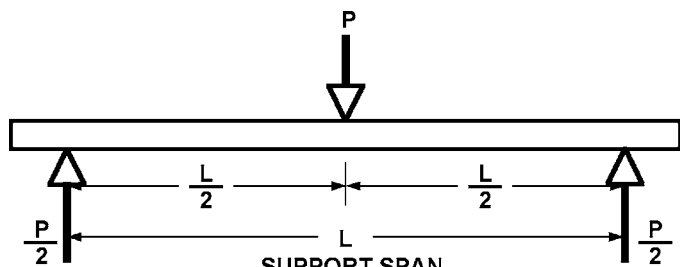


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM single-user license only, copying and networking prohibited.

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.

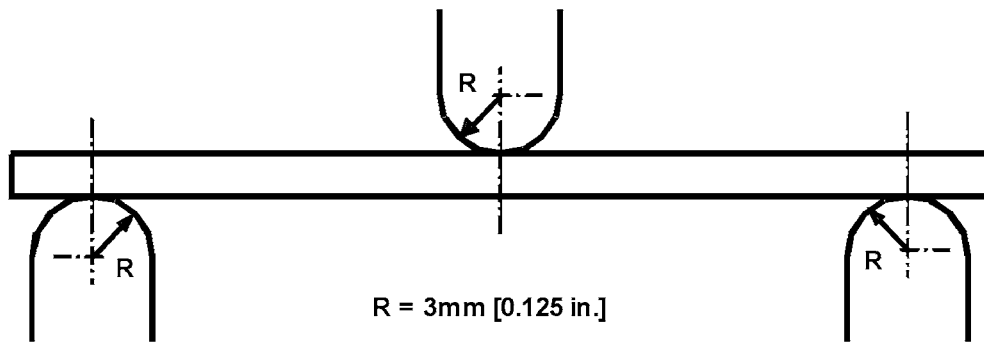
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

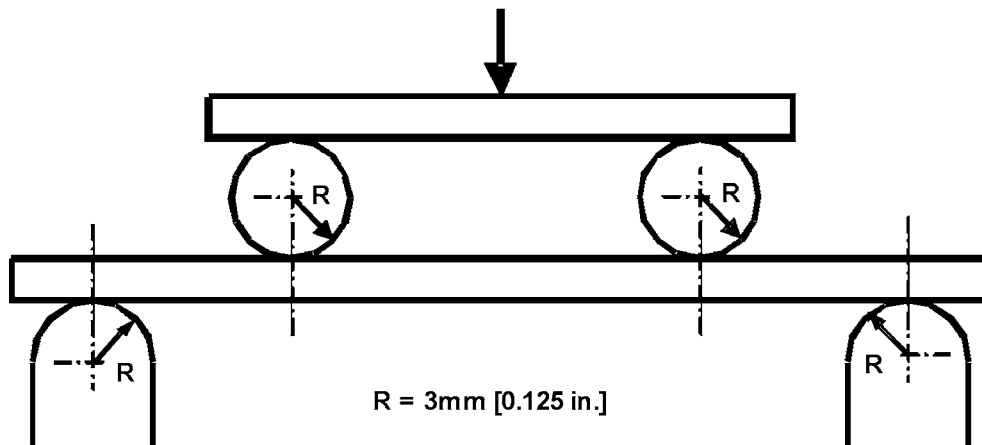
7. Apparatus

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

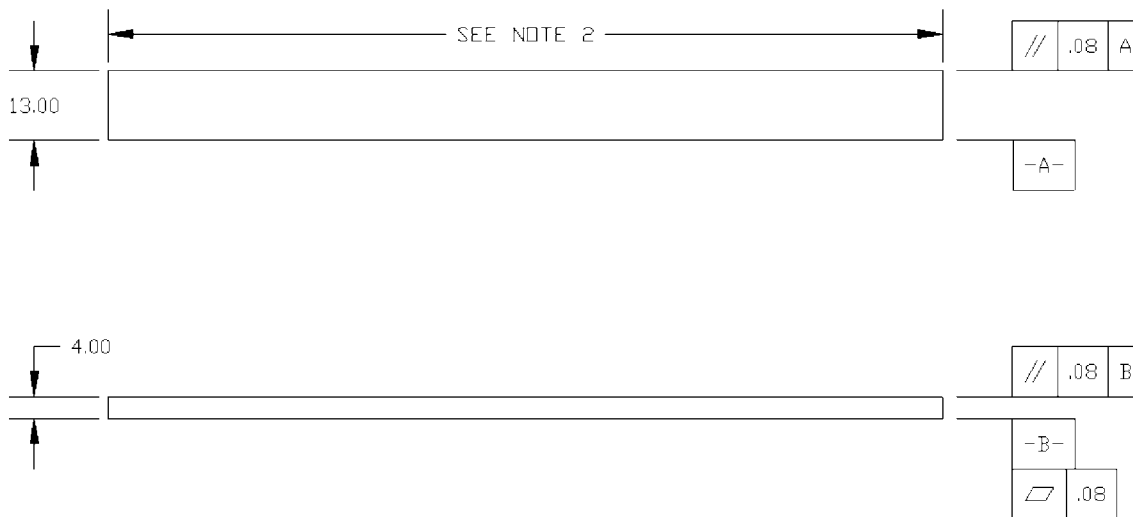
within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 5$  % relative humidity.

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.

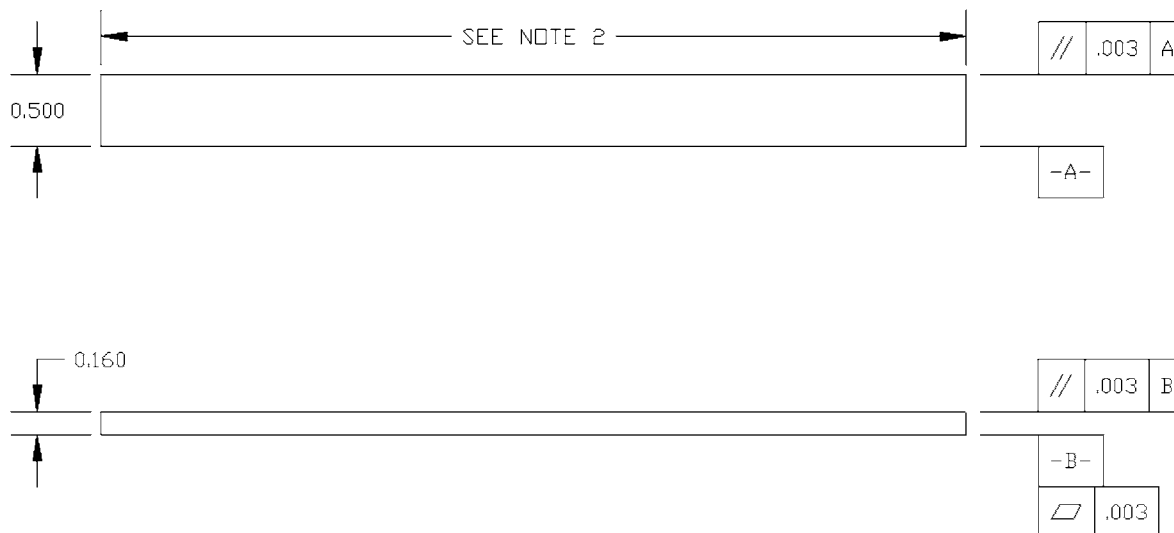


NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

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)

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.



