



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

*Trabajo Estructurado de Manera Independiente Previo a la Obtención del  
Título de Ingeniero Mecánico*

**TEMA:**

---

---

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

---

---

**AUTOR:** Alex David Jácome León

**TUTOR:** Ing. Mg. Juan Paredes

**AMBATO – ECUADOR**

**2015**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del trabajo investigativo “ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS”. Trabajo elaborado por el egresado Alex David Jácome León. CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor y ha sido concluida bajo el plan de tesis aprobado.

Ambato, Abril del 2015

.....  
Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas.

TUTOR

## **AUTORÍA DEL TRABAJO DE TESIS**

Yo, Alex David Jácome León con C.I. # 050325552-3 declaro que los resultados obtenidos y expuestos en el presente trabajo de investigación con el tema, “ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS”, son absolutamente de mi autoría; a excepción de las referencias bibliográficas que se incluyen en el presente trabajo de investigación.

Los criterios emitidos en el trabajo de investigación así como también los contenidos, ensayos realizados, análisis, conclusiones, recomendaciones y propuesta son de exclusiva responsabilidad de mi persona, como autor del presente trabajo de investigación.

Ambato, Abril del 2015

.....  
Alex David Jácome León

C.I. 050325552-3

AUTOR

## **DEDICATORIA**

*Para todas las personas que creyeron en mí y que comparten mis buenos y malos momentos de mi vida.*

*A mí familia, quienes son el pilar fundamental en mi vida, a mis padres Teresita y David quienes han sido mi ejemplo de superación y lucha, y quienes me han motivado a alcanzar mis ideales de una manera honesta y transparente.*

*A mis hermanas Evelin y Joselin por estar siempre junto a mí brindándome su tiempo y su apoyo incondicional.*

*A mis amigos con quienes hemos compartido experiencia a lo largo de nuestra vida estudiantil, quienes me han sabido demostrar lealtad.*

Alex Jácome.

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco al forjador de mi camino y quien me ha dirigido por el sendero correcto, a Dios, por bendecirme con una familia y darme la dicha de vivir momentos buenos y malos junto a las personas que quiero.*

*Agradezco a mi familia y amigos en general, por todo el cariño brindado y por la confianza que han demostrado.*

*Agradezco también a mi tutor de tesis Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas, por su paciencia y disposición para ayudarme, aconsejarme y guiarme en la ejecución del presente estudio.*

Gracias a todos

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

### PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TESIS.....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTO .....	V
RESUMEN EJECUTIVO.....	XIX
EXECUTIVE SUMMARY.....	XX

<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1. EL PROBLEMA.....	1
1.1. TEMA.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN.....	1
1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO.....	8
1.2.3. PROGNOSIS.....	9
1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES.....	9
1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	10
1.2.6.1. DE CONTENIDO.....	10
1.2.6.2. ESPACIAL.....	11
1.2.6.3. TEMPORAL.....	11
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	11
1.4. OBJETIVOS.....	12
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	12
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12

<b>CAPÍTULO II</b> .....	13
2. MARCO TEÓRICO. ....	13
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	13
2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.....	15
2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.....	15
2.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	16
2.4.1. INGENIERÍA DE MATERIALES. ....	16
2.4.2. MATERIALES COMPUESTOS. ....	17
2.4.2.1. Definición. ....	17
2.4.2.2. Clasificación de los materiales compuestos.....	18
2.4.2.3. Componentes de los materiales compuestos.....	18
2.4.3. MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA.....	20
2.4.3.1. Matrices y refuerzos. ....	20
2.4.3.2. Unión y falla. ....	21
2.4.3.3. Matrices poliméricas.....	22
a) Matrices termoplásticas.....	23
b) Matrices elastoméricas.....	23
c) Matrices termoestables.....	23
2.4.3.4. Resinas epóxicas.....	25
a) Características. ....	26
b) Clases de resinas epoxi. ....	28
c) Propiedades de las resinas epoxi. ....	30
d) Características generales de las diferentes resinas.....	30
e) Aplicaciones de resinas epóxicas.....	31
2.4.3.5. Refuerzo con fibras.....	31
a) Influencia de la orientación y cantidad de la fibra. ....	33
b) Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas. ....	34
c) Regla de las mezclas en los compuestos reforzados por fibra.....	36

d) Módulo de elasticidad.....	37
2.4.3.6. Fibras.....	38
a) Fibras vegetales.....	38
b) Composición química de las fibras vegetales.....	39
2.4.3.7. Fibra de piña.....	43
a) Aplicaciones alternativas de la fibra de piña.....	43
b) Propiedades de la fibra de piña.....	44
2.4.3.8. Moldeo del material compuesto.....	45
a) Proceso de colocación manual de capas.....	45
b) Moldeo por compresión.....	47
2.4.4. RESISTENCIA DE MATERIALES.....	48
2.4.5. ENSAYO DE MATERIALES.....	49
2.4.5.1. Ensayo de tracción o ensayo a la tensión.....	49
a) Esfuerzo de cedencia.....	50
b) Resistencia a la tracción o resistencia a la tensión.....	51
c) Propiedades elásticas.....	51
d) Ductilidad.....	52
2.4.5.2. Ensayo de flexión.....	53
a) Resistencia a la flexión.....	55
b) Módulo de elasticidad.....	55
2.4.5.3. Microscopía electrónica.....	56
2.4.6. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	61
2.4.6.1. Definición.....	61
2.4.6.2. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibras.....	62
2.4.6.3. Propiedades mecánicas de las fibras vegetales.....	62
2.4.6.4. Propiedades mecánicas en la zona de la intercara refuerzo-matriz.....	64
2.5. RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.....	65
2.6. HIPÓTESIS.....	65



2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.....	65
2.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.....	65
2.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	65
<b>CAPÍTULO III</b> .....	66
3. METODOLOGÍA.....	66
3.1. ENFOQUE INVESTIGATIVO.....	66
3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
3.2.1. DOCUMENTAL BIBLIOGRÁFICA.....	66
3.2.2. EXPERIMENTAL DE CAMPO.....	67
3.3. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	67
3.3.1. EXPLORATORIA.....	67
3.3.2. EXPLICATIVO.....	67
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	67
3.4.1. POBLACIÓN.....	67
3.4.2. MUESTRA.....	68
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	70
3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE: Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña.....	70
3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE: Propiedades mecánicas.....	71
3.6. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	72
3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	72
3.7.1. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	72
3.7.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	72
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	74
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	74
4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	74
4.1.1. ENSAYOS PRELIMINARES DEL MATERIAL UTILIZADO EN LA ACTUALIDAD PARA LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS.....	74

4.1.1.1. Ensayo a tracción de materiales tradicionales para la fabricación de butacas deportivas.....	74
a) Ensayo a tracción de un material plástico (polietileno de alta densidad).....	75
b) Ensayo a tracción de un material compuesto (resina poliéster + fibra de vidrio).....	77
4.1.1.2. Ensayo a flexión de materiales tradicionales para la fabricación de butacas deportivas.....	78
a) Ensayo a flexión de un material plástico (polietileno de alta densidad). ....	79
b) Ensayo a flexión de un material compuesto (resina poliéster + fibra de vidrio).....	81
4.1.2. ENSAYOS DEL NUEVO MATERIAL COMPUESTO.....	82
a) Construcción del molde. ....	84
b) Determinación de las propiedades físicas de la fibra de piña. ....	94
c) Fracción volumétrica de la fibra de piña.....	96
d) Configuración de la fibra de piña. ....	103
e) Elaboración de probetas mediante estratificación manual (resina epoxi + fibra de piña). ....	105
f) Ensayos del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).....	122
g) Ensayo a Tracción.....	122
h) Ensayo a Flexión. ....	138
i) Evaluación de la mejor configuración y fracción volumétrica para tracción y flexión. ....	152
j) Ensayo de adherencia entre matriz - refuerzo. ....	155
4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	160
a) Interpretación de resultados del ensayo a tracción de tres tipos de materiales. ....	160
b) Interpretación de resultados del ensayo a flexión de tres tipos de materiales.....	161
c) Interpretación de resultados de las distintas propiedades.....	162
4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.....	163
<b>CAPÍTULO V</b> .....	164
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.</b> ....	164

5.1. CONCLUSIONES.....	164
5.2. RECOMENDACIONES.....	166
<b>CAPÍTULO VI</b> .....	167
6. PROPUESTA.....	167
6.1. DATOS INFORMATIVOS.....	167
6.2. ANTECEDENTES A LA PROPUESTA.....	167
6.3. JUSTIFICACIÓN.....	168
6.4. OBJETIVOS.....	169
6.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	169
6.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	170
6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.....	170
6.5.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA.....	170
6.5.2. FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA.....	170
6.6. FUNDAMENTACIÓN.....	171
6.7. METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO.....	172
6.8. ADMINISTRACIÓN.....	182
6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.....	183
REFERENCIAS.....	184

### **ÍNDICE DE FICHAS**

Ficha 4.1. Recolección de datos a tracción de un material plástico.....	75
Ficha 4.2. Recolección de datos a tracción de un material compuesto.....	77
Ficha 4.3. Recolección de datos a flexión de un material plástico.....	79
Ficha 4.4. Recolección de datos a flexión de un material compuesto.....	81
Ficha 4.5. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25%-5mm.....	125
Ficha 4.6. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30%- 5mm.....	126

Ficha 4.7. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25% - 10mm.....	128
Ficha 4.8. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30% - 10mm.....	129
Ficha 4.9. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25% - F.Longitudinal.....	131
Ficha 4.10. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30%- F.Longitudinal.....	133
Ficha 4.11. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25% - F. Transversal.....	134
Ficha 4.12. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30%- F. Transversal.....	136
Ficha 4.13. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25%-5m...	139
Ficha 4.14. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - 5mm.....	141
Ficha 4.15. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25% - 10mm. ....	143
Ficha 4.16. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - 10mm. ....	144
Tabla 4.17. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25% - F. Longitudinal.....	146
Ficha 4.18. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - F. Longitudinal.....	147
Ficha 4.19. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25% - F. Transversal.....	149
Ficha 4.20. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - F. Transversal.....	151
Ficha 4.21. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña). ....	153
Ficha 4.22. Evaluación de resultados a flexión del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña). ....	154
Ficha 4.23. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales.....	160
Ficha 4.24. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales.....	161

Ficha 4.25. Interpretación de resultados de las distintas propiedades.....	162
Ficha 6.1. Proceso para la fabricación de una butaca deportiva. ....	174
Ficha 6.2. Procesos para la fabricación de una butaca deportiva.....	175
Ficha 6.3. Primer proceso para la fabricación de una butaca deportiva.....	176
Ficha 6.4. Segundo proceso para la fabricación de una butaca deportiva.....	177
Ficha 6.5. Tercer proceso para la fabricación de una butaca deportiva. ....	178

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Módulos de elasticidad de las fibras vegetales. ....	3
Figura 1.2. Alargamiento o deformación máximo de las fibras.....	3
Figura 1.3. Módulo de elasticidad de los compuestos ensayados a tensión.....	3
Figura 1.4. Alargamiento de los compuestos en el ensayo a tensión. ....	4
Figura 1.5. Carga de máximo o esfuerzo máximo soportado por el compuesto. ....	4
Figura 1.6. Módulo de elasticidad en MPa, para materiales compuestos y poliéster. ....	4
Figura 1.7. Esfuerzo vs. Deformación unitaria de las fibras. ....	5
Figura 2.1. Clasificación de los Materiales Compuestos. ....	18
Figura 2.2. Configuración básica de un material compuesto. ....	19
Figura 2.3. Componentes los materiales compuestos. ....	19
Figura 2.4. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono. ....	22
Figura 2.5. Estructura química general de las resinas epoxi. ....	27
Figura 2.6. Estructura química de Resinas epoxi a base de bisfenol A. ....	28
Figura 2.7. Estructura química de Resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac. ....	29
Figura 2.8. Estructura química de Resinas epoxi bromadas. ....	29
Figura 2.9. Estructura química de Resinas epoxi flexibles. ....	30
Figura 2.10. Refuerzos de alambres, fibras y whiskers. ....	32
Figura 2.11. Orientación de la fibra. ....	33
Figura 2.12. Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión. ....	34

Figura 2.13. Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra. ....	35
Figura 2.14. Estructura química de la celulosa. ....	40
Figura 2.15. Hilo a partir de la planta de la piña. ....	44
Figura 2.16. Método de colocación manual de capas para moldear materiales compuestos de plástico reforzado con fibras. ....	46
Figura 2.17. Método de aspersion para moldear materiales compuestos de plástico reforzado con fibra. ....	46
Figura 2.18. Esquemmatización del proceso de conformado por molde de compresión. ....	48
Figura 2.19. a) Máquina universal de ensayos de tracción, (b) Esquema de la probeta. ....	49
Figura 2.20. Probeta normalizada. ....	50
Figura 2.21. Curva fuerza – distancia correspondiente a dos materiales, mostrando la relación entre el enlace atómico y el módulo de elasticidad. ....	52
Figura 2.22. Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada ASTM D7264/D7264M – 07. ....	54
Figura 2.23. Esquema del microscopio electrónico y óptico. ....	58
Figura 2.24. Partes principales del microscopio electrónico de barrido y el recorrido del haz de electrones. ....	60
Figura 2.25. Red de categorías fundamentales ....	65
Figura 4.1. Diagrama de caracterización del material compuesto. ....	82
Figura 4.2. Diagrama del procedimiento para la construcción de molde. ....	84
Figura 4.3. Distribución de probetas en el molde. ....	86
Figura 4.4. Construcción de la base del molde. ....	88
Figura 4.5. Base del molde terminado. ....	89
Figura 4.6. Construcción del marco. ....	89
Figura 4.7. Marco del molde terminado. ....	89
Figura 4.8. Construcción de la tapa del molde. ....	90
Figura 4.9. Tapa del molde terminada. ....	90
Figura 4.10. Molde terminado. ....	91
Figura 4.11. Fibra corta de 10mm. ....	92
Figura 4.12. Elementos para el moldeo. ....	92

Figura 4.13. Molde sellado luego del moldeo.....	92
Figura 4.14. Desmolde.....	93
Figura 4.15. Pieza terminada.....	93
Figura 4.16. Prueba de calidad de pieza moldeada.....	93
Figura 4.17. Fibra de piña.....	95
Figura 4.18. Determinación de densidades de la fibra por método gravimétrico.....	95
Figura 4.19. Fibra de piña libre de celulosa e impurezas.....	103
Figura 4.20. Peso del material de refuerzo requerido (fibra de piña).....	104
Figura 4.21. Fibra de piña de 5mm.....	104
Figura 4.22. Fibra de piña de 10mm.....	104
Figura 4.23. Fibra larga longitudinal.....	104
Figura 4.24. Fibra larga transversal.....	105
Figura 4.25. Pesado de la masa requerida de fibra de piña.....	105
Figura 4.26. Aplicación de cera desmoldante en la base del molde.....	106
Figura 4.27. Aplicación de cera desmoldante en el cuadro del molde.....	106
Figura 4.28. Aplicación de cera desmoldante en la tapa del molde.....	107
Figura 4.29. Fibra de piña libre de impurezas.....	107
Figura 4.30. Vaso de precipitación de 250 cm <sup>3</sup> .....	108
Figura 4.31. Jeringuillas de 10 cm <sup>3</sup> .....	108
Figura 4.32. Volumen de resina epoxi requerida.....	108
Figura 4.33. Volumen de endurecedor requerido.....	109
Figura 4.34. Mezclado de la resina con el endurecedor.....	109
Figura 4.35. Vertido de resina epoxi sobre el molde.....	110
Figura 4.36. Mezcla del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).....	110
Figura 4.37. Humectación de la fibra de piña.....	111
Figura 4.38. Resina epoxi + fibra de piña.....	111
Figura 4.39. Sellado del molde.....	112
Figura 4.40. Calibración de la palanca de fuerza.....	112
Figura 4.41. Ajuste de tuercas.....	112

Figura 4.42. Desmonte de la tapa superior.....	113
Figura 4.43. Desmonte del cuadro de moldeo. ....	113
Figura 4.44. Material compuesto con fibra de piña longitudinal. ....	114
Figura 4.45. Material compuesto con fibra de piña transversal. ....	114
Figura 4.46. Material compuesto con fibra de piña de 10mm. ....	114
Figura 4.47. Material compuesto con fibra de piña de 5mm. ....	115
Figura 4.48. Verificación de medidas del material compuesto. ....	115
Figura 4.49. Verificación del espesor del material compuesto. ....	116
Figura 4.50. Corte por láser del material compuesto. ....	116
Figura 4.51. Probetas para ensayo a tracción (cortadas bajo la Norma ASTM D3039-14). .....	117
Figura 4.52. Comprobación del ancho de la probeta para ensayo a tracción.....	118
Figura 4.53. Comprobación del espesor de la probeta para ensayo a tracción. ....	118
Figura 4.54. Comprobación de la longitud de la probeta para ensayo a tracción. ....	118
Figura 4.55. Probetas para ensayo a Flexión (cortadas bajo la Norma ASTM D7264-07). .....	119
Figura 4.56. Comprobación del ancho de la probeta para ensayo a flexión. ....	120
Figura 4.57. Comprobación del espesor de la probeta para ensayo a flexión. ....	120
Figura 4.58. Comprobación de la longitud de la probeta para ensayo a flexión.....	120
Figura 4.59. Probetas para ensayo a Tracción y Flexión. ....	121
Figura 4.60. Máquina universal de ensayos Tinius Olsen. ....	122
Figura 4.61. Colocación de cintas de adherencias. ....	123
Figura 4.62. Probetas para ensayo a tracción con cintas de adherencias. ....	123
Figura 4.63. Probetas para ensayo a flexión muestras de distintas configuraciones.....	138
Figura 4.64. Probetas para ensayo de adherencia fibra – matriz.....	156
Figura 4.65. Ensayo de adherencia fibra – matriz.....	156
Figura 4.66. Adherencia fibra – matriz (vistas desde la parte superior del materia sin corte). ....	156
Figura 4.67. Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña). ....	157



Figura 4.68. Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña cortada transversalmente). .....	157
Figura 4.69. Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña cortada transversalmente). .....	158
Figura 4.70. Adherencia fibra – matriz (dimensión de la fibra). .....	158
Figura 4.71. Adherencia fibra – matriz (acumulación de resina y fibra). .....	159
Figura 4.72. Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña). .....	159
Figura 6.1. (a) colocación a mano, (b) moldeo a presión y (c) moldeo con troqueles...172	
Figura 6.2. Diagrama de procedimiento para la fabricación de un prototipo de una butaca deportiva. ....	172
Figura 6.3. Costo de una butaca deportiva. ....	181

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Evaluación de combinación de propiedades mecánicas de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya.....	8
Tabla 2.1. Estructura, propiedades y aplicaciones de diferentes polímeros termoestables industriales. ....	24
Tabla 2.2. Características generales de las diferentes resinas. ....	30
Tabla 2.3. Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natural. ....	40
Tabla 2.4. Influencia de los constituyentes químicos sobre las propiedades mecánicas de las fibras vegetales. ....	43
Tabla 2.5. Propiedades físicas de distintas fibras naturales. ....	44
Tabla 2.6. Características de diferentes fibras empleadas en la modificación de termoplásticos. ....	45
Tabla 2.7. Ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzo en la elaboración de materiales compuestos. ....	63
Tabla 2.8. Comparación entre fibras naturales vegetales y la fibra de vidrio. ....	63
Tabla 3.1. Configuraciones, longitud y fracciones volumétricas de la fibra de piña. ....	68
Tabla 3.2. Configuraciones para los diferentes ensayos. ....	69
Tabla 3.3. Variable independiente. ....	70

Tabla 3.4. Variable dependiente.....	71
Tabla 4.1. Propiedades de la fibra de piña. ....	94
Tabla 4.2. Densidad de la fibra de piña.....	95
Tabla 4.3. Dimensión de probetas para ensayo a tracción. ....	117
Tabla 4.4. Dimensión de probetas para ensayo a flexión.....	119
Tabla 6.1. Costos de materia prima.....	179
Tabla 6.2. Costos de mano de obra. ....	180
Tabla 6.3. Costos de materiales.....	180
Tabla 6.4. Costos de materiales.....	181
Tabla 6.5. Costos de la investigación.....	182

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Propiedades de la resina epoxi. ....	188
Anexo 2: Norma para ensayo a tracción - norma ASTM D638-10. ....	192
Anexo 3: Norma para ensayo a tracción - norma ASTM D3039-14. ....	208
Anexo 4: Norma para ensayo a flexión - norma ASTM D7264-07.....	221
Anexo 5: Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción – flexión), de los materiales tradicionales para la fabricación de butacas deportivas (polietileno de alta densidad – material compuesto de matriz poliéster + 4 capas de fibra de vidrio). ....	231
Anexo 6: Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción – flexión), del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña. ....	237
Anexo 7: Resumen de actividades para la fabricación de una butaca deportiva. ....	253
Anexo 8: Planos.	

## RESUMEN EJECUTIVO

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

**Autor:** Alex Jácome.

**Tutor:** Ing. Mg. Juan Paredes.

El presente estudio se basa en la caracterización mecánica del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña, se tomaron distintas configuraciones del material de refuerzo y fracción volumétrica para determinar cuál es la configuración y fracción volumétrica que proporcione mejor combinación de propiedades mecánicas, para luego ser comparado con los materiales tradicionales con los que se fabrican en la actualidad este tipo de butacas deportivas (polietileno de alta densidad – material compuesto de resina poliéster + 4 capas de fibra de vidrio).

Para la caracterización mecánica se realizaron ensayos a tracción, flexión y de la mejor configuración y fracción volumétrica se realizó un ensayo de adherencia entre fibra y matriz. Los ensayos realizados fueron basados en normas (tracción ASTM D3039-14, flexión ASTM D7264-07 para materiales compuestos, y tracción ASTM D638-10 para materiales plásticos).

De la caracterización mecánica y análisis pertinentes se determinó que el material que mejor comportamiento presenta en combinación en cuanto a propiedades mecánicas (Tracción – Flexión) fue el material compuesto por el 70% de matriz epoxi y reforzado con el 30% de fibra larga de piña, realizando al final un procedimiento para la fabricación de un prototipo de una butaca deportiva con este tipo de material compuesto.

## EXECUTIVE SUMMARY

STUDY OF CONFIGURATIONS OF FIBER EPOXY MATRIX COMPOSITE FIBER REINFORCED WITH PINEAPPLE AND ITS IMPACT ON THE MECHANICAL PROPERTIES IN THE MANUFACTURE OF SPORT SEATS.

**Author:** Alex Jácome.

**Advisor:** Ing. Mg. Juan Paredes.

This study is based on the mechanical characterization of the composite of epoxy matrix fiber reinforced pineapple, different configurations of the reinforcing material and volume fraction to determine the configuration and volume fraction that provides better combination of mechanical properties were taken to then be compared with traditional materials that are manufactured today this type of sport seats (high density polyethylene - composite polyester resin + 4 layers of fiberglass).

For the mechanical characterization tests tensile, bending and best settings and volume fraction assay adhesion between fiber and matrix is performed are done. The tests performed were based on standards (ASTM D3039-14 tensile, bending ASTM D7264-07 for composites, and ASTM D638-10 traction for plastics).

The relevant mechanical characterization and analysis was determined that the material has improved performance in combination in mechanical properties (Traction - Deflection) material was comprised of 70% epoxy matrix reinforced with long fiber 30% pineapple , performing a procedure at the end for making a prototype of a sports chair with this type of composite material.

## **CAPÍTULO I**

### **1. EL PROBLEMA.**

#### **1.1. TEMA.**

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

#### **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

##### **1.2.1. CONTEXTUALIZACIÓN.**

Los primeros materiales compuestos aparecieron durante la Segunda Guerra Mundial. Se trataba de materiales heterogéneos, constituidos por una matriz plástica asociada con un refuerzo fibroso. Estos materiales eran termoestables y su historia se remonta, según los casos, a menos de 50 años o apenas una década. Los materiales compuestos están formados por la mezcla de dos o más materiales de distintos tipos (metálicos, polímeros y cerámicos), es decir, están constituidos por elementos químicamente dispares y generan propiedades que no se encuentran en ninguno de los materiales en forma individual. La producción de materiales compuestos se ha desarrollado con rapidez a nivel mundial: en años recientes se ha registrado un crecimiento de más o menos 6 % anual, en cuanto a cantidad se refiere.

Los materiales compuestos tienen una gran aplicación en la industria automotriz, la aeronáutica, la construcción, los deportes, la electrónica, la medicina y la industria ferroviaria.

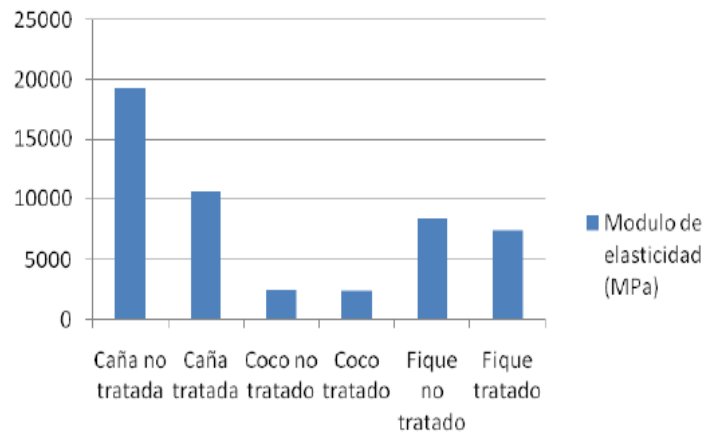
El mercado sudamericano es muy dinámico, con un incremento anual superior al 8%, si bien es reducido en términos globales (2% del consumo mundial) (Sánchez & Campos, 2010, pp. 363-364).

En el continente sudamericano se ha venido desarrollando diferentes temas de investigación acerca de la utilización de nuevos materiales compuestos reforzados con fibras naturales, como consecuencia de las ventajas técnicas, económicas y ambientales que presentan.

Una de las investigaciones a considerar es la realizada por José Santiago Gómez P, de la Universidad EAFIT (antes Escuela de Administración, Finanzas e Instituto Tecnológico) de Medellín – Colombia, en su investigación sobre “DISEÑO DE UN MATERIAL COMPUESTO CON FIBRA NATURAL PARA SUSTITUIR LA UTILIZACIÓN DE LA FIBRA DE VIDRIO”, propone la utilización de fibras naturales en reemplazo de una fibra sintética que en este caso es la fibra de vidrio, se fabricaron materiales compuestos con fibras naturales como son: las fibras de fique, coco y bagazo de caña.

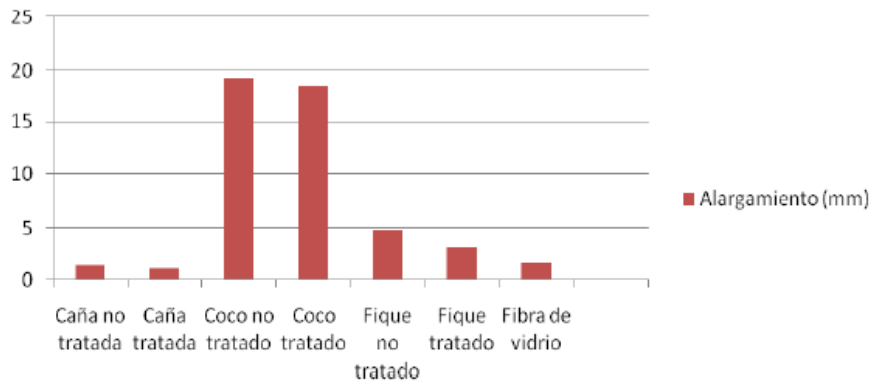
El investigador realizó un análisis comparativo de las propiedades mecánicas de las resinas reforzadas con fibras naturales respecto a la resina reforzada con fibra de vidrio, las fibras naturales utilizadas por el investigador fueron tratadas superficialmente con una solución básica para mejorar la compatibilidad con la resina, además el investigador realizó ensayos con agentes compatibilizantes entre la matriz y la fibra.

El investigador detalla que ha encontrado que los módulos de elasticidad del material se incrementan, al tratar las fibras con agentes compatibilizantes tipo silano y con el tratamiento alcalino. Los resultados obtenidos por el investigador se detallan a continuación:



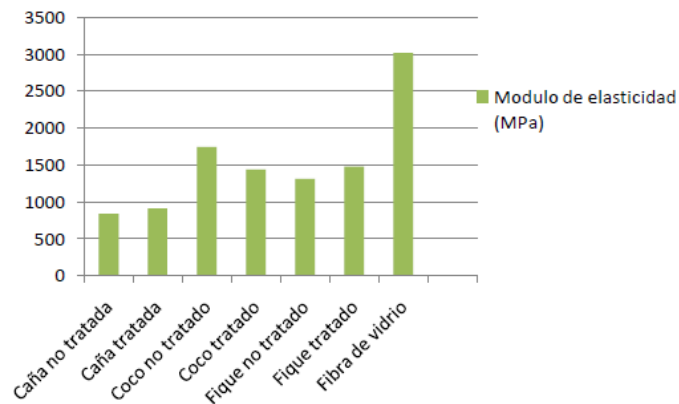
**Figura 1.1.** Módulos de elasticidad de las fibras vegetales.

(Fuente: Gómez, 2009, p.44).



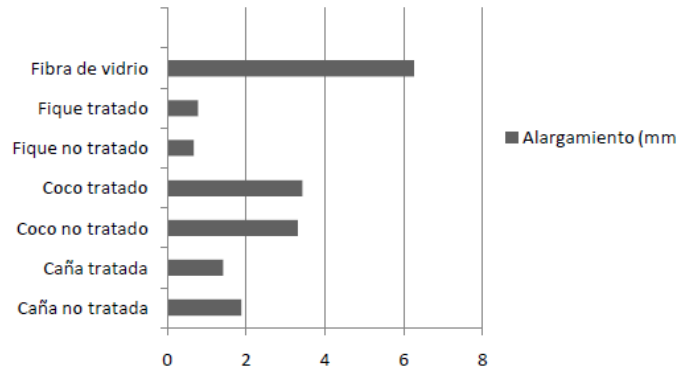
**Figura 1.2.** Alargamiento o deformación máximo de las fibras.

(Fuente: Gómez, 2009, p.46).

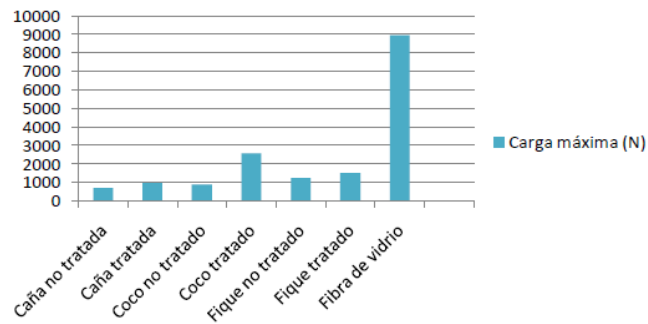


**Figura 1.3.** Módulo de elasticidad de los compuestos ensayados a tensión.

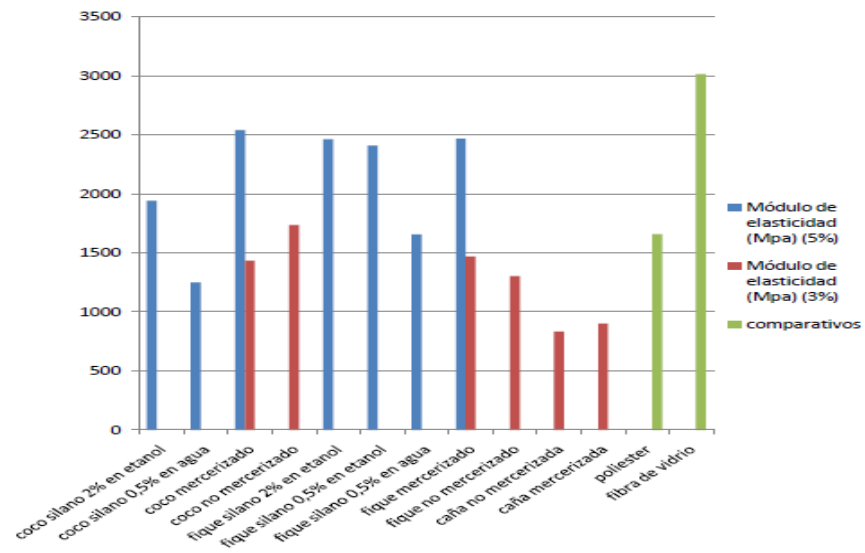
(Fuente: Gómez, 2009, p.48).



**Figura 1.4.** Alargamiento de los compuestos en el ensayo a tensión.  
(Fuente: Gómez, 2009, p.49).

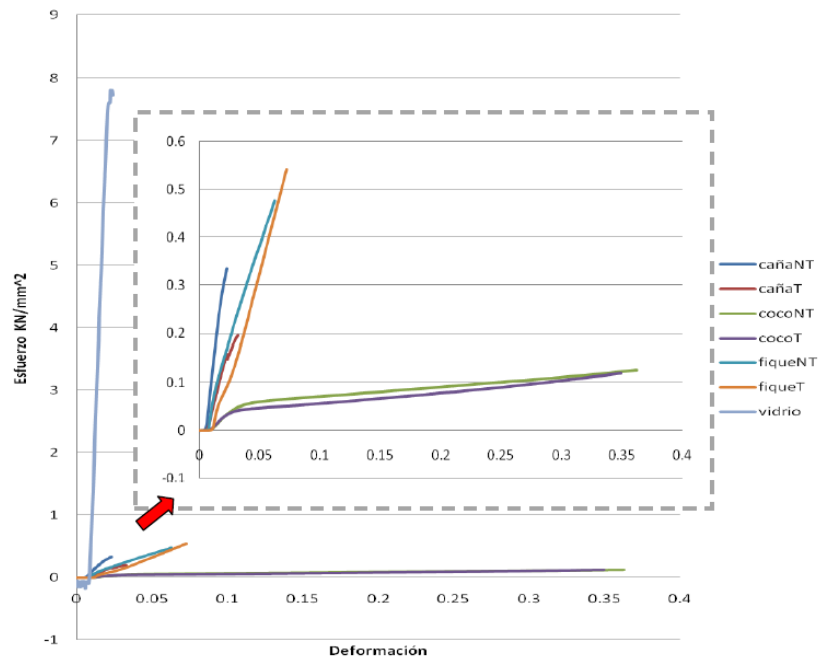


**Figura 1.5.** Carga de máximo o esfuerzo máximo soportado por el compuesto.  
(Fuente: Gómez, 2009, p.50).



**Figura 1.6.** Módulo de elasticidad en MPa, para materiales compuestos y poliéster.  
(Fuente: Gómez, 2009, p.52).





**Figura 1.7.** Esfuerzo vs. Deformación unitaria de las fibras.

(Fuente: Gómez, 2009, p.47).

El módulo de elasticidad de una fibra vegetal se encuentra entre los 2300 y los 19200 MPa. El comportamiento esfuerzo-deformación de las fibras se puede apreciar en la Figura 1.7., donde las fibras naturales tienen módulos de elasticidad bajos y características bastante diferentes; la fibra de coco presenta mayores deformaciones, las fibras de bagazo de caña tienen el módulo más alto, pero tienen un comportamiento frágil y las fibras de fique se ubican al centro de éstas. Al revisar el módulo específico es posible observar que las fibras naturales se benefician de su baja densidad y en mayor proporción las de coco, mientras que las fibras de vidrio se ven afectadas por la misma; sin embargo la diferencia entre los módulos de las fibras sigue siendo sensible.

Los compuestos elaborados con fibras de bagazo de caña no presentaron un comportamiento mecánico bueno, en comparación con aquellos compuestos elaborados con las fibras de fique y coco (Gómez, 2009, pp.64-65).

En el Ecuador, la utilización de fibras naturales se ha limitado en su mayor parte a la extracción y uso artesanal. Sin embargo, existen diversos proyectos de investigación en el campo de los materiales, los cuales se centran en el desarrollo y estudio de

aplicaciones de materiales compuestos reforzados con dichas fibras. Para esto, es necesario recordar que Ecuador posee cerca de 25 mil especies de plantas vasculares, lo que lo convierte en la nación con el mayor número de plantas (o unidad vegetal) por unidad de área en América Latina. Entre las plantas más utilizadas para la extracción de fibra están 25 especies. Se trata de fibras extraídas de plantas como la cabuya, totora, abacá, coco, palmas, paja toquilla, algodón, lufa, seda, bambú, bejucos, pitigua, balsa, matapalo, caucho, rampira, anona, batea, achiote, majagua, higuérón, ortiga, mimbre y bejuco real. Es así que el uso de refuerzos vegetales en materiales compuestos es prometedor en nuestro país. De esta forma, el principal objetivo de la investigación en este campo, es darle un valor agregado a los recursos naturales y no limitarse a la producción de bienes artesanales y exportación de fibras, además de generar nuevas alternativas de materiales con mejores características y que sean amigables con el ambiente.

Existen varios estudios realizados sobre este tipo de materiales compuestos como se destacan en la obra: Nuevos Materiales Aplicaciones Estructurales e Industriales, realizada por Guerrero, Dávila, Galeas, Pontón, Rosas, Sotomayor & Valdivieso, en el año 2011, a continuación se detallan varios de estos estudios realizados en los cuales se utiliza como refuerzos fibras naturales:

Materiales compuestos de abacá-poliéster: La formulación de material compuesto de abacá-poliéster que presentó las mejores propiedades mecánicas tanto de tracción como de flexión es la correspondiente a la configuración de fibra continua orientada longitudinalmente y de fracción volumétrica de refuerzo de 0,30. Esta formulación permitió al compuesto superar las propiedades mecánicas de la resina poliéster en aproximadamente el 270% en el esfuerzo máximo a la tracción, 124% en el módulo de elasticidad, 82% en el esfuerzo máximo a la flexión y 176% en el módulo a la flexión y mantener la elongación a la ruptura de la matriz. Esfuerzo máximo a tracción: 140 MPa, módulo de elasticidad: 4000 MPa, esfuerzo máximo a la flexión: 117 MPa, módulo a la flexión: 4800 MPa, resistencia al impacto: 0,4 J.

Materiales compuestos de cabuya – poliéster: La formulación con la mejor combinación de propiedades es de 75% de fibra longitudinal de abacá y 25% de fibra de vidrio, con valores promedio de esfuerzo máximo a la tracción y flexión de 137,77 y 126,73 MPa, respectivamente.

Materiales compuestos híbridos de abacá-vidrio-poliéster: La formulación con la mejor combinación de propiedades fue la de 75% de fibra continua unidireccional de abacá y 25% de fibra de vidrio. La resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad del material fueron de aproximadamente 138 y 4473 MPa, respectivamente. El esfuerzo máximo y el módulo a la flexión fueron de 127 y 5091 MPa, respectivamente.

Materiales compuestos híbridos de coco-vidrio-poliéster: Pese a que la configuración con el 75% de fibra de vidrio y 25% de fibra de coco presenta los mejores resultados en cuanto a propiedades mecánicas, el investigador seleccionó la configuración con el 50% de fibra de coco y 50% de fibra de vidrio ya que es deseable que el material tenga mayor biodegradación y baja densidad, lo cual se logra con el aumento de la concentración de fibra natural. Esfuerzo máximo a tracción: 35,71 MPa, esfuerzo máximo a flexión: 72,42 MPa (Guerrero, 2011, pp.223-258).

En la provincia de Tungurahua existe un estudio realizado en la Universidad Técnica de Ambato por el Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas en año 2012 que consiste en el “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.”, previo a la obtención del Grado Académico de Magíster en Diseño Mecánico.

La investigación realizada se basa en la caracterización mecánica del nuevo material compuesto con el que actualmente fabrican los guardachoques de buses y determina sus propiedades mecánicas a Tracción, Flexión e Impacto para determinar los parámetros de evaluación de la caracterización del material híbrido propuesto, estratificado a compresión y en función de fracciones volumétricas y las configuraciones ensayadas. El

investigador tiene como resultado de la caracterización y análisis de los ensayos que el material híbrido de configuración Fibra Larga al 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) es el que proporciona mejores características para ser aplicado en la fabricación de guardachoques de buses. A continuación se detalla los resultados obtenidos por el investigador (Paredes, 2012, p.18).

**Tabla 2.1.** Evaluación de combinación de propiedades mecánicas de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya.