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:

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

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

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

where:

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

<sup>5</sup> For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

## 14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.

14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.

14.1.3 The name(s) of the test operator(s).

14.1.4 The test Procedure used (A or B).

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

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

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

14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.

14.1.10 Average ply thickness of the material.

14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

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

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

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

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

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

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity ( $E_f$ ).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

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

A1.2 *Measurement of Span:*

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

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

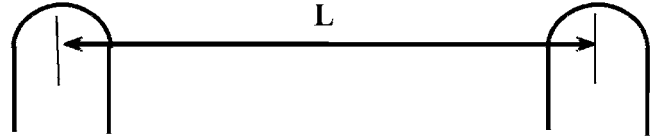


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

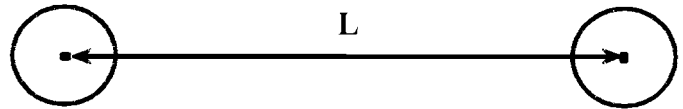


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

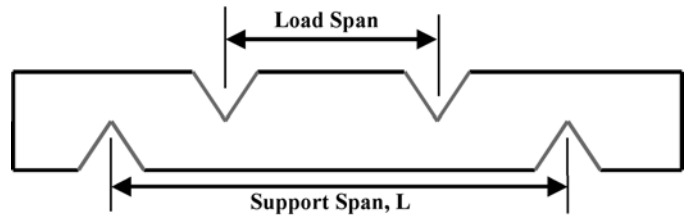


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

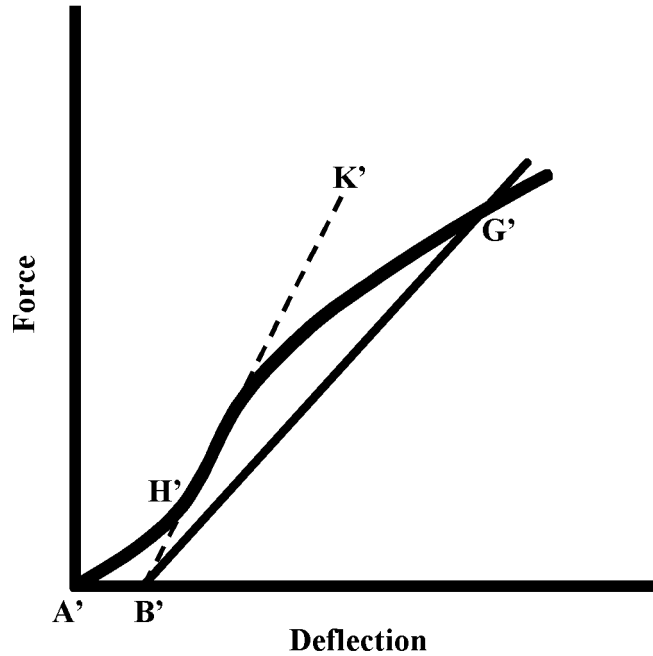


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

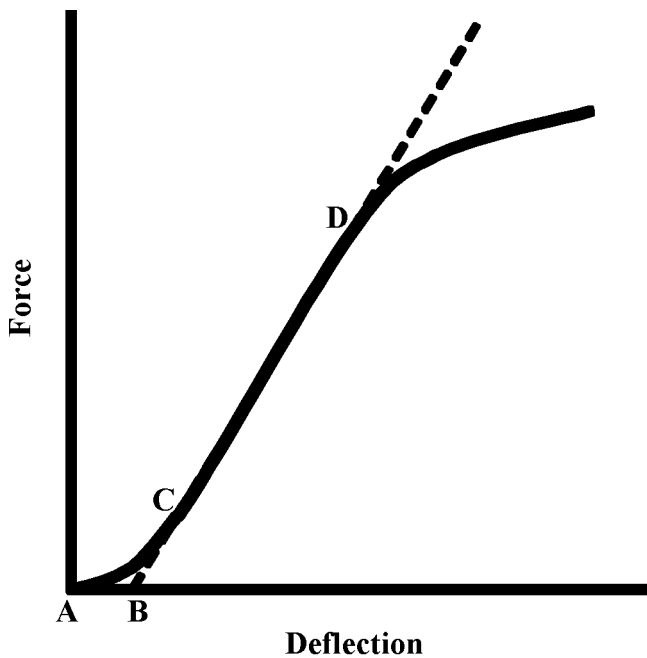


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

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

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

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

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

### 1. Scope

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

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

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

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

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:

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

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

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

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

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

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

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

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

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

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

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

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

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

<sup>4</sup> Discontinued; see *1998 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

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

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

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

<sup>8</sup> Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to confirm the onset of crack formation.

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

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

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tup) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass may be dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass may be dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass  $\times$  height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).<sup>9</sup> Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different tup and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

#### 5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore may be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach may produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC may be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter tup used in Geometry FB minimizes problems with tup penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D 1709. They have been used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D 3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and tup must be somewhat arbitrary. While any one of the tup geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit somewhat greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

#### 6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials may be expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as may occur during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

<sup>9</sup> The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.



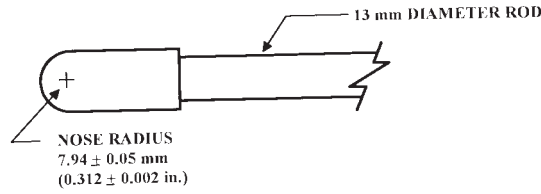


FIG. 1 (a)

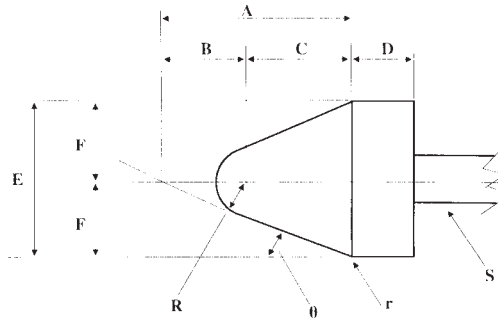


FIG. 1 (b)

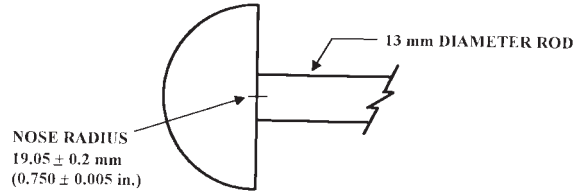


FIG. 1 (c)

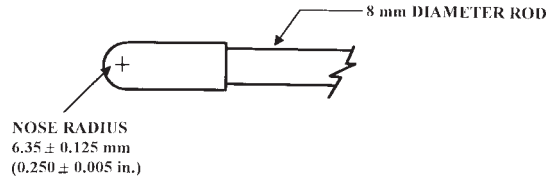


FIG. 1 (d)

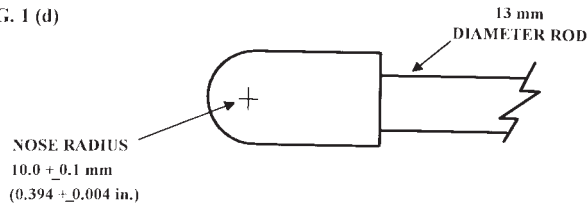


FIG. 1 (e)

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

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±2 %.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) <sup>A</sup>	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