EVALUACIÓN DE COMBINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS													
Tipo de Ensayo.	Espesor Promedio	Dif	TRACCIÓN				FLEXIÓN				IMPACTO		Acepta ó No Acepta (sobre 10)
			Esfuerzo Máximo (Mpa)	Dif	Módulo Elasticidad (Mpa)	Dif	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Dif	Módulo de Flexión (Mpa)	Dif	Rest. Máx. Impacto MFE= $hwf$ [J]	Dif	
FCo 2 - 30%	3,30	0,09	51,88	20,76	6258	1216	114,06	48,6	8229	7430	2,38	0,38	7,5
FL 30%	3,01	0,2	78,24	5,6	5272	230	120,52	42,1	8053	7606	2,38	0,38	9,3
FL 40%	3,00	0,21	92,20	19,56	5577	535	59,28	103	1799	3360	1,54	0,46	5,5
TP 30%	2,83	0,38	59,46	13,18	7948	2906	121,95	40,7	6751	8908	2,38	0,38	6,3
Parámetros	3,21		72,64		5042		162,64		15659		2,00		
Dev. Estd	0,20		7,50		2417		85,49		8121		0,42		

(Fuente: Paredes, 2012, p.169).

Dentro del país no se ha realizado estudios sobre la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña, así que realizar un estudio de este nuevo material compuesto ayudará a tener una nueva alternativa en cuanto se refiere al uso de materiales para la fabricación de butacas deportivas.

### 1.2.2. ANÁLISIS CRÍTICO.

El desarrollo tecnológico, la demanda de nuevos productos y la necesidad de materiales que puedan ser reciclados, han influenciado directamente al estudio y desarrollo de materiales a base de matrices termoestables reforzadas con fibras sintéticas o naturales. De esta manera han surgido materiales que cumplen con atractivas propiedades mecánicas que compiten con el acero y otros materiales tradicionales. Las industrias aeroespacial, aeronáutica, automovilística y deportiva han demostrado que es necesario

producir materiales con propiedades superiores a las de los materiales convencionales, esta necesidad se sule en buena medida con la creación de materiales compuestos que se ajustan a los requerimientos específicos de este tipo de industrias, en términos de comportamiento y propiedades.

En la actualidad los materiales compuestos se han venido desarrollando de una manera aceptable se utilizan las fibras naturales con la visión de suplir a ciertas fibras sintéticas que se utilizan, con la finalidad de que estos nuevos materiales compuestos con fibras naturales puedan ser biodegradables y de esta manera contribuir con la conservación ambiental.

### **1.2.3. PROGNOSIS.**

Al no realizar la investigación sobre el estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña, se seguirá utilizando para la fabricación de butacas deportivas los materiales tradicionales sin la oportunidad de abrir campo hacia el estudio de nuevos materiales los cuales podrían ser hacer biodegradables en cierta forma y de esta manera contribuir con la conservación ambiental.

### **1.2.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.**

¿El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña se podrá utilizar para la fabricación de butacas deportivas?

### **1.2.5. PREGUNTAS DIRECTRICES.**

- ¿Cuáles serán las propiedades físicas de la fibra de piña?
- ¿Cuáles serán las propiedades mecánicas que poseen los materiales tradicionales para la fabricación de butacas deportivas?

- ¿Se podrá evaluar las propiedades mecánicas a Tracción y Flexión del material compuesto por medio de las normas ASTM D3039-14 y ASTM D7264-07?
- ¿Qué ventajas y desventajas se podrán presentar al utilizar el material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña?
- ¿Con un análisis microscópico se podrá determinar si existe adherencia entre matriz y refuerzo?
- ¿Con la realización del presente estudio se podrán evaluar resultados teóricos con experimentales?

## **1.2.6. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.**

### **1.2.6.1. DE CONTENIDO.**

El siguiente estudio se llevará a cabo en los parámetros científicos de investigación del campo de la Ingeniería Mecánica con el estudio de la cátedra de Ingeniería de Materiales, tomando en consideración fuentes de consulta como: internet y libros de la biblioteca de la facultad, se delimita así:

Campo : Educación Técnica – “Ingeniería Mecánica”.

Área : Materiales.

Aspecto : Laboratorios de Materiales.

Tema : Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas.

### **1.2.6.2. ESPACIAL.**

El presente estudio se realizará en la ciudad de Ambato sector Huachi Chico, en los predios de la Universidad Técnica de Ambato, en los laboratorios de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Así como los ensayos en el laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional, ubicada en la ciudad de Quito.

### **1.2.6.3. TEMPORAL.**

El tiempo para realizar esta investigación será en el periodo Octubre – Abril 2015.

## **1.3. JUSTIFICACIÓN.**

El estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña, tiene como finalidad crear un nuevo material compuesto que brinde propiedades mecánicas aceptables y este sea aplicable para la fabricación de butacas deportivas, a la vez ofrecer una nueva alternativa para el uso de materiales utilizando como refuerzo un material orgánico y accesible.

Al finalizar el presente estudio puede traer consigo grandes beneficios de aprendizaje, podremos desarrollar nuestra capacidad de diseñar y de manufacturar piezas o moldes, además se abre campo en un tema en el que no se ha incursionado con suficiente investigación.

El constante desarrollo tecnológico que ha venido surgiendo nos obliga a llevar adelante nuevas alternativas en cuanto a la utilización de materiales compuestos en este caso el material utilizado es accesible, orgánico, renovable y resistente que tal vez en un futuro alguien pudiese estar interesado en utilizarlo esto se lo hace con la finalidad de aportar un poco para la ciencia y la experimentación en materiales y al mismo tiempo si no se logra tampoco lo consideraremos como un fracaso porque es también un resultado, es

decir si el material no llega a cumplir con nuestras expectativas, eso también es un aporte para la ciencia.

El estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña se lo puede realizar ya que contamos con todos los requerimientos necesarios para su ejecución, se cuenta con bibliografía, laboratorios y equipos necesarios para el desarrollo del mismo, además se cuenta con el conocimiento y experiencia del personal calificado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato y los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecánica.

#### **1.4. OBJETIVOS.**

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

Determinar la configuración de la fibra apropiada del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña para la fabricación de butacas deportivas.

##### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar las propiedades físicas de la fibra de piña.
- Determinar las propiedades mecánicas de los materiales tradicionales utilizados para la fabricación de butacas deportivas.
- Determinar las propiedades mecánicas a Tracción y Flexión del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña bajo las normas ASTM D3039-14 y ASTM D7264-07.
- Determinar las posibles ventajas y desventajas generadas en la utilización del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña.
- Determinar a través de un análisis microscópico si existe una buena adherencia entre matriz y refuerzo.
- Evaluar los resultados teóricos con los experimentales obtenidos del material compuesto.



## **CAPÍTULO II**

### **2. MARCO TEÓRICO.**

#### **2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.**

Para el presente estudio se ha tomado como referencia investigaciones realizadas con anterioridad, las mismas que se detallan a continuación:

El artículo que se describe a continuación fue publicado por la Revista Iberoamericana de Polímeros Quesada et al.

Cabe señalar que en este artículo mencionado el material utilizado es resina poliéster reforzado con fibra de rastrojo de piña, que es muy diferente al propuesto en el estudio pero que nos va hacer muy útil para la investigación que se desea realizar.

**Autores:** Karol Quesada Solís, Patricia Alvarado Aguilar, Rosario Sibaja Ballester, & José Vega Baudrit.

**Año de publicación:** Junio de 2005

**Lugar:**

- Laboratorio de Polímeros-POLIUNA, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- Laboratorio de Adhesión y Adhesivos, Universidad de Alicante, España.

**Tema:** “UTILIZACIÓN DE LAS FIBRAS DEL RASTROJO DE PIÑA (Ananas comusus, variedad champaka) COMO MATERIAL DE REFUERZO EN RESINAS DE POLIÉSTER”

## **Conclusiones:**

- El contenido de fibra óptimo en resistencia a la ruptura por tensión es de un 10%, la longitud de fibra que proporciona mejor resistencia a la ruptura en los materiales obtenidos es de longitudes cercanas a 1 mm. Sin embargo, los investigadores no encontraron una gran influencia del tamaño de fibra en las propiedades de tensión, lo que no justificaría la selección de un solo tamaño de fibra, desechando la posibilidad de utilizar los demás.
- La resistencia a la ruptura por tensión depende del contenido de fibra, para los materiales analizados con una longitud de fibra constante de 1 mm, esta propiedad tiene un leve incremento con un contenido de 10% pero a mayores porcentajes disminuyen las propiedades de tensión del material compuesto. El valor obtenido por los investigadores es de:  $17,6 \pm 0,4$  MPa.
- La tensión máxima de flexión determinada por los investigadores es de:  $122,4 \pm 0,3$  MPa. Sin embargo, la capacidad del mismo para resistir una carga en términos de deformación antes de romperse va en aumento conforme aumenta el contenido de fibra, lo cual puede ser una propiedad importante en la aplicación final de un producto de este tipo (Quesada et al., 2005, pp.167-171).

Otra tesis a considerar es la que a continuación se detalla:

**Autor:** Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas.

**Año de realización:** 2012.

**Lugar:** Este estudio se realizó en la provincia de Tungurahua, ciudad de Ambato, específicamente en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, dentro de la Universidad Técnica de Ambato, Campus Huachi. Así como los ensayos en el laboratorio de Materiales de Escuela Politécnica Nacional (EPN), ubicado en la ciudad de Quito.

**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.”

### **Conclusiones:**

- El material híbrido de configuración de fibra Larga de 30% y en un orden de capas (FV+FC+FV) es la que proporciona un mejor comportamiento en cuanto a propiedades mecánicas, siendo este el potencial material híbrido alternativo que presenta esta investigación para la fabricación de un guardachoque para bus.

- Esfuerzo máximo a tracción: 78,24 Mpa, Modulo de elasticidad: 5272 Mpa.
- Esfuerzo máximo a flexión: 120,52 Mpa, Modulo de flexión: 8053 Mpa.
- Resistencia máxima al impacto: 2,38 MFE=hwf [J] (Paredes, 2012, p.169).

### **2.2. FUNDAMENTACIÓN FILOSÓFICA.**

La presente investigación está ubicada en el paradigma crítico propositivo; crítico porque aporta a una realidad de avances tecnológicos en el área de materiales y propositivo por cuanto busca plantear una nueva alternativa para el uso de nuevos materiales compuestos.

### **2.3. FUNDAMENTACIÓN LEGAL.**

Las normas a utilizar para los ensayos de tracción y flexión serán:

- Ensayo a Tracción: ASTM D3039/D3039M – 14, Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials.
- Ensayo a Tracción: ASTM D638/D638M – 10, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
- Ensayo a Flexión: ASTM D7264 / D7264M – 07, Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials.

## **2.4. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.**

Fundamentar este trabajo de investigación exige recopilar información de carácter bibliográfico, documental y electrónico, tomando en cuenta la categorización de los temas tendremos:

### **2.4.1. INGENIERÍA DE MATERIALES.**

Los materiales son sustancias que componen cualquier cosa o producto. Desde el inicio de la civilización, junto con la energía, los materiales han sido utilizados por el hombre para mejorar su calidad de vida. Como los productos están fabricados a base de materiales, éstos se encuentran en cualquier parte alrededor de nuestro entorno.

Debido al progreso de programas de investigación y desarrollo, se están creando continuamente nuevos materiales. La producción de nuevos materiales y el procesamiento de los mismos hasta convertirlos en productos acabados constituyen una parte importante en nuestra economía actual.

Los ingenieros diseñan la mayoría de los productos manufacturados y los procesos necesarios para su fabricación. Puesto que la producción requiere materiales, los ingenieros deben conocer su estructura interna y las propiedades, de tal modo que sean capaces de seleccionar la forma más adecuada para cada aplicación y también de desarrollar los mejores métodos de procesado. Los ingenieros, investigadores especializados trabajan para crear nuevos materiales o modificar las propiedades de los ya existentes (Sánchez & Campos, 2010, pp.11-12).

Todos los ingenieros tienen que ver con materiales, deben tomarse una diversidad de decisiones importantes en cuanto a la selección de los materiales a incorporar en un diseño, incluyendo si los materiales pueden ser transformados de una manera consistente en un producto, con las tolerancias dimensionales correctas y si pueden mantener la forma correcta durante su uso. También, si las propiedades requeridas pueden conseguir y mantener durante el uso; si el material es compatible con otras partes de un ensamble y

puede fácilmente unirse; por otra parte, considerar que pueda reciclarse fácilmente y observar si el material o su fabricación puede causar problemas ecológicos (Donald, 1998, p.5).

## **2.4.2. MATERIALES COMPUESTOS.**

### **2.4.2.1. Definición.**

Los materiales compuestos se obtienen al unirse dos materiales para conseguir una combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales en forma individual. Estos compuestos pueden seleccionarse para obtener combinaciones poco usuales de rigidez, peso, resistencia, rendimiento a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad (Donald, 1998, p.508).

Para que un material sea considerado compuesto debe cumplir las siguientes características:

- Debe constar de dos o más materiales químicamente distintos y separables mecánicamente.
- Debe ser fabricado al mezclar los materiales constituyentes, de dicha forma que la dispersión de un material en el otro se realice de manera controlada para alcanzar unas propiedades óptimas.
- Las propiedades del compuesto deben ser superiores que las de los componentes individuales, y posiblemente únicas en algún aspecto específico.

El uso de este tipo de materiales se ha incrementado notablemente en las últimas décadas dado que tienen el potencial de reemplazar materiales convencionales tales como el acero y el aluminio, debido a sus propiedades ya que son livianos y resistentes (Guerrero et al., 2011, p.33).

### 2.4.2.2. Clasificación de los materiales compuestos.

Un esquema simple de clasificación de los materiales compuestos consta de tres divisiones como se observa en la Figura 2.1., compuestos reforzados con partículas, compuestos reforzados con fibras y compuestos estructurales; además, existen dos subdivisiones para cada una de ellas. Se debe mencionar que la fase dispersa de los materiales compuestos reforzados con fibras poseen una relación longitud-diámetro (factor de forma) muy alta (Moral & Nogueira, 2007, pp.3-4).

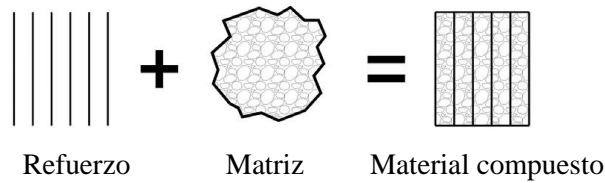


*Figura 2.1. Clasificación de los Materiales Compuestos.*

*(Fuente: Moral, 2007, p.4).*

### 2.4.2.3. Componentes de los materiales compuestos.

Un material compuesto es básicamente un sistema de materiales formado por dos o más fases distintas, cuya combinación proporciona propiedades diferentes y mejores a las de sus constituyentes. En la Figura 2.2., se ilustra la configuración básica de un material compuesto reforzado con fibras. Se considera a un material compuesto como un material multifásico, lo que refleja la importancia de cada una de las fases constituyentes. Es decir, la combinación de las propiedades debe ser adecuadas, para que el resultado generado sea un material con propiedades mejoradas de manera significativa (Mazumdar, 2003, citado por Guerrero et al., 2011, p.49).



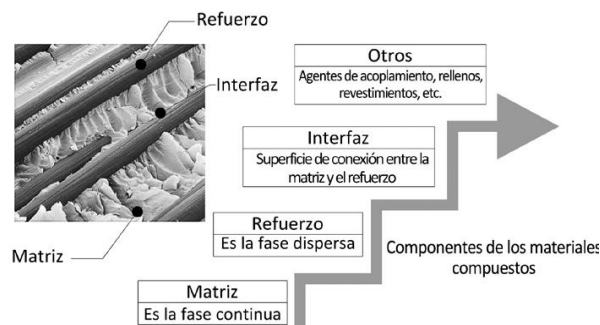
**Figura 2.2.** Configuración básica de un material compuesto.

(Fuente: Mazumdar, 2003 citado por Guerrero et al., 2011, p.50).

Los materiales compuestos pueden ser diseñados para exhibir distintas propiedades específicas requeridas. Estas se obtienen de acuerdo a la elección de sus componentes, sus proporciones, morfología, distribución, grado de cristalinidad, textura cristalográfica, así como por su composición de la interfaz y estructura.

Los materiales compuestos se pueden diseñar para que cumplan las necesidades de tecnologías relacionadas con la industria aeroespacial, automotriz, construcción, generación de energía, electrónica, biomédica, entre otras. Como resultado, estos materiales compuestos constituyen actualmente la mayor parte de los materiales ingenieriles (Chung, 2010 citado por Guerrero et al., 2011, p.50).

Los componentes de un material compuesto se denominan: matriz y refuerzo, la superficie de conexión entre estos se denomina interfaz. Además, existe la posibilidad de que se incorporen agentes de acoplamiento, rellenos y revestimientos, siendo su principal objetivo mejorar la superficie de la interfaz del composite, de tal manera que las propiedades del material compuesto se magnifiquen en lugar de verse afectadas. En la Figura 2.3., se ilustran los componentes de un material compuesto.



**Figura 2.3.** Componentes los materiales compuestos.

(Fuente: Guerrero et al., 2011, p.50).

En la Figura 2.3., se observa un plástico reforzado con fibras. La matriz es una resina epoxi resistente al calor hasta 400°C. El refuerzo del material compuesto son fibras de carbono, las mismas que absorben los esfuerzos generados en el material. Este tipo de material compuesto es utilizado en la industria aeroespacial y automotriz, además se lo utiliza en las placas de circuitos electrónicos (Guerrero et al., 2011, p.p.50-51).

### **2.4.3. MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA DE PIÑA.**

#### **2.4.3.1. Matrices y refuerzos.**

Dentro de un material compuesto la matriz desempeña varias funciones. Principalmente es la fase continua, la cual engloba y sostiene a los elementos de refuerzo, entregando consistencia y continuidad al material. Entre las funciones básicas de un material compuesto se tienen las siguientes:

(i) Aglutinar los refuerzos, (ii) transferir cargas aplicadas sobre la matriz hacia los refuerzos, (iii) proteger la superficie del material de los refuerzos de la abrasión mecánica, (iv) proveer al refuerzo de una barrera contra los efectos del medio ambiente como la humedad y (v) en caso que el material esté reforzado con fibras, la matriz debe proveer soporte lateral contra la posibilidad de pandeo de estas bajo cargas de compresión.

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

El modo de falla del material compuesto está afectado en gran parte por el tipo de matriz y por su compatibilidad con el refuerzo. Por otro lado, en el caso de las propiedades



eléctricas, la matriz puede dotar al material compuesto de una capacidad aislante o conductora. En cuanto se refiere a las propiedades químicas, estas son determinantes en la resistencia de un compuesto expuesto a la acción del medio ambiente.

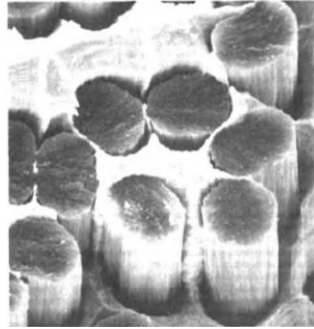
El principal papel que desempeña el refuerzo es mejorar las características de la matriz, el refuerzo es el componente dentro de un material compuesto que soporta la carga y que puede aportar con distintas propiedades al material compuesto, por ejemplo, características de conductividad eléctrica o aislamiento, propiedades estructurales, estabilidad térmica, etc. (Guerrero et al., 2011, p.51).

#### **2.4.3.2. Unión y falla.**

Particularmente en los materiales compuestos de matriz polimérica y metálica, debe obtenerse una aceptable unión entre los diversos constituyentes. Las fibras o material de refuerzo deben estar firmemente unidas al material de la matriz, la carga debe transferirse correctamente de la matriz a las fibras del material compuesto. Si la unión de estas es pobre, las fibras pueden llegar a salirse de la matriz durante la carga, reduciendo la resistencia y la resistencia a la fractura del material compuesto. La figura 2.4, ilustra una unión pobre entre las fibras de carbono en una matriz de cobre. En algunos casos, para mejorar la dicha unión se pueden utilizar recubrimientos especiales. Las fibras de vidrio se pueden recubrir con silano, que es un agente orgánico (conocido como recubierta) para obtener una mejor unión y resistencia a la humedad en compuestos de fibra de vidrio. Similarmente, las fibras de carbono también pueden ser recubiertas con un material orgánico para mejorar la unión del material compuesto (matriz-refuerzo).

Otra propiedad que debe ser tomada en consideración al introducir fibras en una matriz es la similitud de los coeficientes de expansión térmica de ambos materiales. Si la fibra utilizada se expande y se contrae a una razón muy diferente a la de la matriz del material compuestos, las fibras se pueden romper, o la unión se destruye causando falla prematura del material.

En muchos materiales compuestos, las capas o chapas individuales de “tejido” se unen. La unión entre dichas capas también debe ser buena o puede ocurrir otro inconveniente, que es la delaminación, esto es que las capas pueden llegar a separarse bajo carga y causar falla. Para evitar la delaminación se utilizan materiales compuestos con tejido tridimensional (Donald, 1998, p.p.528-529).



*Figura 2.4. Microfotografía obtenida por microscopía electrónica de barrido de la superficie de fractura de una aleación plata-cobre, reforzada con fibras de carbono.*

*(Fuente: Donald, 1998, p.528).*

#### **2.4.3.3. Matrices poliméricas.**

Los materiales compuestos de matriz polimérica están integrados por una matriz de polímero termoplástico o termoestable y una estructura de refuerzo que esta puede presentarse en varias formas como en partículas o en fibras cortas, largas o continuas. Los refuerzos más utilizados son las fibras, por lo general y la más comunes son la fibra de vidrio, de carbono o de aramida.

Los polímeros termoestables se obtienen mediante el calentamiento en una transformación irreversible. Las principales resinas termoestables más utilizadas son los poliésteres insaturados, las resinas de epóxidos y las resinas fenólicas.

Los materiales compuestos de matriz termoestables representan el 70% de los materiales transformados en Europa. Por otra parte, los polímeros termoplásticos se endurecen

durante el enfriamiento del mismo, el proceso de transformación químico que los fabrica es reversible (Sánchez & Campos, 2010, p.379).

### **Tipos de matrices poliméricas.**

Las matrices poliméricas pueden ser de tres tipos: termoplásticas, termoestables y elastoméricas.

#### **a) Matrices termoplásticas.**

Este tipo de matrices pasan al estado líquido cuando son calentadas. Este tipo de ciclo reversible de ablandamiento y endurecimiento es el responsable de su aptitud para el reciclaje. Varios ejemplos de matrices termoplásticas son el polietileno (PE), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC) y polietilen-tereftalato (PET). También, se obtienen polímeros termoplásticos de origen natural, como el ácido poliláctico (PLA) o el polihidroxibutirato (PHB), los cuales proporcionan propiedades muy similares al PE, PP y demás polímeros termoplásticos derivados del petróleo.

#### **b) Matrices elastoméricas.**

Estas matrices tienen una zona elástica grande y se pueden estirar hasta cinco o seis veces de su longitud original. Sin embargo, sus módulos de elasticidad son bajos. Estas matrices tienen menos enlaces de reticulación entre cadenas que los termoestables. El caucho natural pertenece a este tipo de matrices elastoméricas (Guerrero et al., 2011, p.51).

#### **c) Matrices termoestables.**

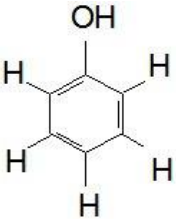
Este tipo de polímeros presentan una estructura de tipo reticular a base de uniones covalentes, con entrelazamiento transversal de cadenas generadas por el calor o por una combinación de calor y presión durante la reacción de polimerización. Por lo general, los

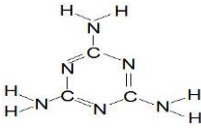
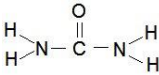
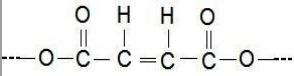
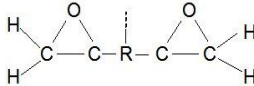
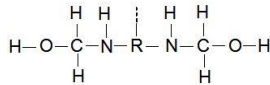
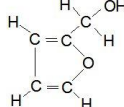
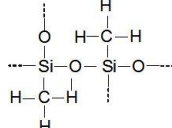
polímeros termoestables se obtienen en forma de dos resinas líquidas. Una de ellas contiene los agentes de curado, endurecedores y plastificantes, la otra contiene materiales de relleno y/o reforzantes que pueden ser orgánicos o inorgánicos. Cuando se mezclan estos dos tipos de componentes, se inicia la reacción de entrecruzado, de igual modo que en otros se inicia por calor y/o presión. Por esto, los termoestables no pueden ser recalentados y refundidos como los termoplásticos. Esta es una desventaja debido a que los fragmentos producidos durante el proceso no se pueden reciclar y usar. Las ventajas de los plásticos termoestables para aplicaciones en ingeniería se presentan a continuación:

- 1 - Alta estabilidad térmica.
- 2 - Peso ligero.
- 3 - Alta estabilidad dimensional.
- 4 - Resistencia a la termofluencia y deformación bajo carga.
- 5 - Alta rigidez.
- 6 - Altas propiedades de aislamiento eléctrico y térmico.

En la Tabla 2.1., se muestran las características y propiedades más importantes de los termoestables (Ferrer, Amigó & Moya, 1999, pp.553-554).

*Tabla 2.1. Estructura, propiedades y aplicaciones de diferentes polímeros termoestables industriales.*

Polímero	Estructura	Carga rotura (MPa)	Alarg. (%)	Módulo de elasticidad (GPa)	Densidad (Mg/m <sup>3</sup> )	Aplicaciones
Fenólicos		34-62	0-2	2.8-9.0	1.27	Adhesivos, revestimientos, laminados.

Aminas	<p>Melamina</p>  <p>Urea</p> 	34-69	0-1	6.9-11.0	1.50	Adhesivos, almacenamiento de alimentos, moldeados eléctricos.
Poliésteres		41-90	0-3	2.1-4.5	1.28	Moldeados eléctricos, laminados decorativos, matrices para refuerzo con fibra de vidrio.
Epoxis		28-103	0-6	2.8-3.4	1.25	Adhesivos, moldeados eléctricos, matriz para laminados aeronáuticos.
Uretanos		34-68	3-6		1.30	Fibras, revestimientos, espumas, aislantes.
Furanos		21-31	0	10.9	1.75	Aglomerantes para moldeado en arena.
Siliconas		21-28	0	8.3	1.55	Adhesivos, juntas y cierres estancos.

(Fuente: Ferrer, et al., 1999, pp.553-554).

#### 2.4.3.4. Resinas epóxicas.

Las resinas epóxicas son una familia de materiales poliméricos termofijos, ya que estos no generan productos de reacción cuando son endurecidos (enlace cruzado) y, por tanto, poseen baja contracción al curar. Este tipo de resinas también tienen una buena adhesión

a otros materiales, buena resistencia química y al medio ambiente, buenas propiedades como aislantes eléctricos y buenas propiedades mecánicas (Smith, 2004, p.525).

#### **a) Características.**

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

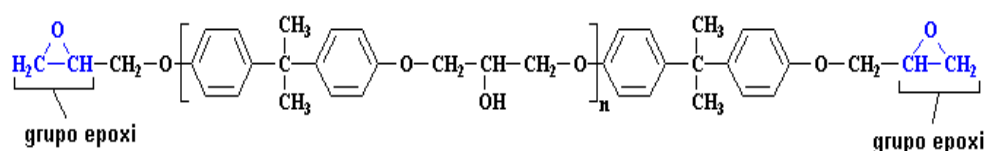
Actualmente con el elevado número de variedades de resinas básicas y el avance conseguido en los sistemas de aplicación, es difícil imaginar un área tecnológica en donde las resinas epoxi no estén siendo usadas. Un endurecedor o agente de curado es un producto que cuando se añade a una dicha sustancia macromolecular determinada en cantidades superiores a las catalíticas, reacciona con ésta y la convierte en un polímero irreversible que constara de una serie de características perfectamente definidas, de las que anteriormente carecía. Entre los varios sistemas de importancia industrial que utilizan endurecedores se encuentran los sistemas de resinas epoxídicas.

La tensión del enlace del anillo oxirano es muy elevada, siendo por esto de una alta reactividad tanto química como bioquímica, por lo que es fácilmente atacado por la mayoría de compuestos de adición.

Según el origen de los grupos oxiranos, la familia de las resinas epóxicas se dividen en cinco grupos principales:

- Éteres glicéricos
- Ésteres glicéricos
- Aminas glicéricos
- Alifáticas lineales
- Cicloalifáticas

Comercialmente los éteres son más importantes, ya que el 95% de las resinas utilizadas son glicidil-éteres obtenidos por reacción de la epíclorhidrina con el bisfenol A (2-2-bis(p-hidroxifenil)propano) con formación de una molécula de diglicil éter de bisfenol. La razón del uso de estas materias primas es por una parte la alta reactividad de la epíclorhidrina que permite su combinación con cualquier molécula portadora de hidrógenos activos, así como su fácil obtención por petroquímica. El bisfenol A es comparativamente barato al serlo los productos de partida para su síntesis: acetona y fenol. Variando las reacciones estequiométricas entre la epíclorhidrina y el bisfenol A, se obtiene una molécula del siguiente tipo:



**Figura 2.5.** Estructura química general de las resinas epoxi.

(Fuente: Mariano, 2011, sin p.).

Siendo  $n$  el grado de polimerización y que puede llegar a variar desde  $n=1$  hasta  $n=12$ , según la proporción de los reaccionantes, se conforman mezclas variables de resinas de alto y bajo peso molecular.

La parte repetida de la molécula tiene un peso molecular de 284. Los pesos de las moléculas sucesivas serán:  $n = 0$ ; P.M. = 340,  $n = 1$ ; P.M. = 624,  $n = 2$ ; P.M. = 908, etc., lo que confiere a cada una de las resinas distintas características. Cuando el peso molecular es superior a los 908, son sólidas, mientras que resinas con menor peso molecular son líquidas o semisólidas.

Las resinas comerciales son mezclas de distintos pesos, de manera que suele conocerse el peso molecular promedio pero no la distribución de los oligómeros en la muestra.

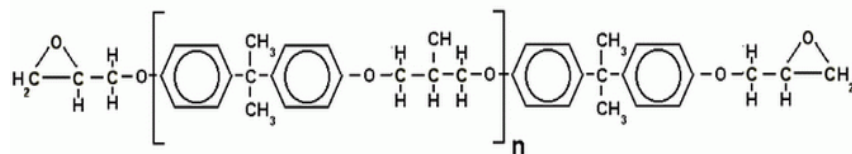
Además del peso molecular, existen otros parámetros que caracterizan las resinas epoxi:

- Equivalente epoxi: Es el peso de resina que contiene un equivalente gramo de epoxi. Se considera como la mitad del peso molecular medio.
- Índice de hidroxilo: Es el peso de la resina que contiene un equivalente gramo de hidroxilo.
- Contenido de cloro reactivo: Es el cloro presente en forma de cloruro hidrolizable, como producto de la presencia de trazas clorhídricas en el proceso de síntesis.
- Color de la resina: Es el producto de los grupos fenólicos libres y que por oxidación forman quinonas coloreadas.
- Punto de fusión: Que al ser de una mezcla no se presenta en un intervalo muy estrecho, adoptándose la temperatura a la cual la resina le da un grado de fluidez arbitrario.
- Viscosidad y contenido en volátiles.

## b) Clases de resinas epoxi.

### - Resinas epoxi a base de bisfenol A.

Son las más usadas por ser versátiles y baratas, proviene de la reacción de epiclorhidrina y bisfenol A, pueden ser estas líquidas, semisólidas o sólidas dependiendo del peso molecular.



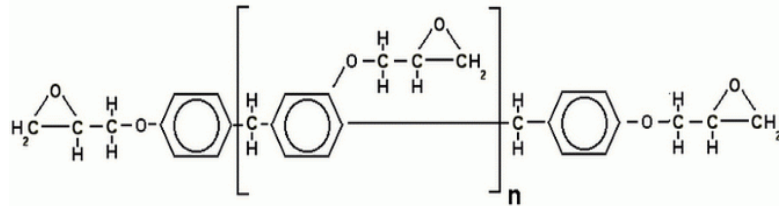
**Figura 2.6.** Estructura química de Resinas epoxi a base de bisfenol A.

(Fuente: Mariano, 2011, sin p.).



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

El remplazo de bisfenol A por bisfenol F proporciona a las resinas epoxi mayor entrecruzamiento y mejor comportamiento mecánico, térmico y químico, sobre todo si es curado con aminas aromáticos o anhídridos.

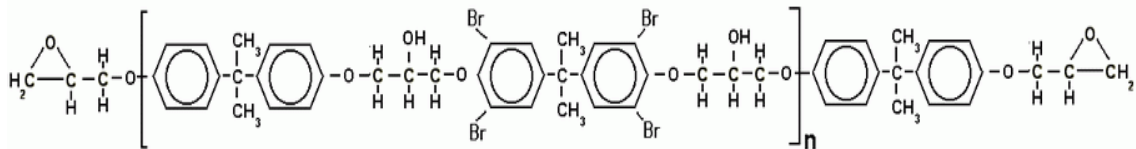


*Figura 2.7. Estructura química de Resinas epoxi a base de bisfenol F y/o novolac.*

*(Fuente: Mariano, 2011, sin p.).*

- **Resinas epoxi bromadas.**

Estas son resinas a base de epíclorhidrina y tetrabromobisfenol A, las cuatro moléculas adicionales de bromo proporciona a las resinas la característica de autoextinción.

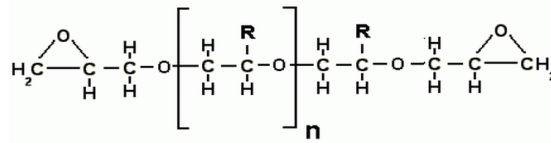


*Figura 2.8. Estructura química de Resinas epoxi bromadas.*

*(Fuente: Mariano, 2011, sin p.).*

- **Resinas epoxi flexibles.**

Estas resinas poseen largas cadenas lineales sustituyendo los bisfenoles por poliglicoles poco ramificados, estas resinas poseen baja reactividad que normalmente son utilizadas como flexibilizantes reactivos en otras resinas, mejorando la resistencia al impacto.



**Figura 2.9.** Estructura química de Resinas epoxi flexibles.

(Fuente: Mariano, 2011, sin p.).

### c) Propiedades de las resinas epoxi.

El elevado número de resinas epoxi y endurecedores generan una amplia gama de propiedades en los distintos productos existentes.

No obstante, se puede llegar a lograr ampliar esta gama con la incorporación de los modificadores, que van a potenciar la versatilidad y utilidad de las resinas epoxi (Mariano, 2011, sin pp.).

### d) Características generales de las diferentes resinas.

A continuación se detallan varias características que presentan los diferentes tipos de resinas.

**Tabla 2.2.** Características generales de las diferentes resinas.

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado UP	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Vinilester	Resina Poliimida
Densidad(gr/cm <sup>3</sup> )	1.17-1.26	1.17-1.25	1.25-1.3	1.17-1.25	1.27-1.42
Alargamiento ala rotura (%)	<3	6-8	<3	3.5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente hasta 180	Temperatura ambiente hasta 170	150-190	Temperatura ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas	Muy		Buenas		Depende del fabricante
Calor de reacción	Reacción	exotérmica	dependiente	de la geometría pieza	
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1.8 y 2.4	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0.4	Hasta 1	Prácticamente ninguna
Tiempo de almacenamiento	Temp.Amb. 6 meses	Bajas Temp. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses	Temp.Amb. 6 meses

(Fuente: Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales, 2013, sin p.).

#### **e) Aplicaciones de resinas epóxicas.**

Las resinas epóxicas se utilizan en una amplia variedad de recubrimientos protectores y decorativos gracias a su buena adhesión y su buena resistencia mecánica y química. Este tipo de resinas se usan principalmente en revestimientos de latas y tambores, recubrimientos para pintura de automóviles y artefactos, y recubrimientos de cables. Dentro de la industria eléctrica y electrónica, las resinas epóxicas se usan debido a su resistencia dieléctrica, baja contracción durante el curado, buena adhesión y su capacidad de conservar sus propiedades bajo distintas condiciones ambientales, como sitios mojados y con una alta humedad. Las aplicaciones típicas de este tipo de resinas incluyen aislantes de alto voltaje, conmutadores y encapsulados de transistores. Las resinas epóxicas se utilizan también para la fabricación de laminados y materiales de matriz de fibra reforzada. Este tipo de resinas son el material matriz predominante en la mayoría de los componentes de alto desempeño, como en los fabricados con fibras de módulos altos (Smith, 2004, p.527).

#### **2.4.3.5. Refuerzo con fibras.**

Por lo general, este tipo de materiales compuestos consiguen mayor resistencia a la fatiga, mejor rigidez y una buena relación resistencia-peso, al utilizar fibras resistentes y rígidas, aunque frágiles, en una matriz más blanda y dúctil. El material matriz transmite la fuerza a las fibras (material de refuerzo), las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del material compuesto puede resultar alta a temperatura ambiente y a temperaturas elevadas. Igual que en los materiales compuestos particulados, la regla general de las mezclas predice algunas de sus propiedades (Sánchez & Campos, 2010, p.56).

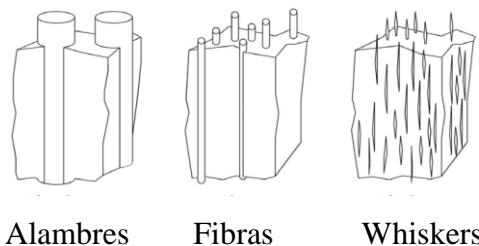
Desde un punto de vista tecnológico, los materiales compuestos más importantes son aquellos en los cuales la fase dispersa está formada por fibras (refuerzo). La mayoría de estos materiales compuestos alcanza una mejor resistencia a la fatiga, rigidez y relación resistencia-peso al incorporar fibras rígidas y resistentes, en una matriz más blanda y

dúctil. El material de la matriz transmite la carga generada a las fibras, las cuales soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. Según el diámetro y a sus características, las fibras pueden ser agrupadas en tres grupos diferentes: whiskers, fibras y alambres.

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

En cuanto a las fibras, estas son materiales policristalinos o amorfos, tienen diámetros pequeños y poseen una gran longitud. Los materiales de las fibras son generalmente polímeros o cerámicos (por ejemplo aramidas, vidrio, carbono, boro, óxido de aluminio y carburo de silicio). También se obtiene la utilización de fibras naturales como abacá, cabuya y coco, incorporados como refuerzos en una matriz polimérica. Este tipo de materiales compuestos ofrecen muchas ventajas, entre las cuales cabe señalar la reducción de costo de manufactura y su menor impacto ambiental.

Los refuerzos de alambres tienen diámetros relativamente grandes. Típicamente estos tipos de materiales incluyen al acero, molibdeno y tungsteno. Estos son utilizados especialmente como refuerzos radiales en llantas de automóviles. Tal es así que, las propiedades de los materiales compuestos reforzados con fibras dependen básicamente de la longitud, orientación, diámetro, cantidad y propiedades mecánicas de las fibras, de las propiedades de la matriz y de la interfaz fibra-matriz. En la Figura 2.10., se muestran los refuerzos de alambres, fibras y whiskers (Guerrero et al., 2011, pp.56-57).



**Figura 2.10.** Refuerzos de alambres, fibras y whiskers.

(Fuente: V.H. Guerrero, 2011, p.57).

### a) Influencia de la orientación y cantidad de la fibra.

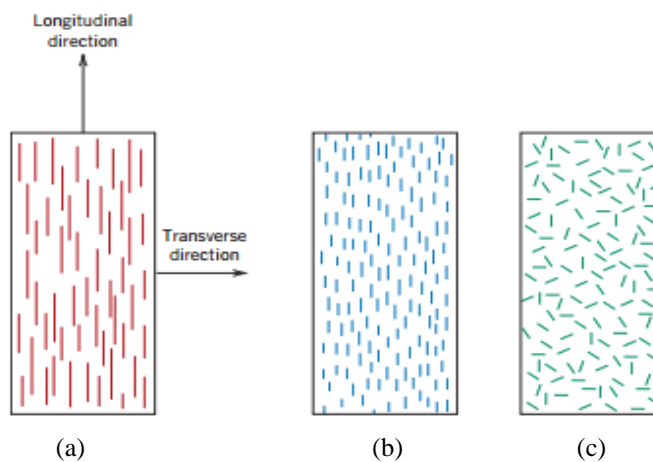
La orientación, su cantidad y distribución de la fibra tienen una influencia significativa en su resistencia mecánica y en otras propiedades de los materiales compuestos.

De acuerdo a la alineación de la fibra, básicamente existen dos posibilidades:

(i) Alineación en dirección paralela al eje longitudinal de las fibras (fibras continuas y discontinuas) y (ii) alineación totalmente al azar.