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

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

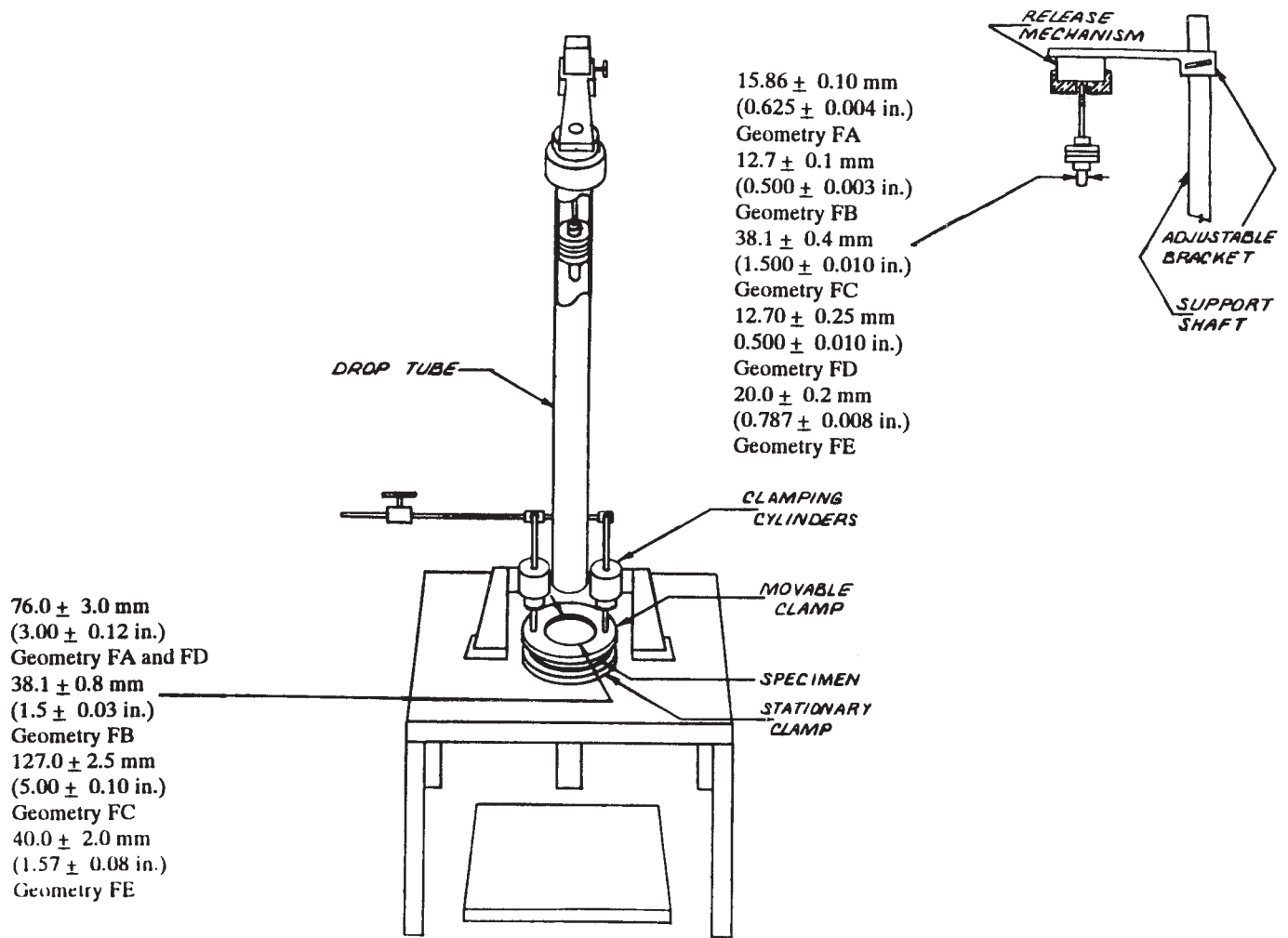


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

## 7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be  $76.0 \pm 3.0$  mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be  $38.1 \pm 0.80$  mm (1.5 ± 0.03 in.).

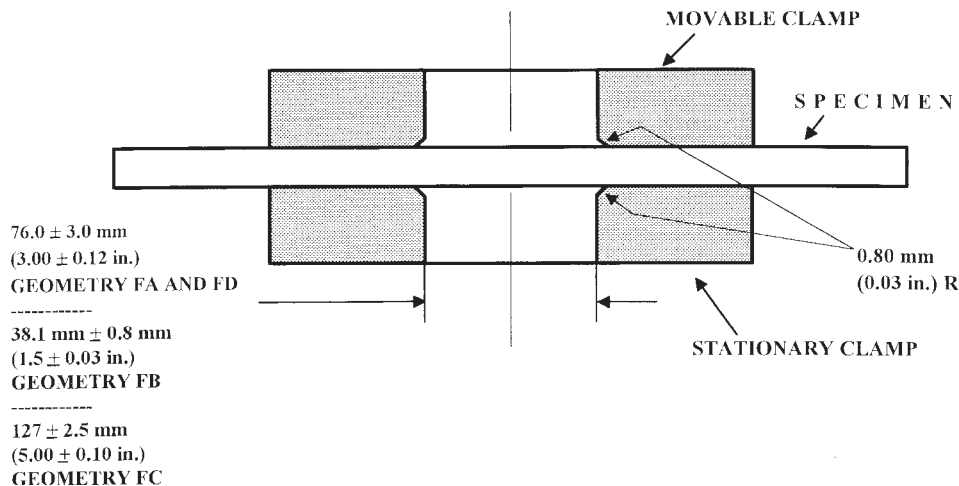


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

For Geometry FC, the inside diameter should be  $127.0 \pm 2.5$  mm ( $5.00 \pm 0.10$  in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be  $40 \pm 2$  mm ( $1.57 \pm 0.08$  in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops may be ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a  $15.86 \pm 0.10$ -mm ( $0.625 \pm 0.004$ -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at  $90^\circ$  to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of  $12.7 \pm 0.1$  mm ( $0.500 \pm 0.003$  in.) with a conical ( $50^\circ$  included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of  $38.1 \pm 0.4$  mm ( $1.5 \pm 0.015$  in.). A

TABLE 1 **Tup and Support Ring Dimensions**

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	$15.86 \pm 0.10$ ( $0.625 \pm 0.004$ )	$76.0 \pm 3.0$ ( $3.00 \pm 0.12$ )
FB	$12.7 \pm 0.1$ ( $0.500 \pm 0.003$ )	$38.1 \pm 0.8$ ( $1.5 \pm 0.03$ )
FC	$38.1 \pm 0.4$ ( $1.5 \pm 0.010$ )	$127.0 \pm 2.5$ ( $5.00 \pm 0.10$ )
FD	$12.70 \pm 0.25$ ( $0.500 \pm 0.010$ )	$76.0 \pm 3.0$ ( $3.00 \pm 0.12$ )
FE	$20.0 \pm 0.2$ ( $0.787 \pm 0.008$ )	$40.0 \pm 2.0$ ( $1.57 \pm 0.08$ )

steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at  $90^\circ$  to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a  $12.70 \pm 0.25$ -mm ( $0.500 \pm 0.010$ -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at  $90^\circ$  to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a  $20.0 \pm 0.2$ -mm ( $0.787 \pm 0.008$ -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at  $90^\circ$  to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