En la Figura 2.11., se muestran las alineaciones posibles de un material compuesto reforzado con fibra.

Sin embargo, existen distintas posibilidades en cuanto se refiere a la arquitectura de este tipo de refuerzos, pues pueden existir tejidos y no tejidos con diferente organización (Callister, 2007, pp.586-587).



**Figura 2.11.** Orientación de la fibra.

(a) continua y alineada, (b) discontinua y alineada y (c) discontinua al azar.

(Fuente: Callister, 2007, p.587).

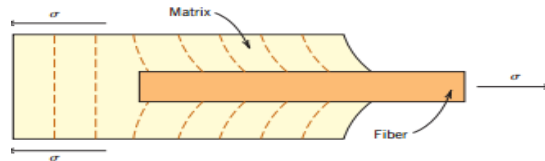
La orientación de la fibra o del material de refuerzo es muy importante para las propiedades finales del material compuesto.

Cuando se utiliza una fibra continua y alineada, las propiedades mecánicas dependerán básicamente del ángulo formado entre la dirección de aplicación de la carga y la dirección de la fibra.

**b) Influencia de la longitud de la fibra en compuestos reforzados con fibras discontinuas alineadas.**

Las características de un material compuesto no solo dependen de las propiedades de la fibra, sino también del grado en el cual una carga aplicada puede ser transmitida de la matriz a las fibras. Por ello, es muy importante asegurar la unión existente entre la fibra y la matriz, ya que la carga es transferida por un mecanismo de corte.

La deformación de la matriz es mayor a la de las fibras adyacentes. Si existe una perfecta unión entre fibra y matriz, la diferencia en la deformación crea un esfuerzo de corte en la sección transversal. En la Figura 2.12., se ilustra una deformación cortante generada debido a la transferencia de la carga.



**Figura 2.12.** Deformación generada en la matriz alrededor de una fibra sometida a una carga de tensión.  
(Fuente: Callister, 2007, p.585).

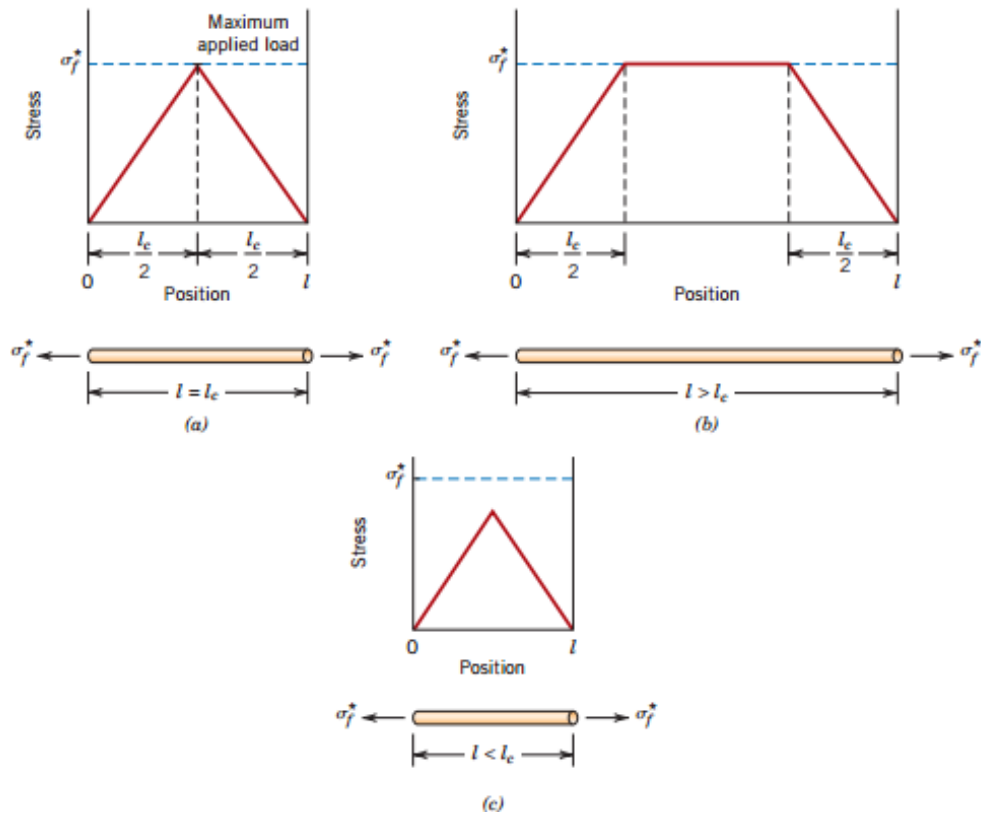
En la gráfica se observa el efecto que tiene el extremo de la fibra en la matriz, es en este punto donde se termina la unión entre la fibra y matriz. Ignorando la transferencia de esfuerzo al final de la fibra y la interacción de las fibras vecinas.

Tiene que existir una longitud mínima efectiva para la transmisión de la carga y esfuerzos para un diámetro de fibra dado. Esta longitud mínima o crítica  $l_c$  dependerá del diámetro de la fibra ( $d_f$ ), su resistencia a la tracción y del esfuerzo ( $\sigma_f^*$ ) de corte ( $\tau_i$ ) que existe entre la fibra y la matriz.

Para una dicha longitud de fibra menor a la crítica, el esfuerzo inducido en la fibra es menor que el que es capaz de soportar, en este caso la intercara o la matriz pueden llegar a fallar antes de que la fibra alcance su esfuerzo potencial. Por otro lado, cuando la longitud de fibra es mayor que la crítica, la fibra puede alcanzar su valor máximo de esfuerzo.

En una fibra de diámetro  $d_f$  y de longitud  $l_c$ , se obtendrá que el esfuerzo máximo es soportado en el punto medio de la fibra. Pero para distancias iguales a  $l_c/2$  de cada extremo de la fibra, esta puede resultar poco efectiva, por lo tanto, para tener un refuerzo efectivo se debe aumentar la longitud del refuerzo, mucho más allá del valor crítico.

Además, se puede controlar y mejorar el esfuerzo de corte al instante de fabricar o unir las fibras a la matriz, de tal modo que se puede llegar a disminuir la longitud crítica necesaria. Todo esto se puede visualizar en la Figura 2.13.



**Figura 2.13.** Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra.

(Fuente: Callister, 2007, p.586).

Cabe señalar que no solamente es deseable tener una gran relación entre la longitud de la fibra y su radio, sino además entre el módulo de corte en la interfaz y el módulo de elasticidad en las fibras discontinuas.

Las fibras cortas o discontinuas proporcionan una menor resistencia. Debido a esto, son las que han tomado mayor fuerza en el mercado, como por ejemplo la fibra de vidrio. Esto se debe a los costos de producción ya que estos son bajos y es fácil obtener piezas de distintas formas, que con fibra continua no son fabricables. Por este motivo, el proceso de fabricación tiene que ser seleccionado en función del refuerzo con el que se vaya a trabajar pues de esto dependerá la facilidad o complejidad para fabricar un composite (Callister, 2007, pp.585-586).

**c) Regla de las mezclas en los compuestos reforzados por fibra.**

Al igual que en los compuestos particulados, la regla de las mezclas siempre generara la densidad de los compuestos reforzados con fibra.

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

Dónde los subíndices m y f se refieren a la matriz y a la fibra del material compuesto. Observe que  $f_m = 1 - f_f$ .

La regla de las mezclas predice con exactitud las conductividades eléctrica y térmica de material compuestos reforzado con fibra a lo largo de la dirección de las fibras, si las mismas son continuas y unidireccionales:

$$K_c = f_m K_m + f_f K_f$$

$\sigma_c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f$  Donde K es la conductividad térmica y  $\sigma$  es la conductividad eléctrica. La energía térmica o eléctrica se transfiere a través del compuesto a una velocidad proporcional a la fracción volumétrica del material conductor.



En un material compuesto con una matriz metálica y fibras cerámicas, el grueso de la energía se transfiere por medio de la matriz; en un compuesto formado por una matriz polimérica con fibras metálicas, la energía se transfiere a través de las fibras (material de refuerzo).

Si las fibras no son continuas o unidireccionales, no se puede aplicar esta regla. Por ejemplo, en un material compuesto de matriz polimérica con fibras metálicas, la conductividad eléctrica de esta es baja y depende de la longitud de las fibras, de la fracción volumétrica de estas y de la frecuencia con que las fibras se tocan entre sí mismas.

#### **d) Módulo de elasticidad.**

Si las fibras son continuas y unidireccionales se aplica la regla de las mezclas para predecir el módulo de elasticidad. Medido paralelamente a las fibras, el módulo de elasticidad puede llegar a tener un valor alto.

$$E_c = f_m E_m + f_f E_f$$

Cuando el esfuerzo aplicado es muy grande, la matriz empieza a deformarse y la curva esfuerzo-deformación ya no es lineal. Puesto que ahora la matriz contribuye poco a la rigidez del compuesto, se puede estimar aproximadamente el módulo mediante.

$$E_c = f_f E_f$$

Si la carga se aplica perpendicularmente a las fibras, cada uno de los componentes del material compuesto actuará independientemente. Ahora el módulo del material compuesto es:

$$\frac{1}{E_c} = \frac{f_m}{E_m} + \frac{f_f}{E_f}$$

Si las fibras no son continuas y unidireccionales, la regla de las mezclas no se aplica para el material compuesto (Donald, 1998, p.p.517-518).

#### **2.4.3.6. Fibras.**

Las fibras han sido usadas como materia prima en la elaboración de varios productos, como telas, papel, artesanías, entre otros, y también como material de refuerzo en distintas matrices cerámicas y metálicas, con la finalidad de mejorar o ganar propiedades, en materiales compuestos denominados composites.

Las fibras pueden ser clasificadas de acuerdo con su origen, en fibras naturales y artificiales. Se ha realizado una amplia exploración sobre el uso de fibras vegetales, sin embargo el uso de estas como material de refuerzo en los materiales compuestos se ha visto opacada por la degradación de estas dentro de las matrices, sin embargo, esto ha provocado el desarrollo de métodos para incrementar la durabilidad de la fibra, permitiendo el uso de las mismas. Varias aplicaciones propicias también han sido desarrolladas en fibras animales y minerales (Gonzales, 2010, p.3).

Las fibras naturales se clasifican en:

- Fibras animales: seda, mohair, lana., que son proteínas complejas.
- Fibras inorgánicas: como el asbesto, amianto.
- Fibras vegetales: yute, algodón fino., que son polímeros de celulosa.

##### **a) Fibras vegetales.**

Son principalmente de celulosa, que a comparación de las proteínas de las fibras de origen animal, es resistente a los álcalis. Este tipo de fibras son asimismo resistentes a la mayoría de los ácidos orgánicos, pero varios de los ácidos minerales fuertes las destruyen. La utilización incorrecta de la mayoría de blanqueadores puede llegar a debilitar o destruir este tipo de fibras.

Este tipo de fibras de origen vegetal tienen muchas aplicaciones en la industria del papel, el algodón y el lino son la base de algunos papeles rugosos de calidad, las gramíneas, el yute, el cáñamo y el cáñamo de Manila se utiliza para la fabricación de papeles de embalaje y otros de menor calidad. El papel utilizado en los periódicos y el papel de tipo kraft se obtienen con fibra de madera tratada químicamente. Se puede llegar a obtener tableros para la construcción con fibra de madera y bagazo (la fibra de la caña de azúcar), y mediante un proceso muy similar al de la fabricación del papel (Cruz, Goicoechea, Hermosilla & Ruiz, 1998, pp.6-7).

#### **b) Composición química de las fibras vegetales.**

Las fibras vegetales están constituidas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, por tal razón son llamadas fibras lignocelulósicas. Su estructura se encuentra formada por varios elementos minoritarios como proteínas, resinas, ceras y algunos productos inorgánicos. La composición química de las fibras vegetales varía según las diferentes especies, la edad de la planta y las condiciones climáticas, pero de manera general se ha determinado que la relación entre la celulosa, hemicelulosas y lignina es aproximadamente de 4:3:3.

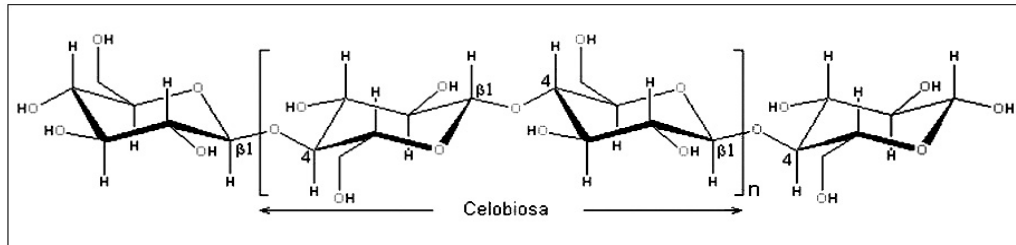
El contenido de estos componentes en las fibras vegetales permite inferir en el comportamiento que éstas van a presentar al someterlas a diferentes aplicaciones industriales (Guerrero et al., 2011, pp.80-81).

#### **- Celulosa.**

Este es el compuesto orgánico más abundante del planeta, pues constituye la base estructural de las células vegetales, siendo el componente principal de su pared celular (Ott, 1963, citado por Guerrero et al., 2011, p.81).

La celulosa es un polisacárido insoluble en agua, rígido y de peso molecular variable, su fórmula empírica es  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , con un valor mínimo de  $n = 200$ . La estructura de esta corresponde a la de un homopolímero lineal, cuya unidad fundamental es la  $\beta$ -glucosa.

La unión de estas forma a la celobiosa, la cual se repite exactamente en la cadena polimérica, como se puede observar en la Figura 2.14. Donde se muestra la configuración de la celulosa en forma de silla.



**Figura 2.14.** Estructura química de la celulosa.

(Fuente: Chaplin, 2008, citado por Guerrero et al., 2011, p.81).

El grado de orden o cristalinidad sobre las propiedades de una fibra celulósica, tales como elongación, tenacidad y elasticidad, están relacionadas con las características de estas estructuras en las fibras.

Por otra parte, a las áreas amorfas se las asocia con las características de hinchamiento y reactividad.

Cuando la fibra posee un contenido de celulosa considerable, se presentan varias propiedades como las que se indican en la Tabla 2.3. (Hans, 1996, citado por Guerrero et al., 2011, p.82).

**Tabla 2.3.** Propiedades que la celulosa le confiere a una fibra natural.

Fibra con alto contenido de celulosa	
Ventajas	Desventajas
Gran capacidad de absorber humedad	Baja resiliencia
Capacidad de soportar altas temperaturas	Susceptible a daños por ácidos minerales y orgánicos
Bajo volumen	Alta flamabilidad
Buen conductor de la electricidad	Resistencia moderada a la luz solar

(Fuente: Salazar, 2010, citado por Guerrero et al., 2011, p.82).

- **Hemicelulosa.**

La hemicelulosa son polisacáridos fundamentales en la composición de las paredes celulares de las plantas. A pesar de ser similares a la celulosa, las hemicelulosas poseen una menor masa molecular, proporcionan mayor solubilidad en agua y presentan mayor facilidad para su extracción y descomposición. La hemicelulosa presenta una estructura heterogénea y está constituida por más de un tipo de monómero.

- **Lignina.**

La lignina es el segundo elemento más importante de la composición vegetal, además es el segundo polímero orgánico más abundante en la tierra. Este es un polímero mixto formado por moléculas grandes y ramificadas.

La lignina cumple la función básicamente de proporcionar soporte estructural a las plantas, pues esta actúa como constituyente intercelular incrustante de las células fibrosas, a parte le confiere al tallo resistencia a impactos, compresiones y flexiones.

La lignina también proporciona rigidez a la pared celular y le entrega protección tanto al ataque de sustancias químicas, como a la acción de los microorganismos sobre la célula impidiendo la penetración de enzimas destructivas (Salazar, 2010, citado por Guerrero et al., 2011, p.83).

- **Ceras, grasas y resinas.**

Este tipo de elementos son sustancias altamente insolubles en medios acuosos que recubren la epidermis de frutos y tallos de vegetales cuya función de la misma consiste en evitar la pérdida de agua por evaporación en plantas, repeler parásitos y proteger de daños mecánicos a las células de la epidermis (Claude, 2000, citado por Guerrero et al., 2011, p.83).

Las ceras conforman un pequeño porcentaje de la estructura de las fibras, se definen químicamente como ésteres de los ácidos grasos con alcoholes, son de peso molecular elevado, es decir, son moléculas que se generan por esterificación de un ácido graso con un alcohol monovalente lineal de cadena larga.

Las grasas están formadas por triésteres del glicerol y ácidos grasos. Las resinas son sustancias de secreción de las plantas que sufren un proceso de polimerización y secado que dan lugar a productos duros, sólidos y quebradizos con un parecido exterior a las gomas pero insolubles, que no se reblandecen en agua.

La existencia de estos elementos en las fibras influye positivamente en su aspecto físico entregando características de lustre y sedosidad, lo cual incrementa su valor textil, pues facilitan su manejo, por ejemplo, al realizar las torsiones iniciales de la fibra si se desea trabajar de forma artesanal (Salazar , citado por Guerrero et al., 2011, p.83).

- **Cenizas.**

Las cenizas comprenden todo el material inorgánico, como minerales presentes en las fibras y que al instante de la combustión de estas no arden ni se evaporan y quedan después de la calcinación. Entre estos minerales se encuentra el potasio, magnesio, calcio y todos los minerales esenciales para el crecimiento de la planta.

A continuación, en la Tabla 4, se indica cómo influye la presencia de los principales constituyentes de las fibras vegetales sobre sus propiedades mecánicas (Guerrón, 2005, citado por Guerrero et al., 2011, p.84).

**Tabla 2.4.** Influencia de los constituyentes químicos sobre las propiedades mecánicas de las fibras vegetales.

Resistencia	↑	Celulosa cristalina Celulosa no cristalina Hemicelulosa + lignina Lignina
Degradación térmica celulosa	↑	Hemicelulosa Lignina
Degradación biológica	↑	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina Lignina
Absorción de humedad	↑	Hemicelulosa Celulosa no cristalina Lignina Celulosa cristalina
Degradación UV	↑	Lignina Hemicelulosa Celulosa no cristalina Celulosa cristalina

(Fuente: Baillie, 2004, citado por Guerrero et al., 2011, p.81).

#### 2.4.3.7. Fibra de piña.

La industria agrícola es una gran fuente de producción de materiales fibrosos (raíces, hojas, tallos u otras partes de las plantas), por general son un subproducto de los procesos agrícolas. Estos materiales vegetales están constituidos por fibras lignocelulósicas, gracias a esto podrían ser una fuente importante para la obtención de celulosa o para la obtención de materiales compuestos (Balam, Duarte, & Canché, 2006, p.39).

##### a) Aplicaciones alternativas de la fibra de piña.

En la actualidad, existen varias aplicaciones que se le han dado a las fibras de piña, entre las cuales podemos destacar algunas de ellas. En Aklan Filipinas (Sureste de Asia) se realiza la fabricación de textiles, manufacturando artículos como kimonos, mantel individual, pañuelos, vestidos, servilletas, fundas para almohadas, manteles.

Estos artículos son fabricados a base de la planta de la piña siendo la variedad española roja la más utilizada, ya que las hojas de estas pueden medir hasta 2 metros de largo y 1.5 metros de ancho.



**Figura 2.15.** Hilo a partir de la planta de la piña.

(Fuente: Horrocks, & Anand, 2000, p.4).

Otra aplicación importante de este tipo de fibra, es la obtención del papel, a partir de la inmersión en la suspensión de la fibra de un marco de madera, el cual posee un tamiz fino, luego de realizar esta etapa, las fibras depositadas en el tamiz, son depositadas en un trapo húmedo. Por último es el secado de la hoja de papel obtenida (Horrocks, & Anand, 2000, p.4).

### **b) Propiedades de la fibra de piña.**

Las fibras poseen diferentes composiciones y propiedades físicas que muestran una elevada influencia en la compatibilidad con las matrices poliméricas y por ende en las propiedades finales del compuesto.

En la Tabla 2.5., recoge varios de los parámetros físicos más importantes de algunas de las fibras.

**Tabla 2.5.** Propiedades físicas de distintas fibras naturales.

Fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Humedad (%)
Cáñamo <sup>a</sup>	1,48	88-90	7-10	1,5-2,0	3,5-8,0
Sisal	1,45	65	12	9,9	10
Plátano <sup>b</sup>	1,35	63-64	19	5	10-11
Piña <sup>b</sup>	1,53	81	-	12,7	13,5

(Fuente: Salvador, 2008, sin p.).



Las propiedades mecánicas de las fibras resultan diversas y dependen de las condiciones en las que se encuentra la fibra, básicamente en cuanto a su grado de humedad.

En la Tabla 2.6., se muestra algunos parámetros mecánicos obtenidos en varias fibras comparándolos con las fibras de vidrio que estas son las más comúnmente utilizadas.

**Tabla 2.6.** Características de diferentes fibras empleadas en la modificación de termoplásticos.

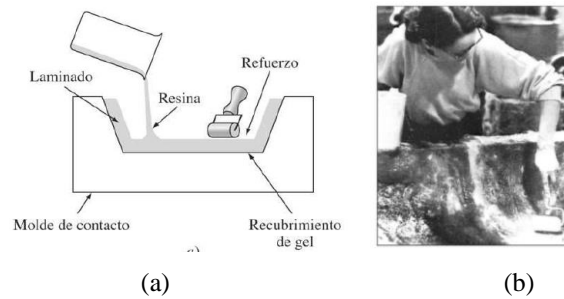
Fibra	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo elasticidad (GPa)	Resistencia tracción (MPa)	Alargamiento a rotura (%)
Algodón <sup>a</sup>		4,98-10,92	264-654	3,0-7,0
Lino		24,00	300-900	2,7-3,2
Cáñamo	1,48		285	1,3
Sisal	1,45	10,40 <sup>c</sup>	444-552	2,0-2,5
Platano <sup>b,c</sup>	1,35	20,00	550	5,0-6,0
Piña <sup>b</sup>	1,53	4,20	413	3,0-4,0
Yute <sup>a</sup>		43,80	342-672	1,7-1,8
Vidrio <sup>a</sup>	2,54	56-72	2500	3,0

(Fuente: Salvador, 2008, sin p.).

#### 2.4.3.8. Moldeo del material compuesto.

##### a) Proceso de colocación manual de capas.

Éste es el procedimiento más sencillo para producir una pieza reforzada con fibra. La fabricación de una pieza con el proceso de colocación manual de capas utilizando fibra de vidrio y un poliéster comienza a partir de la aplicación de una capa de gel en el molde abierto, Figura 2.16 (a). Refuerzo de fibra de vidrio que generalmente viene en forma de tela o colchoneta se coloca de forma manual en el molde, posteriormente se aplica la resina básica mezclada con catalizadores y aceleradores, vertiéndola ya sea esta con un cepillo o por aspersión. Se utilizan rodillos, Figura 2.16 (b), o escurridores para empapar correctamente la resina con el refuerzo y expulsar el aire atrapado en el proceso. Se añaden capas de colchoneta de fibra de vidrio o roving tejido y resina para incrementar el grosor de las paredes de la pieza que se fabrica. Este tipo de método tiene aplicación en cascos de embarcaciones, cubiertas protectoras, depósitos y paneles de construcción.



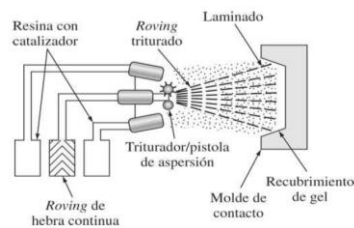
**Figura 2.16.** Método de colocación manual de capas para moldear materiales compuestos de plástico reforzado con fibras.

a) Se vierte la resina sobre el refuerzo que está en el molde. b) Se usa un rodillo para aumentar la densidad del laminado y expulsar el aire atrapado.

(Fuente: Smith, 2004, p.667).

El método por aspersión para producir recubrimientos de plástico reforzado con fibra es muy similar al método de colocación manual de placas y puede ser utilizado para la fabricación de cascos de embarcaciones, unidades de tina de baño y ducha, y otras formas de mediano o gran tamaño.

Si se trabaja con fibra de vidrio en este proceso, el roving de hebra continua se alimenta por medio de una combinación de triturador y pistola de aspersión, Figura 2.17., que entrega simultáneamente en el interior del molde el roving triturado y la resina con catalizador. El laminado entregado se densifica después con un rodillo o escurridor para expulsar el aire contenido y asegurarse de que la resina impregne las fibras de refuerzo. Se pueden añadir múltiples capas para obtener el grosor deseado. El curado suele realizarse a una temperatura ambiente o también puede acelerarse con la aplicación de una dosis moderada de calor (Smith, 2004, p.p.667-668).



**Figura 2.17.** Método de aspersión para moldear materiales compuestos de plástico reforzado con fibra.

(Fuente: Smith, 2004, p.668).

## **b) Moldeo por compresión.**

El proceso de conformado por molde a presión emplea moldes de tipo macho y hembra de una determinada geometría y esta será relacionada con la pieza o parte estructural a conformar. Una cantidad determinada de material compuesto (fibra más resina) es añadida al interior del molde al cual se le aplica una presión hidráulica relativamente alta y a su vez con el incremento de calor se logra la fluidez de la matriz logrando así la forma requerida para la producción de la pieza.

El rol principal de la temperatura en este proceso es el de proporcionar fluidez a la resina y permitir las óptimas condiciones de curado, mientras que el rol de la presión es de proveer el conformado de la pieza.

Una vez realizado el proceso de curado se retira la presión hidráulica aplicada y la pieza es removida del molde.

Las operaciones siguientes al conformado son la de suministrarle la terminación final a la pieza tales como pintado, pintado, etc.

Las piezas que se obtienen por este tipo de método son de fácil fabricación, disminuyen los costos de preparado de las piezas, es mínimo el material desperdiciado, reduce terminaciones secundarias y requiere menor trabajo de elaboración. Este tipo de proceso puede ser fácilmente automatizado generando un alto volumen de producción con una buena uniformidad pieza por pieza.

La presión es el parámetro fundamental y el más costoso de este proceso, la presión aplicada actúa básicamente en forma vertical acoplada al macho móvil, mientras que la hembra se mantiene fija.

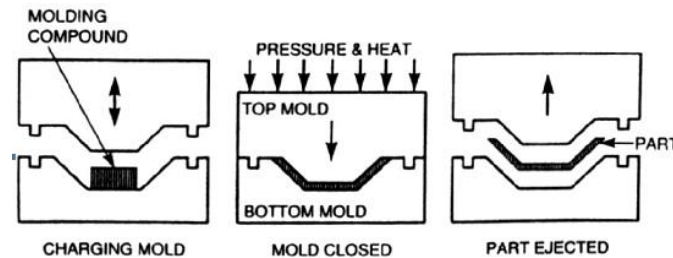
En el molde las superficies son pulidas y normalmente cromadas para incrementar la dureza superficial.

El rango de presiones que se utiliza es de 100 a 4000 Toneladas, generando partes que varían de menos de 1 kilo a 75 kilos.

La fabricación de partes o elementos por molde de compresión no permite un gran de contenidos de fibras continuas, es por ello que las partes generadas no son adecuadas para estructuras primarias, aunque son utilizadas para algunas estructuras secundarias.

Los componentes o elementos generados por este proceso son usados cuando se necesita gran rigidez, diseñando costillas y refuerzos a la pieza.

Por este tipo de método se procesan piezas del tipo placa o de volumen. Los compuestos generalmente utilizados son a base de fibras dispersas, fibras preformadas o, directamente fibras pre impregnadas (Pinilla & Veloza, 2010, pp. 9-10).



*Figura 2.18. Esquematación del proceso de conformado por molde de compresión.*

*(Fuente: Pinilla & Veloza, 2010, p. 9).*

#### **2.4.4. RESISTENCIA DE MATERIALES.**

La resistencia de materiales tienen como principal objetivo estudiar el comportamiento de los sólidos deformables y establecer criterios que nos permitan determinar el material más conveniente, la forma y las dimensiones más adecuadas que hay que dar a este tipo de sólidos cuando se los utiliza como elementos de una construcción o de una máquina para que estos resistan la acción de una determinada sollicitación exterior, además obtener este resultado de la forma más económica y sencilla posible (Ortiz, 2007, p.1).

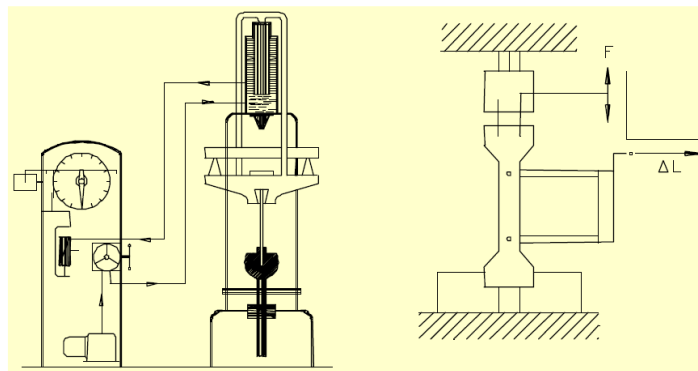
## 2.4.5. ENSAYO DE MATERIALES.

El ensayo de materiales nos permite determinar los valores de resistencia, verificar las propiedades y establecer el comportamiento de aquellos bajo la acción de las influencias externas. El factor económico presenta un rol muy importante dentro del campo de la fabricación en general, imponiendo un perfecto conocimiento de los materiales a usarse, de manera que se los selecciona de acuerdo a cada fin y poder hacerlos trabajar en el límite de sus posibilidades, satisfaciendo con las exigencias de menor peso, mejor calidad y mayor rendimiento. En los ensayos físicos se pueden determinar la forma y dimensiones de los cuerpos, su peso específico y densidad, contenido de humedad, etc., mientras que en los ensayos mecánicos la resistencia, elasticidad y plasticidad, tenacidad, ductilidad y fragilidad, etc.

### 2.4.5.1. Ensayo de tracción o ensayo a la tensión.

Este es un ensayo que tiene por objetivo determinar la resistencia elástica, resistencia última y plasticidad del material cuando es sometido a fuerzas uniaxiales. Se requiere de una máquina, prensa hidráulica por lo general, capaz de:

- Alcanzar la fuerza suficiente para producir la fractura en la probeta ensayada.
- Controlar la velocidad de aumento de fuerzas.
- Registrar las fuerzas,  $F$ , que serán aplicadas y los alargamientos,  $\Delta L$ , que se observan en la probeta ensayada.



(b)  
**Figura 2.19.** a) Máquina universal de ensayos de tracción, (b) Esquema de la probeta.

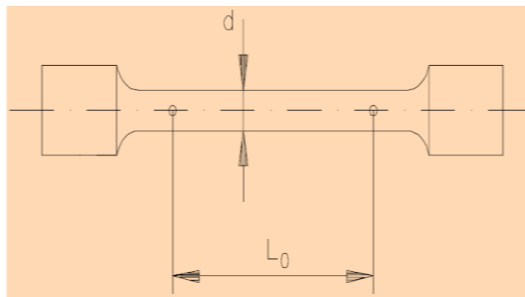
(Fuente: Ferrer, 1999, p.20).

La Figura 2.19., se representa un esquema de la máquina universal para ensayos de 100kN y el esquema de los registradores de fuerza, F, y desplazamiento,  $\Delta L$ , montados sobre la probeta ensayada.

Las probetas a ser ensayadas son normalizadas, cilíndricas o planas, admitiendo secciones variables,  $S_0$ , están correlacionadas con la longitud de la probeta,  $L_0$ , a través de un modelo del siguiente tipo:

$$L_0 = K\sqrt{S_0}$$

Siendo K un factor de proporcionalidad este es definido por la norma. La Figura 2.20., muestra una probeta cilíndrica según la norma (Ferrer et al., 1999, pp.19-20).



**Figura 2.20.** Probeta normalizada.

(Fuente: Ferrer, 1999, p.20).

### **Propiedades obtenidas en el ensayo de tracción o ensayo a la tensión.**

A partir de un ensayo de tracción o tensión se puede obtener información relacionada con la resistencia, rigidez y ductilidad de un material.

#### **a) Esfuerzo de cedencia.**

Este es el esfuerzo al cual la deformación plástica se hace importante, en los metales, por lo general es el esfuerzo requerido para que las dislocaciones se deslicen. El esfuerzo de cedencia es, por tanto, el esfuerzo que divide los comportamientos tanto elástico como

plástico del material. Si se requiere diseñar un componente que no se deforme plásticamente, se debe seleccionar un material que tenga un límite elástico elevado, o fabricar un componente del tamaño suficiente para que la fuerza aplicada produzca un esfuerzo que quede por debajo del esfuerzo de cedencia.

En varios materiales, el esfuerzo al cual el material cambia su comportamiento de elástico a plástico no se detecta fácilmente. En dicho caso, se determina un esfuerzo de cedencia convencional.

### **b) Resistencia a la tracción o resistencia a la tensión.**

El esfuerzo obtenido de la fuerza más alta aplicada será la resistencia a la tensión, que este el esfuerzo máximo sobre la curva esfuerzo-deformación ingenieril.

En varios materiales dúctiles, la deformación no se mantiene uniforme. En cierto instante, una región se deforma más que otra y se genera una reducción local de importancia en la sección recta.

$$\sigma_{max} = \frac{F}{A}$$

Dónde  $\sigma_{max}$  es el esfuerzo máximo (Mpa), F la carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N), y A es el área de la sección transversal de la probeta ( $\text{mm}^2$ ).

### **c) Propiedades elásticas.**

El módulo de elasticidad o módulo de Young, E, es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en su región elástica. Esta relación es la ley de Hooke que viene dada de la siguiente forma:

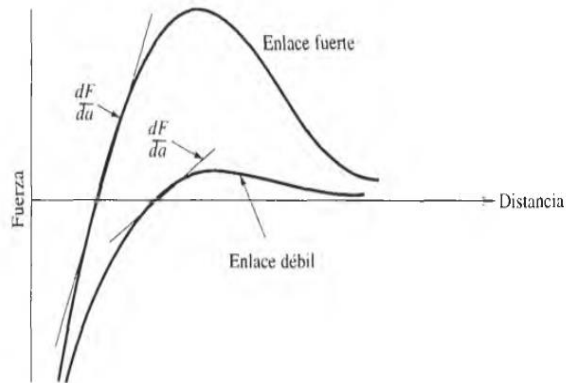
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dónde  $\sigma$  es el esfuerzo máximo (Mpa), y  $\varepsilon$  es la elongación.

Este módulo es íntimamente relacionado con la energía de enlace de los átomos en la Figura 2.21., se indica la relación entre el enlace atómico y el módulo de elasticidad correspondiente a dos materiales.

Una pendiente muy acentuada o abrupta en la gráfica fuerza-distancia en la zona de equilibrio muestra que se requieren de grandes fuerzas para separar los átomos y hacer que este material se deforme elásticamente. Por lo tanto, el material tiene un módulo de elasticidad alto. Las fuerzas de enlace y el módulo de elasticidad, comúnmente son mayores en materiales de punto de fusión alto.

El módulo es una medida de la rigidez del material. En un material rígido, con un alto módulo de elasticidad, conserva su tamaño y su forma incluso al ser expuesto a una carga en la región elástica.



**Figura 2.21.** Curva fuerza – distancia correspondiente a dos materiales, mostrando la relación entre el enlace atómico y el módulo de elasticidad.

(Fuente: Donald, 1998, p.32).

#### **d) Ductilidad.**

La ductilidad mide el grado de deformación que puede llegar a soportar un material sin romperse. Se puede medir la distancia entre las marcas calibradas en una probeta antes y después de realizar el ensayo. El % de elongación muestra la distancia que la probeta se alarga plásticamente antes de la fractura:



$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100$$

Dónde  $l_f$  es la longitud final (mm), Donde  $l_o$  es la longitud inicial (mm).

Otro método para determinar la ductilidad es calcular el cambio porcentual en el área de la sección transversal en el punto de fractura antes y después del ensayo. El % de reducción en área indica el adelgazamiento sufrido por el material durante la prueba:

$$\% \text{ de reducción en área} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100$$

Dónde  $A_f$  es el área de la sección transversal en la superficie de la fractura ( $\text{mm}^2$ ), y  $A_o$  es el área inicial ( $\text{mm}^2$ ).

La ductilidad es muy importante tanto para diseñadores como para los fabricantes. El diseñador de un componente preferirá un material que posea por lo menos cierta ductilidad, de tal manera que si el esfuerzo aplicado resulta demasiado alto, el componente se pueda deformar antes de romperse. Los fabricantes también prefieren un material que sea dúctil, con la finalidad de manufacturar formas complicadas sin que se rompa durante este proceso (Donald, 1998, p.p.133-137).

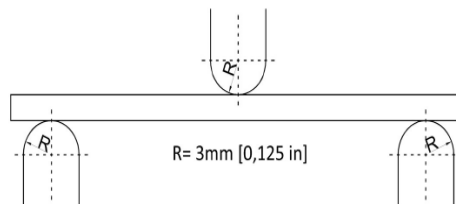
#### **2.4.5.2. Ensayo de flexión.**

Este ensayo generalmente se lo realiza mediante la norma D7264/D7264M-07, como lo indica la Figura 22., este método determina la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica.

El procedimiento de este tipo de ensayo corresponde a un sistema de carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples.

Las propiedades a flexión pueden variar esto dependiendo de la superficie de la probeta, ya que ningún laminado es perfectamente simétrico. Estas diferencias desviarán el eje neutral y los resultados se verán afectados incluso cuando exista una mínima asimetría presente en el laminado.

Las propiedades a flexión pueden variar de acuerdo al espesor de la probeta, ambientes condicionantes o de ensayo en el que se realizan las pruebas, velocidad de aplicación de esfuerzo. Cuando se evalúan distintos materiales, los parámetros deben ser equivalentes para permitir la comparación de todos los datos obtenidos.



**Figura 2.22.** Configuración de carga a flexión en tres puntos utilizada ASTM D7264/D7264M – 07.

(Fuente: Guerrero et al., 2011, p.70).

Para la realización de este tipo de ensayo, se requieren al menos 5 probetas por cada condición de ensayo, salvo que se puedan obtener resultados válidos mediante el ensayo de menos probetas, como podría ser en el caso de un diseño experimental.

Las dimensiones de las probetas para realizar los ensayos se encuentran indicadas en la norma ASTM, y de la misma manera, las respectivas ecuaciones que permiten el cálculo de valores para las propiedades a flexión analizadas.

De la misma manera que en los ensayos de tracción y de impacto, las probetas deben respetar características solicitadas de aspecto superficial, tales como es la ausencia de fisuras o defectos que influyan erradamente en los resultados del ensayo realizado. Al igual que en el ensayo de tracción, las marcas generadas por operaciones de corte deben ser cuidadosamente eliminadas con una lima fina o un abrasivo. De esta forma se alcanza una pre-selección y preparación de probetas que serán aptas para la realización del ensayo (Guerrero et al., 2011, pp.69-70).

### **a) Resistencia a la flexión.**

La falla se produce a un esfuerzo menor después de que el encuellamiento ha reducido el área de la sección transversal que soporta la carga. En los materiales que poseen poca ductilidad la falla se genera a la carga máxima, en donde la resistencia a la tensión y la resistencia a la ruptura son iguales. En materiales muy frágiles, como cerámicos, el esfuerzo de cedencia, la resistencia a la tensión y el punto de ruptura tienen un mismo valor.

En varios materiales frágiles no se puede efectuar con facilidad este tipo de ensayo a tensión debido a la presencia de defectos en su superficie. A menudo, con sólo colocar un material frágil en las mordazas de la máquina de tensión estas probetas se rompen. Este tipo de materiales se pueden probar usando el ensayo de flexión. Al aplicar la carga en tres puntos generando flexión, actúa una dicha fuerza que provoca tensión sobre la superficie, opuesta al punto medio de la probeta.

La fractura se iniciará en este lugar. La resistencia a la flexión, o módulo de ruptura describe la resistencia del material:

$$\text{Resistencia a la flexión} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Dónde F es la carga a la fractura (N), L es la distancia entre los dos puntos de apoyos (mm), w es el ancho de la probeta ensayada (mm), y h es su altura (mm).

Los resultados de los ensayos de flexión son similares a las curvas esfuerzo-deformación; aunque, el esfuerzo se traza en función de deflexiones, en vez de en función de deformaciones.