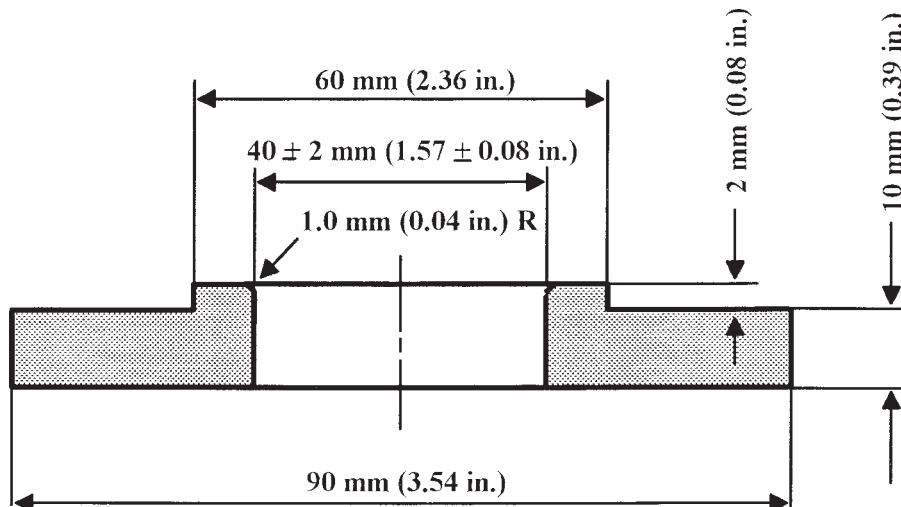


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

tested. For a material of low impact resistance, the tup mass may need to be adjusted by increments of 10 g or less. Materials of high impact resistance may require increments of 1 kg or more.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods D 374 for descriptions of suitable micrometers.

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

## 8. Hazards

### 8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D 2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

## 9. Sampling

9.1 Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the producer, sample the material in accordance with Sections 9 through 14 of Practice D 1898.

## 10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the sample may be tested, but the data shall not be used for referee purposes. For compliance with ISO 6603-1 the test specimen shall be  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) in diameter or  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) square with a thickness of  $2 \pm 0.1$  mm ( $0.08 \pm 0.004$  in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens should be used to

determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

## 11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, condition the test specimens at  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and  $50 \pm 5$  % relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be  $\pm 1^\circ\text{C}$  ( $\pm 1.8^\circ\text{F}$ ) and  $\pm 2$  % relative humidity. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) and at  $50 \pm 5$  % relative humidity, unless otherwise specified.

11.3 When testing is desired at temperatures other than  $23^\circ\text{C}$ , transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D 618.

## 12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in 10.3.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

**TABLE 2 Minimum Size of Specimen**

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact.

12.5 Choose a specimen at random from the sample. A random-numbers table may be used if desired.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup  $0.660 \pm 0.008$  m ( $26.0 \pm 0.3$  in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

**NOTE 5**—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D 618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used should be approximately equivalent to  $s$ , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times  $s$  is satisfactory (see section 13.4).

**NOTE 6**—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as  $X$ , to indicate a failure and a different symbol, such as  $O$ , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be examined. The specimen may be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior may vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

### 13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- $w$  = mean-failure mass, kg,
- $h$  = mean-failure height, mm,
- $d_w$  = increment of tup weight, kg,
- $d_h$  = increment of tup height, mm,
- $N$  = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- $w_o$  = smallest mass at which an event occurred, kg
- $h_o$  = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=0}^k in_i$ ,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$  (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:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad \text{or} \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

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,  
 $s_{\bar{w}}$  = estimated standard deviation of the mean mass, kg,  
 and  
 $G$  = factor that is a function of  $s/d$  (see Appendix X2).

A sample computation of  $s_w$  may be found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of  $G$  at other levels of  $s/d$ , see Fig. 22 in Ref (4).

**13.6 Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy**—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_{\bar{h}} w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_{\bar{w}} h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

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,

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D 5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

## 15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round robin<sup>10</sup> conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E 691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

NOTE 9—**Caution:** The following explanations of  $r$  and  $R$  (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.

15.2 *Concept of  $r$  and  $R$* —If  $V_r$  and  $V_R$  have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

<sup>10</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D 20-1030.

**TABLE 3 Precision, Method FB**

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		$V_r$	$r$
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) <sup>A</sup>	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) <sup>A</sup>	11.8	14.9	42.2

<sup>A</sup> Data generated in three laboratories.

$V_r$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$ .

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		$V_r$	$r$
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

$V_r$  = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
 $r = 2.83 V_r$ .

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $r$  value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				$n_x$	$n_o$	$i$	$n_i$	$in_1$	$i^2n_1$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X			X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O							O		O	0	5				
Totals																				9	11		9	6	8	
																				( $N_x$ )	( $N_o$ )		( $N$ )	( $A$ )	( $B$ )	

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$   
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$   
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$   
 $= 7.17 \text{ kg}$   
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$   
 $= 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$   
 $0.77 \text{ kg}$   
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$   
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

**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.

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

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

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





Designation: D 5035 – 95 (Reapproved 2003)

## Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method)<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D 5035; 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 raveled strip and cut strip test procedures for determining the breaking force and elongation of most textile fabrics. Provision is made for wet testing.

1.1.1 The raveled strip test is applicable to woven fabrics while the cut strip test is applicable to nonwoven fabrics, felted fabrics, and *dipped* or coated fabrics.

1.2 This test method is not recommended for knitted fabrics or for other textile fabrics which have high stretch (more than 11 %).

NOTE 1—For the determination of the breaking force and elongation of textile fabrics using the grab test and modified grab test procedures, refer to Test Method D 5034.

NOTE 2—For determination of the breaking force and elongation of some specific types of fabrics which use the strip test, refer to Specifications D 579 and D 580.

1.3 This test method shows the values in both inch-pound units and SI units. Inch-pound units is the technically correct name for the customary units used in the United States. SI units is the technically correct name for the system of metric units known as the International System of Units. The values stated in either acceptable metric units or in other units shall be regarded separately as standard. The values expressed in each system may not be exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other, without combining in any way.

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:

- D 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles<sup>2</sup>
- D 123 Terminology Relating to Textiles<sup>2</sup>
- D 579 Specification for Greige Woven Glass Fabrics<sup>2</sup>
- D 580 Specification for Greige Woven Glass Tapes and Webbing<sup>2</sup>
- D 629 Test Methods for Quantitative Analysis of Textiles<sup>2</sup>
- D 1776 Practice for Conditioning Textiles for Testing<sup>2</sup>
- D 5034 Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Grab Test)<sup>3</sup>

### 3. Terminology

#### 3.1 Definitions:

3.1.1 *breaking force, n*—the maximum force applied to a material carried to rupture. (Compare *breaking point*, *breaking strength*. Syn. *force-at-break*.)

3.1.1.1 *Discussion*—Materials that are brittle usually rupture at the maximum force. Materials that are ductile usually experience a maximum force before rupturing.

3.1.2 *breaking load, n*—deprecated term. Use *breaking force*.

3.1.3 *constant-rate-of-extension (CRE) tensile testing machine*—a testing machine in which the rate of increase of specimen length is uniform with time.

3.1.4 *constant-rate-of-load (CRL) tensile testing machine*—a testing machine in which the rate of increase of the load being applied to the specimen is uniform with time after the first 3 s.

3.1.5 *constant-rate-of-traverse (CRT) tensile testing machine*—a testing machine in which the pulling clamp moves at a uniform rate and the load is applied through the other clamp which moves appreciably to actuate a weighing mechanism, so that the rate of increase of load or elongation is dependent upon the extension characteristics of the specimen.

3.1.6 *cut strip test, n—in fabric testing*, a strip test in which the specimen is cut to the specified testing width.

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D13 on Textiles and is the direct responsibility of Subcommittee D13.60 on Fabric Test Methods, Specific.

Current edition approved May 15, 1995. Published July 1995. Replaces strip testing sections, Sections 17 through 20, of Test Method D 1682. Originally published as D 5035 – 90. Last previous edition D 5035 – 90.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.01.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 07.02.

3.1.7 *elongation, n*—the ratio of the extension of a material to the length of the material prior to stretching, expressed as a percent.

3.1.8 *extension, n*—the change in length of a material due to stretching. (Compare *elongation*.)

3.1.9 *raveled strip test, n*—in fabric testing, a strip test in which the specimen is cut wider than the specified testing width and an approximately even number of yarns are removed from each side to obtain the required testing width.

3.1.10 *strip test, n*—in fabric testing, a tensile test in which the full width of the specimen is gripped in the clamps.

3.1.11 *tensile test, n*—in textiles, a test in which a textile material is stretched in one direction to determine the load-elongation characteristics, the breaking load, or the breaking elongation.

3.1.11.1 *Discussion*—Other ASTM Committees consider tensile tests as defined above to be “tension tests.”

The tearing test is not regarded as a tensile test.

3.1.12 For definitions of other textile terms used in this test method, refer to Terminology D 123.

#### 4. Summary of Test Method

4.1 A test specimen is clamped in a tensile testing machine and a force applied to the specimen until it breaks. Values for the breaking force and elongation of the test specimen are obtained from machine scales, dials, autographic recording charts, or a computer interfaced with the testing machine.

4.2 This test method describes procedures for carrying out fabric tensile tests using four types of specimen, and three alternative types of testing machines. For reporting, use the following system to identify specific specimen and machine combinations.

##### 4.2.1 *Type of specimen:*

4.2.1.1 1R—25 mm (1.0 in.) raveled strip test

4.2.1.2 2R—50 mm (2.0 in.) raveled strip test

4.2.1.3 1C—25 mm (1.0 in.) cut strip test

4.2.1.4 2C—50 mm (2.0 in.) cut strip test

##### 4.2.2 *Type of tensile testing machine:*

4.2.2.1 E—constant-rate-of-extension (CRE)

4.2.2.2 L—constant-rate-of-load (CRL)

4.2.2.3 T—constant-rate-of-traverse (CRT)

4.2.3 Possible combinations can be identified as follows:

Test Specimen	Type of Tester		
	Constant-Rate-of-Extension	Constant-Rate-of-Load	Constant-Rate-of-Traverse
25-mm (1-in.) raveled strip	1R-E	1R-L	1R-T
50-mm (2-in.) raveled strip	2R-E	2R-L	2R-T
25-mm (1-in.) cut strip	1C-E	1C-L	1C-T
50-mm (2-in.) cut strip	2C-E	2C-L	2C-T

4.2.3.1 For example, 1R-E refers to a 25-mm (1-in.) raveled strip test carried out on a constant-rate-of-extension tensile testing machine.

#### 5. Significance and Use

5.1 The raveled strip test in this test method is considered satisfactory for acceptance testing of commercial shipments of woven textile fabrics since the method has been used exten-

sively in the trade for acceptance testing. The same is true for the cut strip test for felted or nonwoven textile fabrics.

5.1.1 In case of disagreement arising from differences in reported test values when using this test method for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the supplier should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens which are as homogeneous as possible and are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using Student’s *t*-test for unpaired data and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected, or the purchaser and the supplier must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

5.2 The method is not recommended for knitted fabrics because of their high stretch.

5.3 Some modification of the techniques may be necessary for any fabric having a strength in excess of 200 N/cm (1140 lbf/in.) width. Special precautionary measures are provided for use when necessary with strong fabrics, or fabrics made from glass fibers (see Specification D 579), to prevent them from slipping in the clamps or being damaged as a result of being gripped in the clamps.

5.4 All of the procedures are applicable for testing fabrics either conditioned or wet.

5.5 Comparison of results from tensile testing machines operating on different principles is not recommended. When different types of machines are used for comparison testing, constant time-to-break at  $20 \pm 3$  s is the established way of producing data. Even then the data may differ significantly.

5.6 Although a constant-rate-of-extension tensile testing machine is preferred in these methods, in cases of dispute, unless there is agreement to the contrary between the purchaser and supplier, a constant-time-to-break ( $20 \pm 3$  s) is to be used.

5.7 The raveled strip procedure is applicable to the determination of the force required to break a specific width of fabric. The breaking force information on woven fabrics is particularly useful for comparison of the effective strength of the yarns in the fabric with the combined strength of an equal number of the same yarns which are not woven. The procedure is not recommended for fabrics having less than 20 yarns across the width of the specimen. If a 20-yarns-per-specimen width cannot be obtained with a 25-mm (1-in.) strip, a 50-mm (2-in.) strip should be used. In general, the observed force for a 50-mm (2-in.) specimen is not double the observed force for a 25-mm (1-in.) specimen and the results should be reported as observed on a 50-mm (2-in.) strip without mathematical adjustment to 25 mm (1 in.). If a fabric cannot be raveled readily, use either a cut strip or grab procedure.

5.8 The cut strip procedure is applicable to heavily fullled fabrics, woven fabrics that cannot be readily raveled, felted fabrics and nonwoven fabrics. This procedure is not recommended for fabrics which can be raveled because the yarns at

the edges tend to unravel during testing. The recommendation regarding the minimum number of yarns in a woven specimen discussed in 5.7 for raveled strips applies equally to cut strips.

## 6. Apparatus, Reagents, and Materials

6.1 *Tensile Testing Machine*, of the CRE, CRL, or CRT type conforming to Specification D 76, with respect to force indication, working range, capacity, and elongation indicator and designed for operation at a speed of  $300 \pm 10$  mm/min ( $12 \pm 0.5$  in./min); or, a variable speed drive, change gears, or interchangeable loads as required to obtain the  $20 \pm 3$  s time-to-break (see 5.5 and 5.6).

6.2 *Clamps and Jaw Faces*—Each jaw face shall be smooth, flat, and with a metallic or other agreed upon surface. The faces shall be parallel and have machining centers with respect to one another in the same clamp and to the corresponding jaw face of the other clamp.

6.2.1 For all strip tests or for narrow fabrics and tapes being tested full width, each jaw face shall measure at least 10 mm (0.5 in.) wider than the specimen being tested and at least 25 mm (1.0 in.) in the direction of the applied force.

6.3 *Metal Clamp*, auxiliary, weighing 170 g (6.0 oz) with 100-mm (4-in.) width anvils.

6.4 *Distilled Water*, for wet testing.

6.5 *Nonionic Wetting Agent*, for wet testing.

6.6 *Container*, for wetting out specimens.

6.7 *Standard fabrics*, for use in verification of apparatus.<sup>4</sup> (See Annex A1.)

6.8 *Pins*, stainless-steel, 10-mm ( $\frac{3}{8}$ -in.) diameter by 125 mm (5 in.) long, two required if used.