### **b) Módulo de elasticidad.**

El módulo de elasticidad a la flexión o módulo en flexión se evalúa en la región elástica.

$$\text{Módulo en flexión} = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta}$$

Dónde  $\delta$  es la deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza  $F$  (mm),  $L$  longitud entre los apoyos (mm),  $F$  fuerza aplicada (N),  $w$  es el ancho de la probeta (mm),  $h$  es el espesor de la probeta (mm) (Donald, 1998, p.p.133-137).

### **2.4.5.3. Microscopía electrónica.**

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

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

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

Con este tipo de microscopios se puede combinar un detector de rayos X para conocer la composición atómica de la muestra que se está observando (Soler, 2009, citado por Guerrero et al., 2011, pp.175-176).

## **Microscopio electrónico de barrido (MEB).**

Con el microscopio electrónico se puede aumentar el poder de resolución usando la onda asociada al haz corpuscular homocinético generado por los electrones acelerados en un campo eléctrico.

La longitud de onda es:

$$\lambda = h/m v$$

Siendo:

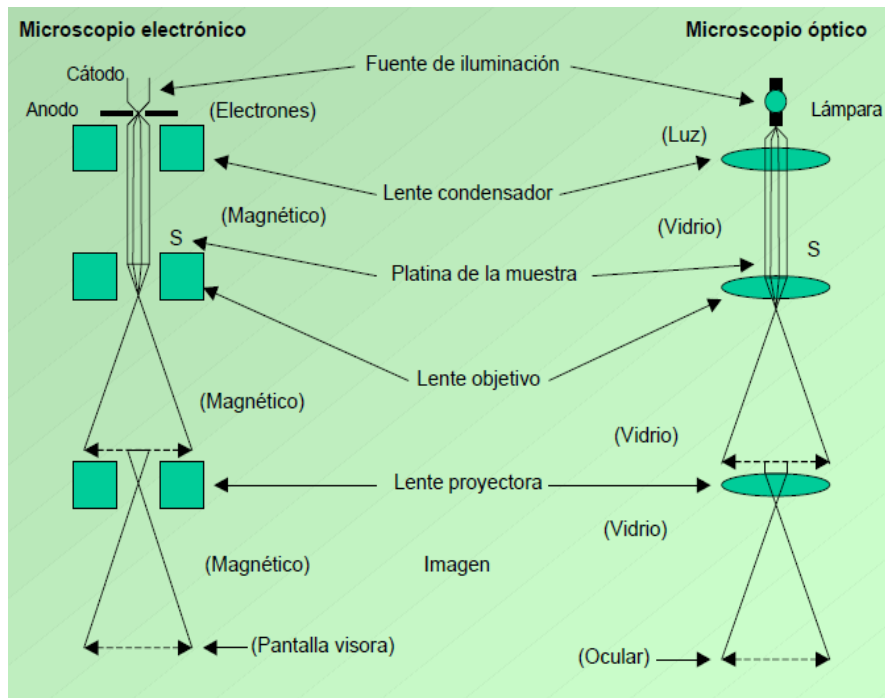
- $h$  = constante de Planck.
- $m$  = masa del electrón.
- $v$  = velocidad.

El valor de  $\lambda$  varía con la tensión de aceleración electrónica aplicada. Para una tensión de 50 KV, este valor de  $\lambda$  es de 0.055 Å; para una tensión de 100 KV el valor es de 0.0387Å, y cuando la tensión es de  $10^6$  voltios, caso excepcional,  $\lambda$  será igual a 0.0123Å.

Es limitado el poder de resolución, sin embargo, por el pequeño valor de la abertura del microscopio, impuesto por las aberraciones de las lentes electrónicas.

Puede llegar a alcanzar actualmente 5 e incluso 3 Å, esta débil abertura proporciona al microscopio electrónico una gran profundidad de campo, que es otra de sus ventajas a comparación al óptico.

En el microscopio de transmisión, el haz electrónico debe atravesar la probeta que está sometida al examen, lo que no es posible en las probetas metálicas normales.



**Figura 2.23.** Esquema del microscopio electrónico y óptico.

(Fuente: Ferrer, 1999, p.67).

Por contra, en el microscopio de barrido, utilizado en metalografía, la imagen es reconstruida, punto por punto, en la pantalla de un oscilógrafo catódico, mientras el objeto es barrido sincrónicamente por una sonda electrónica fina, de un diámetro entre los 1000 y 100 Å, el brillo de la imagen del oscilógrafo viene graduado por una señal constituida comúnmente por electrones secundarios y retrodispersados. En la Figura 2.23., se aprecia la similitud funcional entre los microscopios óptico y electrónico (Ferrer et al., 1999, pp.66-67).

Los componentes fundamentales del microscopio electrónico de barrido están contenidos dentro de una columna metálica conectada a un sistema de vacío.

**Fuente de energía:** el haz de electrones puede formarse mediante dos sistemas, el termoiónico y el de emisión de campo. El sistema termoiónico consiste en una diferencia de potencial generada al incrementar un filamento a una temperatura tal que el material del filamento desprende electrones creando una nube continua de iones que se colectan y

enfocan para formar el haz de electrones. Estos filamentos pueden ser de tungsteno o de hexaboruro de lantano, siendo el tungsteno el más común gracias a su robustez y su bajo costo. El sistema de emisión de campo (Field Emission Gun, FEG, por sus siglas en inglés) utiliza un campo eléctrico muy fuerte para extraer electrones del material de la punta. La ventaja de este sistema es la monocromaticidad del haz producido, sin embargo su costo es alto.

**Ánodo:** este permite orientar el haz de electrones hacia la muestra, los reagrupa y acelera su recorrido.

**Sistema de lentes condensadores:** está constituido de dos a cuatro lentes electromagnéticas, su función es disminuir el diámetro del haz de electrones, de 50  $\mu\text{m}$  a valores entre 25 y 10  $\mu\text{m}$ , al incidir sobre la muestra analizada.

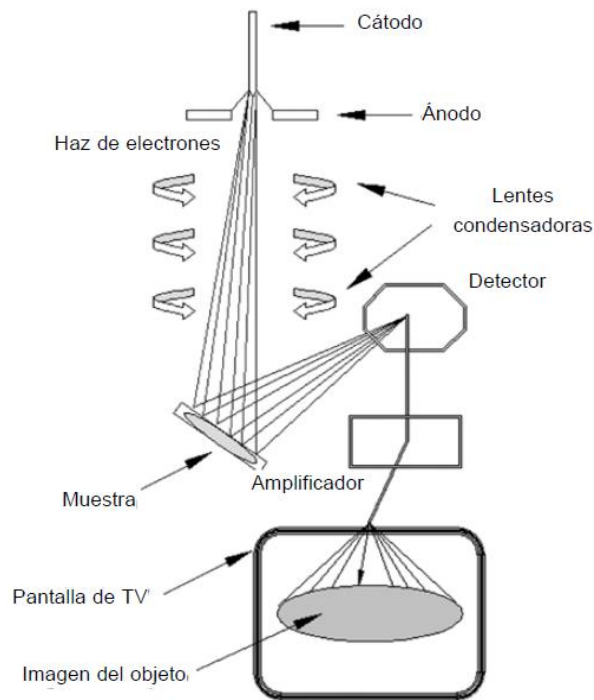
**Sistema de barrido:** este tipo de sistema consiste en un campo electrostático o electromagnético que genera el desplazamiento del haz electrónico sobre la superficie de la muestra analizada en líneas rectas superpuestas, barriendo la superficie del espécimen en un área rectangular punto a punto. El barrido se produce en un tiempo que oscila entre 0,5 y 500 segundos, pero se trabaja de forma preliminar con un tiempo de barrido de 10 segundos. A mayor tiempo de barrido se tiene una mayor definición de la micrografía.

**Porta-muestra:** la cámara porta-muestra está situada en la base de la columna del microscopio y en línea con el haz de electrones. La platina permite que la muestra pueda moverse en tres direcciones, ser calentada y enfriada dentro del instrumento.

**Sistema de detección:** este sistema proporciona la detección de los electrones secundarios y retrodispersos que se desprenden, punto por punto de la muestra analizada. Estos electrones colectados se dirigen hasta un sistema de amplificación en donde se genera una señal eléctrica amplificada que permite visualizar cada punto de la imagen de la muestra analizada.

**Sistema de proyección de las imágenes:** las imágenes se proyectan en dos tubos de rayos catódicos de alta resolución, que funcionan en sincronización con el barrido electrónico de la muestra analizada. El primero realiza un barrido de la muestra en 10 segundos y genera una imagen de 500 líneas, el segundo genera un barrido más lento, de 1000 o más líneas, mientras mayor sea el número de líneas en la pantalla fotográfica, mayor será la resolución de la imagen final. Con este tipo de sistema se obtienen aumentos que van desde 15 a 100.000 veces, dependiendo de la naturaleza y la forma del material analizado.

De esta forma, en la Figura 2.24., se muestra un esquema de las partes principales del microscopio electrónico de barrido y el recorrido del haz de electrones.



**Figura 2.24.** Partes principales del microscopio electrónico de barrido y el recorrido del haz de electrones.

(Fuente: C. Montalvo, 2010, citado por Guerrero et al., 2011, p.177)

La muestra a ser analizada mediante microscopía electrónica de barrido debe cumplir varios requerimientos, tales como ser compatible con el sistema de vacío del instrumento y ser eléctricamente conductora. Las muestras que no sean conductoras pueden ser



recubiertas con una capa fina conductora (5 nm) de un metal como el oro, paladio, platino, etc.

Las ventajas que posee el microscopio electrónico de barrido son:

- Usa un haz móvil de electrones que escanea punto por punto la muestra analizada en áreas seleccionadas, por lo que se proporciona una imagen ampliada tridimensional y realista de la superficie del objeto.
- La muestra analizada no requiere el corte en capas para ser observada.

En la caracterización de nanopartículas, el MEB provee información en cuanto al tamaño de partícula, morfología, presencia de aglomerados, al combinarse este método con capacidades de análisis químico, el microscopio electrónico de barrido es capaz de entregar información detallada de la composición química (Guerrero et al., 2011, pp.174-177).

## **2.4.6. PROPIEDADES MECÁNICAS.**

### **2.4.6.1. Definición.**

Las propiedades mecánicas de los materiales son muy sensibles a los procesos y operaciones de fabricación.

Los ingenieros de materiales y los metalúrgicos, por otra parte, dirigen sus esfuerzos a producir y conformar materiales que puedan llegar a soportar las condiciones de servicio predichas por el análisis de tensiones. Esto fundamentalmente implica un conocimiento de la relación entre la microestructura (es decir, los detalles internos) de los materiales y sus propiedades mecánicas de los mismos.

#### **2.4.6.2. Propiedades mecánicas de los materiales compuestos reforzados con fibras.**

Los materiales compuestos reforzados con fibras típicamente manifiestan anisotropía. Esto quiere decir que algunas propiedades varían dependiendo del eje geométrico o plano a lo largo del cual fueron determinadas.

Para que un material compuesto sea isotrópico en cuanto a una propiedad en específico, por ejemplo, el módulo de Young, todos los elementos de refuerzo del material compuesto, sean fibras o partículas deben estar orientadas de forma aleatoria. Esto no es fácil de lograr cuando se trabaja con fibras discontinuas, ya que la mayoría de métodos de fabricación tienden a impartir una cierta orientación a las fibras.

Las fibras continuas en forma de hojas o láminas se usan para, deliberadamente, hacer del material compuesto un material anisotrópico en una dirección en particular que se conoce está a lo largo del eje o plano principal de carga. De este modo, se crea la posibilidad de orientar las fibras en la dirección en que se aplicará la mayor carga, lo cual aumenta la eficiencia del refuerzo (B. Larson, 2011 citado por Guerrero et al., 2011, p.62).

#### **2.4.6.3. Propiedades mecánicas de las fibras vegetales.**

Todas las fibras presentan características inherentes a su naturaleza, las cuales determinan su utilidad al instante de utilizarlas como refuerzo de matrices poliméricas. Estas características están relacionadas con las propiedades mecánicas que pueden aportar al material (matriz), específicamente resistencia a esfuerzos de tracción, compresión, flexión e impacto.

Cuando se elige una fibra como refuerzo, se deben tomar en cuenta varios parámetros importantes que determinarán la facilidad de su producción y el rendimiento que estas presentarán.

En la Tabla 2.7., se señalan varias ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzos.

*Tabla 2.7. Ventajas y desventajas de utilizar fibras naturales como refuerzo en la elaboración de materiales compuestos.*

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO <sub>2</sub>	Alta absorción de agua
Son biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos al quemarlas	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministro variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flamabilidad

*(Fuente: Baillie, 2004, citado por Guerrero et al., 2011, p.84)*

A pesar que las fibras artificiales son muy utilizadas en la actualidad en la industria, gracias a sus excelentes propiedades y la facilidad que presenta su fabricación, éstas fibras han empezado a ser reemplazadas por fibras vegetales, ya que estas proporcionan múltiples ventajas sobre las fibras sintéticas tradicionales, tal como se muestra a continuación en la Tabla 2.8.

*Tabla 2.8. Comparación entre fibras naturales vegetales y la fibra de vidrio.*

Cualidades	Fibras naturales "FN"	Fibra de vidrio
Densidad	Baja	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
Abrasión a máquinas	No	Si
Riesgo a la inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No biodegradable

*(Fuente: Wanbua, 2003, citado por Guerrero et al., 2011, p.85)*

#### **2.4.6.4. Propiedades mecánicas en la zona de la intercara refuerzo-matriz.**

El efecto de la configuración de la zona de intercara es fundamental para los materiales compuestos. Esta posee un efecto a nivel microscópico, con lo cual influye significativamente en las propiedades del material.

Se llama intercara a la superficie o la zona de unión donde ocurre la discontinuidad, sea química, física, mecánica, etc. En esta zona la matriz debe “mojar” al refuerzo, para ello, se suelen usar agentes de enlace o unión, de tal manera que mejore la mojabilidad e incremente la superficie de intercara.

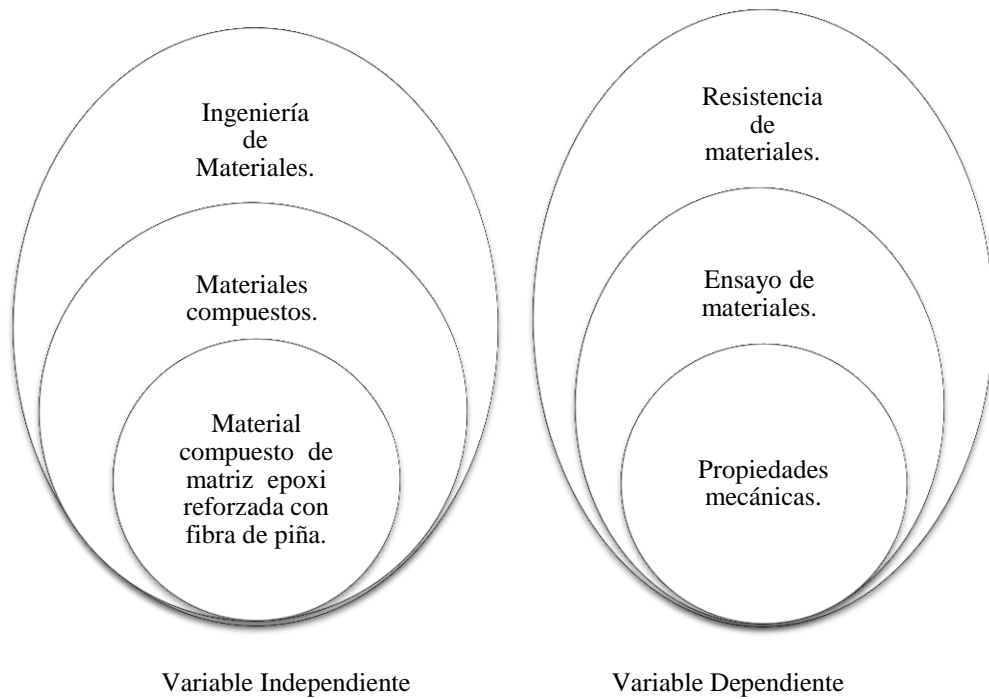
Para tener propiedades mecánicas deseables en un material compuesto, la carga aplicada debe ser transferida de una manera efectiva de la matriz hacia el refuerzo por medio de la interfaz. Esto quiere decir que la intercara debe poseer un tamaño relativamente grande. Asimismo, debe tener una gran adhesión entre el refuerzo y la matriz.

La falla en la intercara, también llamada, desunión, puede o no ser deseable, cuando se trata del comportamiento mecánico del material y se tienen requerimientos específicos.

Por otra parte, el papel de la intercara es un tanto diferente cuando se trabaja con materiales compuestos multifuncionales. Como ejemplo se presenta el caso del comportamiento eléctrico; si la intercara de un compuesto no es lo suficientemente buena, la resistividad del material puede aumentar excesivamente. Así también, la intercara en un material nanoestructurado puede asignar diferentes propiedades térmicas al material.

En varios materiales nanoestructurados se tiene especial cuidado en la formación de esta zona, ya esta es la más importante y de esta dependerán las aplicaciones, entre las cuales es muy común el desarrollo de materiales con una elevada conductividad térmica para trabajar en elementos que requieren disipar calor (Chung, 2010, citado por Guerrero et al., 2011, p.60-61).

## 2.5. RED DE CATEGORÍAS FUNDAMENTALES.



*Figura 2.25. Red de categorías fundamentales*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

## 2.6. HIPÓTESIS.

El material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña proporcionará propiedades mecánicas aceptables para la fabricación de butacas deportivas.

## 2.7. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES.

### 2.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE.

Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña.

### 2.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE.

Propiedades Mecánicas.

## **CAPÍTULO III**

### **3. METODOLOGÍA.**

#### **3.1. ENFOQUE INVESTIGATIVO.**

El enfoque que predominará en la presente investigación será de tipo cuantitativo ya que se manejará valores numéricos, enteros y fraccionarios; los cuales serán generados por la determinación de las propiedades mecánicas del nuevo material compuesto estudiado.

En lo que se refiere al carácter cualitativo, solo se lo utilizará para determinar varias de las características que se presente en este tipo de material compuesto.

#### **3.2. MODALIDAD BÁSICA DE LA INVESTIGACIÓN.**

El diseño de la investigación está de acuerdo con la modalidad de investigación documental bibliográfica y experimental de campo.

##### **3.2.1. DOCUMENTAL BIBLIOGRÁFICA.**

La información para la realización del presente estudio proviene de fuentes primarias como: libros, tesis, documentales e internet, mientras que la información secundaria que se utilizará son: resúmenes, artículos técnicos y listados de referencias que estén vigentes.

Entre los principales documento bibliográficos a considerar tenemos los estudios realizados por el PhD. Víctor Hugo Guerrero en la Escuela Politécnica Nacional – Quito. Otra referencia a considerar es el estudio realizado por el Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas en la Universidad Técnica de Ambato.

### **3.2.2. EXPERIMENTAL DE CAMPO.**

La información de la presente investigación será de modalidad experimental ya que nos permitirá tener luego de los respectivos ensayos realizados las propiedades mecánicas de este nuevo material para determinar si este puede ser aplicado para la fabricación de butacas deportivas.

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

#### **3.3.1. EXPLORATORIA.**

El nivel seleccionado para la investigación es de tipo exploratorio, ya que nos permite reconocer variables de interés investigativo como son la fracción volumétrica, la longitud, y la configuración de la fibra con esto nos permitirá evaluar la calidad del producto y de esta manera determinar si el material cumple con las características necesarias para utilizarlo como material para la fabricación de butacas deportivas.

#### **3.3.2. EXPLICATIVO.**

La investigación es explicativa ya que con los resultados que se pueden generar nos permitirá dar una explicación en cuanto se refiere a las características que posee este tipo de material y si puede ser utilizado en la fabricación de butacas deportivas así como sus posibles ventajas y desventajas que se puedan suscitar.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA.**

#### **3.4.1. POBLACIÓN.**

- Material común utilizado en la fabricación de butacas deportivas (Polipropileno de alta densidad, otro material utilizado comúnmente es la fibra de vidrio con resina poliéster).

- Material compuesto (resina epoxi + fibra de piña) propuesto en el estudio, a obtener mediante proceso de estratificación manual y caracterización mecánica bajo la normativa correspondiente de acuerdo a los ensayos a realizar.