## 7. Sampling

7.1 *Lot Sample*—Take a lot sample as directed in the applicable material specification. In the absence of such a specification randomly select the rolls or pieces that constitute the lot sample using the following schedule:

Number of Rolls, Pieces in Lot, Inclusive	Number of Rolls or Pieces in Lot Sample
1 to 3	All
4 to 24	4
25 to 50	5
Over 50	10 % to a maximum of 10 of the rolls or pieces

NOTE 3—An adequate specification or other agreement between the purchaser and supplier requires taking into account the variability between rolls of fabric and between specimens from a swatch from a roll of fabric to provide a sampling plan with a meaningful producer's risk, consumer's risk, acceptable quality level, and limiting quality level.

7.2 *Laboratory Sample*—From each roll or piece of fabric taken from the lot sample, cut at least one laboratory sample the full width of the fabric and 1 m (1 yd) along the selvage (machine direction).

NOTE 4—Results obtained on small hand samples or swatches can only be considered as representative of the sample swatch submitted and cannot be assumed to be representative of the fabric piece from which the hand sample or swatch was taken.

7.3 *Test Specimens*—From each laboratory sample, take five specimens from the warp (machine) direction and eight specimens from the filling (cross) direction (if tested) for each testing condition.

7.3.1 Testing conditions include the following:

7.3.1.1 *Warp or Machine Direction*—Standard conditions for testing textiles,

7.3.1.2 *Warp or Machine Direction*—Wet at 21°C (70°F),

7.3.1.3 *Filling or Cross Direction*—Standard conditions for testing textiles, and

7.3.1.4 *Filling or Cross Direction*—Wet at 21°C (70°F).

7.3.2 When using the constant-time-to-break technique and unfamiliar fabrics, prepare two or three extra specimens to establish the proper rate of loading (speed for testing).

## 8. Conditioning

8.1 *For Conditioned Testing*:

8.1.1 If the samples have a higher moisture content than the moisture present when at equilibrium in the standard atmosphere for testing textiles, precondition as directed in Practice D 1776.

8.1.2 Bring samples to moisture equilibrium in the standard atmosphere for testing textiles as directed in Practice D 1776. Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the specimen in successive weighings made at intervals of not less than 2 h does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen.

NOTE 5—It is recognized that, in practice, materials are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While conditioning for a fixed time cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for testing textiles for a reasonable period of time before the specimens are tested. As a guide, the following conditioning periods are suggested:

Fiber	Minimum Conditioning Period, h <sup>5</sup>
Animal Fibers (for example, wool and regenerated proteins)	8
Vegetable Fibers (for example, cotton)	6
Viscose	8
Acetate	4
Fibers having a regain less than 5 % at 65 % relative humidity	2

8.2 *For Wet Testing*:

8.2.1 Specimens to be tested in the wet condition shall be immersed in water at room temperature until thoroughly wetted (Note 6). To thoroughly wet a specimen, it may be necessary to add not more than 0.05 % of a nonionic wetting agent to the water. A test of any specimen shall be completed within 2 min after its removal from the water.

NOTE 6—The material has been thoroughly wet out when it has been determined that additional immersion time does not produce any additional changes in breaking strength of test specimens. This method of

<sup>4</sup> Plain weave and sateen standard fabrics are available from Test Fabrics, Inc., P.O. Drawer O, Middlesex, NJ 08846.

<sup>5</sup> These periods are approximate and apply only to fabrics, spread out in single thickness, and exposed to freely moving air in the standard atmosphere for testing textiles. Heavy or coated fabrics may require conditioning periods longer than those suggested. If a fabric contains more than one fiber, it should be conditioned for the period required by the fiber component which requires the most time (for example, 8 h for a wool and acetate blend).

determination must be used in cases of dispute; however, for routine testing in the laboratory, it may be sufficient to immerse the material 1 h.

8.2.2 The procedures in this test method should be used with caution when testing fabrics that do not wet out uniformly and thoroughly because of the presence of sizing, oil, protective coatings, or water repellents.

8.2.3 When the strength of wet specimens without sizing, water repellents, etc. is required, before preparing the test specimens, treat the material as directed in Test Methods D 629, using appropriate de-sizing, etc. procedures, that will not affect the normal physical properties of the fabric.

## 9. Preparation of Specimens

### 9.1 General:

9.1.1 Cut specimens with their long dimensions parallel either to the warp (machine) direction or to the filling (cross) direction, or cut specimens for testing both directions as required. Preferably, specimens for a given fabric direction should be spaced along a diagonal of the fabric to allow for representation of different warp and filling yarns, or machine and cross direction areas, in each specimen. When possible, filling specimens should contain yarn from widely separated filling areas. Unless otherwise specified, take specimens no nearer to the selvage or edge of the fabric than one tenth of the width of the fabric (see 7.3.2).

9.1.2 Ribbons and other narrow fabrics which are 50 mm (2 in.) or less wide are usually tested full width.

### 9.2 Raveled Strip Test—1R, 25 mm (1 in.):

9.2.1 Cut each specimen either 35 mm (1.5 in.) or 25 mm (1 in.) plus 20 yarns, whichever is wider, by at least 150 mm (6 in.) long (Note 7). The long dimension should be accurately parallel to the direction of testing and force application.

NOTE 7—The length of the specimen depends on the type of clamps being used. The specimen should be long enough to extend through the clamps and project at least 10 mm (0.5 in.) at each end. The specimen length may be calculated using Eq 1 or Eq 2:

$$\text{Specimen length, mm} = C + 2W \quad (1)$$

$$\text{Specimen length, in.} = K + 2W \quad (2)$$

where:

$C$  = constant based on a gage length of 75 mm + 20 mm for projections beyond clamp, 95 mm,

$K$  = constant based on a gage length of 3 in. + 1 in. for projections beyond clamps, 4 in., and

$W$  = jaw face width in direction of load, mm (in.).

9.2.2 Ravel each specimen to give a testing width of 25 mm (1 in.) by removing an approximately equal number of yarns from each side, or 10 yarns from each side, depending upon the width cut in 9.2.1.

9.2.3 If, by mutual consent, it is agreed to perform a test on strips containing less than 20 yarns across the width to be tested, the actual number of yarns shall be stated in the report.

NOTE 8—Under some circumstances it may be necessary to ravel the strip to a constant number of yarns instead of a constant width. This number shall never be less than 20 mm (0.75 in.) and the width never less than 15 mm (0.5 in.). This technique is particularly useful when comparing the breaking force of a conditioned fabric after a wet finishing operation in which shrinkage has taken place with that of the same fabric

before finishing. Such a procedure may be used by mutual consent of the interested parties.

### 9.3 Raveled Strip Test—2R, 50 mm (2.0 in.):

9.3.1 Cut each specimen either 65 mm (2.5 in.) or 50 mm (2.0 in.) plus 20 yarns, whichever is wider, by at least 150 mm (6 in.) long (Note 7). The long dimension should be parallel to the direction for which the breaking force is required.

9.3.2 Ravel each specimen to give a testing width of 50 mm (2.0 in.) by removing an approximately equal number of yarns from each side, or 10 yarns from each side, depending upon the width cut in 9.3.1 (Note 8).

### 9.4 Cut Strip Test—1C, 25 mm (1 in.):

9.4.1 Cut each specimen  $25 \pm 1$  mm ( $1 \pm 0.02$  in.) wide by at least 150 mm (6 in.) long with the long dimension accurately parallel to the direction of testing and force application (Notes 7 and 8).

### 9.5 Cut Strip Test—2C, 50 mm (2 in.):

9.5.1 Cut each specimen  $50 \pm 1$  mm ( $2 \pm 0.02$  in.) wide by at least 150 mm (6 in.) long with the long dimension accurately parallel to the direction for which the breaking force is required (Notes 7 and 8).

9.6 When the breaking force of wet fabric is required in addition to that of conditioned fabric, cut one set of specimens with each test specimen twice the normal length (Note 9). Number each specimen at both ends and then cut the specimens, in half cross-wise, to provide one set for determining the conditioned breaking force, and another set for determining the wet breaking force. This allows for breaks on paired specimens which leads to more direct comparison of conditioned vs. wet breaking force because both specimens of a pair contain the same test yarns (nonwoven fabric channel and cross direction areas).

NOTE 9—For fabrics which shrink excessively when wet, it will be necessary to cut the test specimens to allow for longer wet breaking force specimens than conditioned breaking force specimens.

## 10. Preparation, Calibration, and Verification of Apparatus

### 10.1 Tensile Testing Machine:

10.1.1 Prepare the testing machine according to the manufacturer's instructions and using the conditions given in 10.1.2-10.2.4 (see Annex A1).

10.1.2 Set the distance between the clamps (gage length) at  $75 \pm 1$  mm ( $3 \pm 0.05$  in.).

10.1.3 Select the force range of the testing machine for the break to occur between 10 and 90 % of full scale force. Calibrate or verify the testing machine for this range.

10.1.4 Set the testing machine for a loading rate of  $300 \pm 10$  mm/min ( $12 \pm 0.5$  in./min) unless otherwise specified.

### 10.2 Clamping System:

10.2.1 Check the jaw face surfaces for flatness and parallelism.

10.2.2 Make a four-ply sandwich of white tissue paper, two soft carbon papers placed back-to-back and a second white paper (or fold the first white paper over the two carbons).

10.2.3 Mount the paper-carbon sandwich in the clamps with normal pressure.

10.2.4 Remove the paper-carbon sandwich and examine the jaw face imprint for uniformity of carbon deposition on the tissue paper.

10.2.5 If the imprint is incomplete or off-size, make appropriate adjustments of the clamp gripping system and recheck the clamping system with the paper-carbon sandwich.

NOTE 10—Some sources of clamping irregularities are surface contact, metal surface, or jaw coating-cover surface, condition, and pressure application.

10.3 Verification of the Total Operating System of the Apparatus:

10.3.1 Verify the total operating system (loading, extension, clamping, and recording or data collecting) by testing specimens of standard fabrics for breaking force and elongation by the type of strip test to be used and comparing the data with that given for the standard fabrics. Verification of the system on at least a weekly basis is recommended. In addition, the total operating system should be verified whenever there are changes in the loading system (especially an increase) or clamping mechanism.

10.3.2 Select the standard fabric which has breaking forces and elongations in the range of interest.

10.3.3 Prepare the standard fabric test specimens as directed in Section 9.

10.3.4 Check for adequacy of clamping pressure by mounting a specimen and marking the inner jaw face-to-fabric junctions. Break a specimen and watch for movement of either line away from the junction indicating slippage. If slippage occurs, adjust the air pressure of pneumatic clamps or be prepared to tighten manual clamps more when testing. If pressures cannot be increased without causing jaw breaks, other techniques for eliminating slippage, such as jaw cushions or specimen tabbing, will be needed.

10.3.5 Test the required number of specimens as directed in Section 11.

10.3.6 Calculate the breaking forces and elongations, the averages and the standard deviation as directed in Section 12.

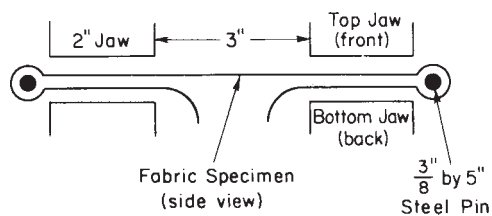
10.3.7 Compare the data with previous data. If the average is outside the tolerances established, recheck the total system to locate the cause for the deviation.

11. Procedure

11.1 Mount the specimen securely in the clamp of the testing machine. Take care that the specimen is centrally located and that the long dimension is as nearly parallel as possible to the direction of force application. Be sure that the tension on the specimen is uniform across the clamped width.

11.1.1 For high-strength fabrics where the specimen cannot be satisfactorily held in clamps, place each specimen around the pins and between the jaws as illustrated in Fig. 1, using jaw padding if necessary. Tighten the clamps to distribute the holding pressure along the clamping surface of the top (front) jaw. Clamps which are too tight will produce breaks at the front of jaws; clamps which are too loose will cause slippage or breaks at the back of the jaws and pin. For glass fabric failures, see Specification D 579.

11.2 Elongation depends on the initial specimen length which is affected by any pretension applied in mounting the



Metric Equivalents		
in.	3	3/8 by 5
mm	75	10 by 125

FIG. 1 Illustration of Specimen Placement for Strong Fabrics

specimen in the testing machine. If measurement of specimen elongation is required, mount the specimen in the upper clamp of the machine, and apply a uniform pretension, not to exceed 0.5 % of the full scale force, to the bottom end of the specimen before gripping the specimen in the lower clamp.

11.2.1 To achieve uniform and equal tension, attach an auxiliary clamp (6.3) to the bottom of the specimen and at a point below the lower clamp of the testing machine. Tighten the lower clamp and remove the auxiliary clamp.

11.3 Mark across the specimen at the front inner edge of each jaw to check for specimen slippage. When slippage occurs, the mark will move away from the jaw edge.

11.4 Operate the machine and break the specimen.

11.5 Read the breaking force, and elongation if required, from the mechanism provided for such purpose (11.2). Record warp and filling (machine and cross) direction results separately.

11.5.1 For some testing machines, data may be obtained using an interfaced computer.

11.6 If a specimen slips in the jaws, or breaks at the edge of or in the jaws, or if for any reason the result falls markedly below the average of the set of specimens, discard the result and take another specimen. Continue this until the required number of acceptable breaks have been obtained. In the absence of other criteria for rejecting a *jaw break*, any break occurring within 5 mm (0.25 in.) of the jaws which results in a value below 50 % of the average of all the other breaks should be discarded. No other break should be discarded unless it is known to be faulty.

NOTE 11—The decision to discard a break should be based on observation of the specimen during the test and upon the inherent variability of the fabric.

11.7 If a fabric manifests any slippage in the jaws or if more than 25 % of the specimens break at a point within 5 mm (0.25 in.) of the edge of the jaw, one of the following modifications may be tried. If any of these modifications are used, state the method of modification in the report.

11.7.1 The jaws may need to be padded,

11.7.2 The fabric may need to be coated under the jaw face area, or

11.7.3 The jaw face may need to be modified.

NOTE 12—It is difficult to determine the precise reason that certain specimens break near the edge of the jaws. If such a break is caused by damage to the specimen by the jaws, then the results should be discarded. If, however, the break is merely due to randomly distributed weak places,

it is a legitimate result. In some cases, it may also be caused by a concentration of stress in the area adjacent to the jaws because the jaws prevent the specimen from contracting in width as the force is applied. In such cases, a break near the edge of the jaw is inevitable and should be accepted as a characteristic of the particular method of test.

**12. Calculation**

12.1 *Breaking Force*—For each laboratory sample and testing condition, calculate the average of the breaking force observed for all acceptable specimens, that is, the maximum force exerted on the specimen as read directly from the testing machine indicating mechanism.

12.2 *Measurement of Apparent Elongation*—Unless some other force is specified, measure the apparent elongation of acceptable specimens at the breaking force. Measure the increase in length from the start of the force-extension curve to a point corresponding with the breaking force, or other specified force, as shown on the autographic record. Calculate the apparent elongation as the percentage increase in length based on the gage length (initial nominal testing length of the specimen).

12.2.1 For each testing situation, calculate the average apparent elongation at the breaking force or other specified force, of acceptable specimens.

NOTE 13—The elongation calculated as a percentage of the gage length for the specimen should be referred to as the *apparent elongation* because the actual length of fabric between the jaws is usually greater than the initial (gage) length. This difference in length is frequently due to fabric pull-out from between the jaws. Thus, elongation, calculated on the gage length, has an error which is dependent upon the amount of pull-out.

**13. Report**

13.1 State that the specimens were tested as directed in Test Method D 5035. Describe the material or product sampled and the method of sampling used.

13.2 Report the following information for each laboratory sample:

13.2.1 The average breaking force of acceptable specimens for each test condition and strip test.

13.2.2 The average percent apparent elongation of acceptable specimens for each test condition and strip test, if calculated. Identify this elongation as *apparent elongation at breaking force* or *apparent elongation at specified force*, as required by the test specifications.

13.2.3 Number of specimens tested in each direction.

13.2.4 Type of strip test and testing machine used.

13.2.5 Maximum force obtainable in the range used for testing.

13.2.6 Pretension used, if any.

13.2.7 Size of jaw faces used.

13.2.8 Type of padding used in jaws, modification of specimen gripped in the jaws, or modification of jaw faces, if any.

13.2.9 Number of yarns in the width of the strip, if less than 20.

13.2.10 Average time required to break, if applicable, for all specimens giving acceptable breaks.

13.2.11 Whether conditioned or wet testing, or both.

13.2.12 In the case of tests on wet specimens, state whether allowance was made for shrinkage.

13.2.13 Whether sizing or finishes have been removed and, if so, by what procedure.

**14. Precision and Bias**

14.1 *Interlaboratory Test Data*—An interlaboratory test was conducted in 1991 in which randomly-drawn samples of three materials were tested in each of three laboratories. Two operators in each laboratory each tested ten specimens of each material using Test Method D 5035. Five of the ten specimens were tested on one day and five specimens were tested on a second day. Tests were separately conducted in laboratories at the standard atmosphere for testing textiles separately using the Constant-Rate-Of-Extension (CRE) and the Constant-Rate-Of-Traverse (CRT) types of tensile testers. In addition, tests were conducted at 72F and 50 % Relative Humidity using the Constant-Rate-Of-Extension (CRE) type tester. The components of variance for breaking strength expressed as standard deviations were transformed to percent coefficient of variation and are listed in Table 1. There were sufficient differences related to the type of tensile tester, material tested, and test conditioning to warrant listing the components of variance and the critical differences separately. The three classes of fabrics were: S/441 cotton filter fabric, S/9407R plain weave standard break fabric, and S/9408R sateen standard break fabric.

14.2 *Precision*—For the components of variance reported in Table 1, two averages of observed values should be considered significantly different at the 95 % probability level if the difference equals or exceeds the critical differences listed in Table 2.

NOTE 14—Since the interlaboratory test included only three laboratories, estimates of between-laboratory precision should be used with special caution.

NOTE 15—The tabulated values of the critical differences should be considered to be a general statement, particularly with respect to between-laboratory precision. Before a meaningful statement can be made about two specific laboratories, the amount of statistical bias, if any, between them must be established, with each comparison being based on recent data obtained on specimens taken from a lot of material of the type being evaluated so as to be as nearly homogeneous as possible and then randomly assigned in equal numbers to each of the laboratories.

14.3 *Bias*—The true values of breaking strength by the strip method can only be defined in terms of a specific test method.

**TABLE 1 Breaking Strength Strip Method  
(Components of Variance, Coefficient of Variation, %)**

Fabric Type and Test Atmosphere	Type Machine	Grand Average Pounds	Single-Operator Component	Within-Laboratory Component	L
<i>Filter Fabric</i>					
72F, 65 % RH	CRE	52.2	5.1	3.4	2
72F, 50 % RH	CRE	52.4	3.6	0.0	2
72F, 65 % RH	CRT	54.3	3.6	1.4	3
<i>Plain Weave Fabric</i>					
72F, 65 % RH	CRE	89.2	3.9	0.3	0
72F, 50 % RH	CRE	87.7	6.1	0.6	1
72F, 65 % RH	CRT	91.0	3.4	1.8	0
<i>Sateen Fabric</i>					
72F, 65 % RH	CRE	182	4.2	0.9	1
72F, 50 % RH	CRE	180	4.5	2.8	2
72F, 65 % RH	CRT	190	2.5	0.0	0

**TABLE 2 Breaking Strength Strip Method  
Critical Difference for Conditions Noted, % of Average**

Fabric Type and Test Atmosphere	Type Machine	Number of Observations in Each Average	Single-Operator Precision	Within-Laboratory Precision	Between Laboratory Precision
<i>Filter Fabric</i>					
72F, 65 % RH	CRE	2	10.1	13.9	15.9
		5	6.4	11.5	13.8
		10	4.5	10.6	13.1
72F, 50 % RH	CRE	2	7.0	7.0	10.7
		5	4.4	4.4	9.2
		10	3.1	3.1	8.6
72F, 65 % RH	CRT	2	7.1	8.0	11.7
		5	4.5	5.8	10.3
		10	3.2	4.9	9.8
<i>Plain Weave Fabric</i>					
72F, 65 % RH	CRE	2	7.6	7.6	7.6
		5	4.8	4.8	4.8
		10	3.4	3.4	3.4
72F, 50 % RH	CRE	2	11.9	12.0	12.5
		5	7.6	7.7	8.4
		10	5.3	5.6	6.4
72F, 65 % RH	CRT	2	6.6	8.3	8.3
		5	4.2	6.6	6.6
		10	2.9	5.9	5.9
<i>Sateen Fabric</i>					
72F, 65 % RH	CRE	2	8.2	8.5	9.0
		5	5.2	5.7	6.4
		10	3.7	4.4	5.2
72F, 50 % RH	CRE	2	8.9	11.8	13.8
		5	5.6	9.6	12.0
		10	4.0	8.7	11.3
72F, 65 % RH	CRT	2	5.0	5.0	5.0
		5	3.1	3.1	3.1
		10	2.2	2.2	2.2

Within this limitation, the procedure in Test Method D 5035 for measuring breaking strength by the strip procedure has no known bias.

## 15. Keywords

15.1 breaking-strength; fabric; elongation; fabric; nonwoven-fabric; woven fabric

## ANNEX

### (Mandatory Information)

#### A1. ERROR AND LOW PRECISION IN TENSILE TESTING

A1.1 Some of the most common sources for error and causes for low precision in tensile testing are given in the following sections.


A1.1.1 Failure to recheck the tester zero after changing load cell or scale.

A1.1.2 Failure to make sure each test is started at the zero point due to application of excessive tension on the specimen as it is mounted and clamped for testing.

A1.2 One of the most serious problems, of which many

users are unaware, is faulty clamping mechanisms. Many calibration/verification procedures for tensile testing machines, whether performed by the manufacturer's representative or the user, check for gage length, loading variability, and speed, but do not check out the total operating system which also includes the clamping mechanism.

A1.3 Use standard fabrics with known breaking forces as a means for checking the total operating system.

 **D 5035 – 95 (2003)**

*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)).*