Las configuraciones que se utilizará para el respectivo estudio serán:

*Tabla 3.1. Configuraciones, longitud y fracciones volumétricas de la fibra de piña.*

<b>Configuración del refuerzo</b>	<b>Longitud de la fibra (mm)</b>	<b>Fracciones volumétricas</b>	
Fibra corta al azar	5	25% refuerzo/ 75% matriz	
	10		
Fibra longitudinal	Continua		30% refuerzo/ 70% matriz
Fibra transversal	Continua		

*(Fuente: Realizada por el autor).*

### 3.4.2. MUESTRA.

La muestra en este caso se analizará con un mínimo de cinco probetas por tipo de ensayo a realizar y bajo lo establecido en las normas correspondientes (Tracción ASTM D3039-14, Flexión ASTM D7264-07 para materiales compuestos, y Tracción ASTM D638-10 para materiales plásticos), en función del tipo de material ensayado y de acuerdo a la configuración y fracción volumétrica del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña, luego del análisis correspondiente se determinará la configuración que proporcione las mejores características mecánicas para realizar el estudio de adherencia por ser estudio de caso.



*Tabla 3.2. Configuraciones para los diferentes ensayos.*

<b>Configuraciones de refuerzos</b>	<b>Longitud de la fibra</b>	<b>Fracción volumétrica</b>	<b>Muestra</b>	<b>Tipo de Ensayos</b>	
Fibra corta al azar	5	25% refuerzo/ 75%	12	Tracción y Flexión	
	5	30% refuerzo/ 70%	12		
	10	25% refuerzo/ 75%	12		
	10	30% refuerzo/ 70%	12		
Fibra longitudinal	Continua	25% refuerzo/ 75%	12		
		30% refuerzo/ 70%	12		
Fibra transversal	Continua	25% refuerzo/ 75%	12		
		30% refuerzo/ 70%	12		
Mejor configuración a tracción y flexión	-----	-----	4		Análisis de adherencia
Poliétileno de alta densidad			10		Tracción y Flexión
Resina poliéster + cuatro capas de fibra de vidrio			10		

*(Fuente: Realizada por el autor).*

### 3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.

#### 3.5.1. VARIABLE INDEPENDIENTE: Material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña.

*Tabla 3.3. Variable independiente.*

Contextualización	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Técnicas e instrumentos
Los materiales compuestos son aquellos materiales que se forman por la unión de dos o más materiales para conseguir la combinación de propiedades que no es posible obtener en los materiales originales.	Refuerzo (fibra natural).  Material Compuesto	-Configuración de la fibra.  -Fracción volumétrica.	- Fibra corta al azar (5 y 10mm).  - Fibra continua longitudinal.  - Fibra continua transversal.  - 25% Refuerzo / 75% Matriz.  - 30% Refuerzo / 70% Matriz.	-Investigación Bibliográfica.  -Investigación de campo.  -Investigación orientada a la comprobación.  -Registros de datos.  -Cuaderno de notas.  -Normas ASTM D.

*(Fuente: Realizada por el autor).*

**3.5.2. VARIABLE DEPENDIENTE:** Propiedades mecánicas.

*Tabla 3.4. Variable dependiente.*

<b>Contextualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Ítems</b>	<b>Técnicas e instrumentos</b>
El comportamiento mecánico o las propiedades mecánicas de un material reflejan la relación entre la fuerza aplicada y la respuesta del material (o sea, su deformación) ya que muchos materiales, cuando prestan servicio, están sometidos a fuerzas o cargas.	Propiedades Mecánicas.  Análisis microestructural	Tracción.  Flexión.  Microscopía electrónica	- Resistencia a la tracción (80-140 MPa).  - Módulo de elasticidad en tensión (80000-15000 MPa).  - Resistencia a flexión (90-150 MPa).  - Módulo de flexión (5000-8000 MPa).  ¿Existirá adherencia entre la matriz y el refuerzo?	-Investigación Bibliográfica.  -Investigación de campo:  Formatos o fichas para toma de datos de Ensayos.  -Cuaderno de notas.

*(Fuente: Realizada por el autor).*

### **3.6. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN.**

En la presente investigación se realizarán estudios de tipo bibliográfico y experimental, en los cuales se utilizarán técnicas para la recolección de la información tales como la observación y analizar la información que sirve como guía en la investigación, recolección de información de libros, artículos técnicos e internet, análisis y pruebas en el laboratorio, para lo cual se toma notas de todo lo que se considera necesario en un cuaderno, para describir los hechos de significación especial, que ayuda a registrar incidentes hasta tener una base informativa suficiente; se utiliza un cuaderno de notas para describir todo lo observado, además se anota fechas, cantidades y expresiones que se escuchan.

### **3.7. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.**

#### **3.7.1. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.**

Para el correcto procesamiento:

- Se revisará críticamente la información recogida es decir, se escogerá la información clara, concisa y necesaria.
- Se realizará tablas con los datos obtenidos de acuerdo con los ensayos realizados en las probetas.
- Se analizará e interpretará los resultados obtenidos en el estudio.
- Analizar la hipótesis en relación con los resultados obtenidos para verificarla o rechazarla.

#### **3.7.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

Una vez realizados las pruebas en el laboratorio, se procederá a la interpretación y análisis de los resultados, basándose en los resultados obtenidos en los diferentes

ensayos tanto a tracción como a flexión de aquí se determinará la mejor configuración y fracción volumétrica que soporta dichos esfuerzos posteriormente se realizará el ensayo de adherencia del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña), además se realizará la tabulación de resultados del nuevo material compuesto para luego realizar un análisis estadístico comparativo que permita comparar entre el material tradicional utilizado para la fabricación de butacas deportivas con relación al nuevo material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).

La tabulación además de resaltar la tendencia de los resultados de acuerdo a los objetivos y la hipótesis, permitirá comprobar la validez de dicha hipótesis, para finalmente establecer las conclusiones y recomendaciones.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

#### **4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

Dentro de los análisis se ha realizado un estudio preliminar que determina las propiedades mecánicas del material con que se fabrican actualmente las butacas deportivas para luego ser comparado con el nuevo material compuesto.

##### **4.1.1. ENSAYOS PRELIMINARES DEL MATERIAL UTILIZADO EN LA ACTUALIDAD PARA LA FABRICACIÓN DE BUTACAS DEPORTIVAS.**

Se analizaron muestras del material con que se fabrican en la actualidad las butacas deportivas para determinar sus propiedades mecánicas (polietileno de alta densidad y material compuesto con resina poliéster reforzado con fibra de vidrio).

###### **4.1.1.1. Ensayo a tracción de materiales tradicionales para la fabricación de butacas deportivas.**

**Esfuerzo máximo a tracción.**

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A}$$

Dónde:

- $\sigma_{\max}$  = Esfuerzo máximo (MPa).
- F= Carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).
- A= Área de la sección transversal de la probeta (mm<sup>2</sup>).

**Porcentaje de deformación.**

$$\varepsilon \text{ (elongación)} = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\% \text{ deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} \times 100$$

Dónde:

- $l_f$  = Longitud final (mm).
- $l_i$  = Longitud inicial (mm).

**Módulo de elasticidad.**



$$E = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\varepsilon}$$

Dónde:

- $\sigma_{m\acute{a}x}$  = Esfuerzo máximo.
- $\varepsilon$  = Elongación.


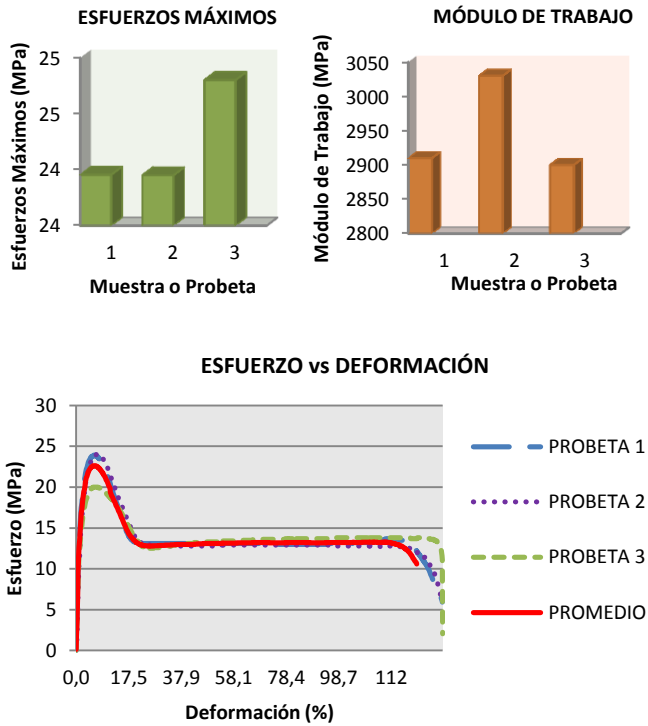
**a) Ensayo a tracción de un material plástico (polietileno de alta densidad).**

*Ficha 4.1. Recolección de datos a tracción de un material plástico.*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D638-10)		
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL PLÁSTICO (Polietileno de alta densidad).</b>			
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).		
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).
<b>Material:</b>	Polietileno de alta densidad (inyectado).		
<b>Dimensión de probetas:</b>	Según la norma ASTM D638-10	<b>Espesor promedio (mm):</b>	5,1
<b>Número de Probetas:</b>	5 (se reportan 3).	<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.

Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D638-10 (Ensayo a Tracción).				
Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	123	1420	24	2910
2	112	1460	24	3030
3	151	1450	24,8	2900
<b>Promedio:</b>	128,7	1443,3	24,2	2946,7
<b>Desviación Estándar:</b>	20,1	20,817	0,46	72,342



	
Fotos de las probetas sometidas al ensayo	Gráficas de resultados
<ul style="list-style-type: none"> <li>Se realiza el ensayo a 5 probetas de las cuales se descartan 2 y se reportan 3.</li> <li>Las probetas presentan un amplio rango de deformación.</li> <li>Las probetas presentaron ruptura en la zona media.</li> </ul>	<p><b>Espesor promedio:</b> 5,1 mm.  <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 24,2 (MPa).  <b>Módulo de elasticidad promedio:</b> 2946,7 (MPa).</p>
Observaciones.	Evaluación.
<b>Elaborado:</b> Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.

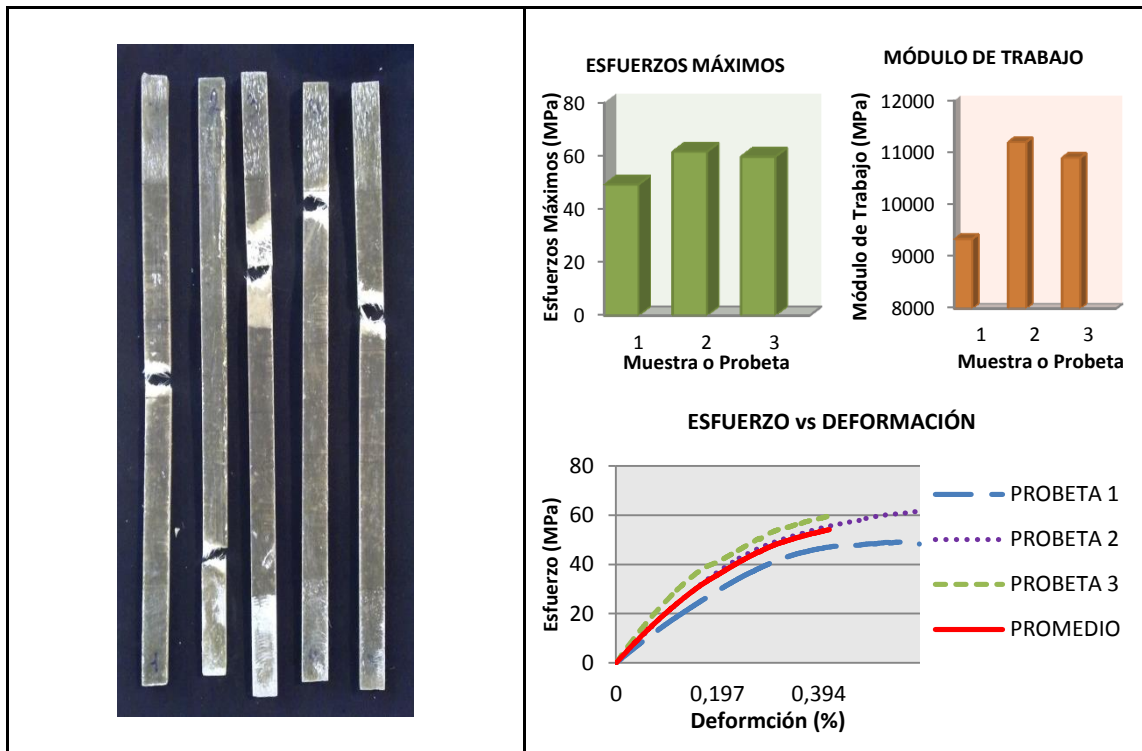
(Fuente: Realizada por el autor).



b) Ensayo a tracción de un material compuesto (resina poliéster + fibra de vidrio).

Ficha 4.2. Recolección de datos a tracción de un material compuesto.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)					REG: ET- FV-01
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO                  (Resina poliéster + Fibra de vidrio).</b>					
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).			
<b>Material de matriz:</b>	Resina poliéster.	<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de vidrio.			
<b>Compuesto:</b>	Resina poliéster + 4 capas de fibra de vidrio.					
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	250 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	5,6
<b>Número de Probetas:</b>	5 (se reportan 3).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).</b>						
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>		
1	0,543	4150	49,3	9340		
2	0,558	5390	61,6	11200		
3	0,588	5240	59,7	10900		
<b>Promedio:</b>	0,563	4926,7	56,9	10480		
<b>Desviación Estándar:</b>	0,023	676,8	6,62	999		



Fotos de las probetas sometidas al ensayo

Gráficas de resultados.

- Se realiza el ensayo a 5 probetas de las cuales se descartan 2 y se reportan 3.
- Buena adherencia fibra – matriz.
- Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.

**Espesor promedio:** 5,6 mm.  
**Esfuerzo máximo promedio:** 56,9 (MPa).  
**Módulo de elasticidad promedio:** 10480 (MPa).

Observaciones.

Evaluación.

<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

#### 4.1.1.2. Ensayo a flexión de materiales tradicionales para la fabricación de butacas deportivas.

**Esfuerzo máximo a flexión.**

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Dónde:

- $\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (MPa).
- F = es la carga a la fractura (N).
- L = la distancia entre los dos puntos de apoyos (mm).
- w = es el ancho de la probeta ensayada (mm)
- h = espesor de la probeta (mm).

**Módulo de flexión.**


$$E_f = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta}$$

Dónde:

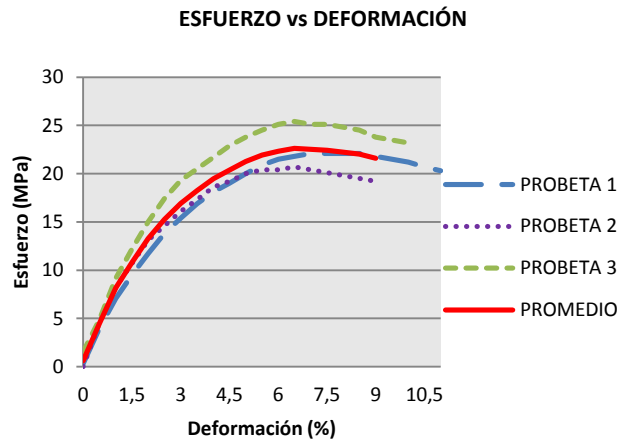
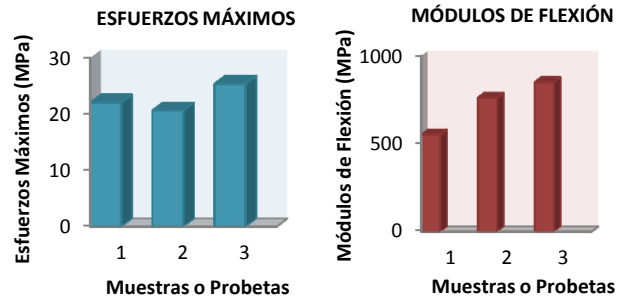
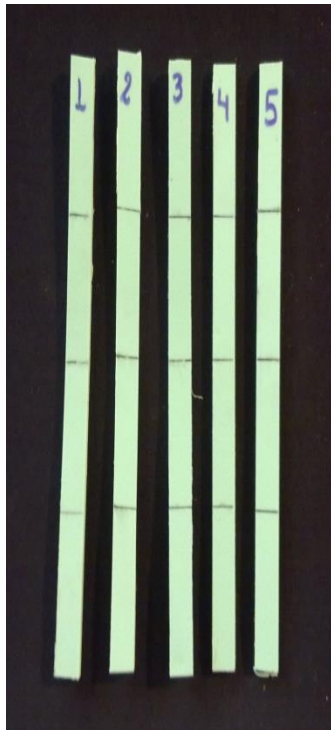
- $E_f$  = Módulo de flexión.
- $\delta$  = es la deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza F (mm).
- L = longitud entre los apoyos (mm).
- F = fuerza aplicada (N).
- w = es el ancho de la probeta (mm).
- h = es el espesor de la probeta (mm).

**a) Ensayo a flexión de un material plástico (polietileno de alta densidad).**

*Ficha 4.3. Recolección de datos a flexión de un material plástico.*

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)					REG: EF-PEAD-01
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL PLÁSTICO</b>					
<b>(Polietileno de alta densidad).</b>						
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).			
<b>Material:</b>	Polietileno de alta densidad (inyectado).					
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	5
<b>Número de Probetas:</b>	5 (se reportan 3).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		

Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).				
Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)
1	11,3	60	22,1	553
2	9,4	56,7	20,6	762
3	10,3	69,2	25,4	851
<b>Promedio:</b>	10,3	62	22,7	722
<b>Desviación Estándar:</b>	0,97	6,5	2,5	153



Fotos de las probetas sometidas al ensayo

Gráficas de resultados.

- Se realiza el ensayo a 5 probetas de las cuales se descartan 2 y se reportan 3.
- Se produce la falla del material en medio de la probeta.

**Espesor promedio:** 5 mm.  
**Esfuerzo máximo promedio:** 22,7 (MPa).  
**Módulo de flexión:** 722 (MPa).

Observaciones.




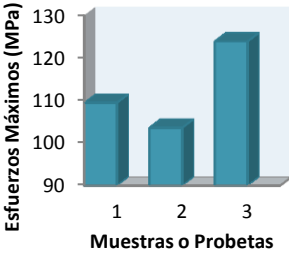
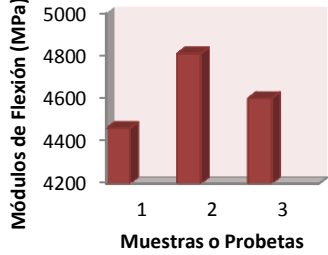
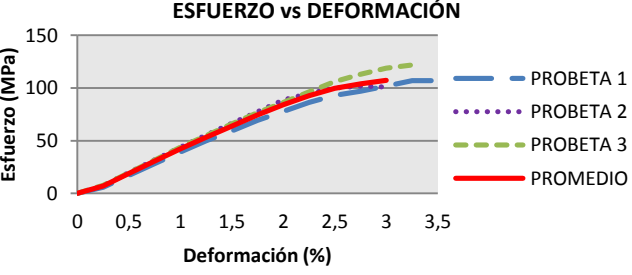
Evaluación.

<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

b) Ensayo a flexión de un material compuesto (resina poliéster + fibra de vidrio).

Ficha 4.4. Recolección de datos a flexión de un material compuesto.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)			
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina poliéster + Fibra de vidrio).</b>				
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).			
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).	
<b>Material de matriz:</b>	Resina poliéster.	<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de vidrio.	
<b>Compuesto:</b>	Resina poliéster + 4 capas de fibra de vidrio.			
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm
			<b>Espesor promedio (mm):</b>	5,4
<b>Número de Probetas:</b>	5 (se reportan 3).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).</b>				
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Flexión (MPa)</b>
1	3,4	318	109,5	4460
2	3,1	301	103,6	4810
3	3,2	352	123,9	4600
<b>Promedio:</b>	3,2	323,7	112,3	4623
<b>Desviación Estándar:</b>	0,15	26	10,4	176,2
		<p style="text-align: center;"><b>ESFUERZOS MÁXIMOS</b></p> 		
		<p style="text-align: center;"><b>MÓDULOS DE FLEXIÓN</b></p> 		
		<p style="text-align: center;"><b>ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</b></p> 		
Fotos de las probetas sometidas al ensayo		Gráficas de resultados.		

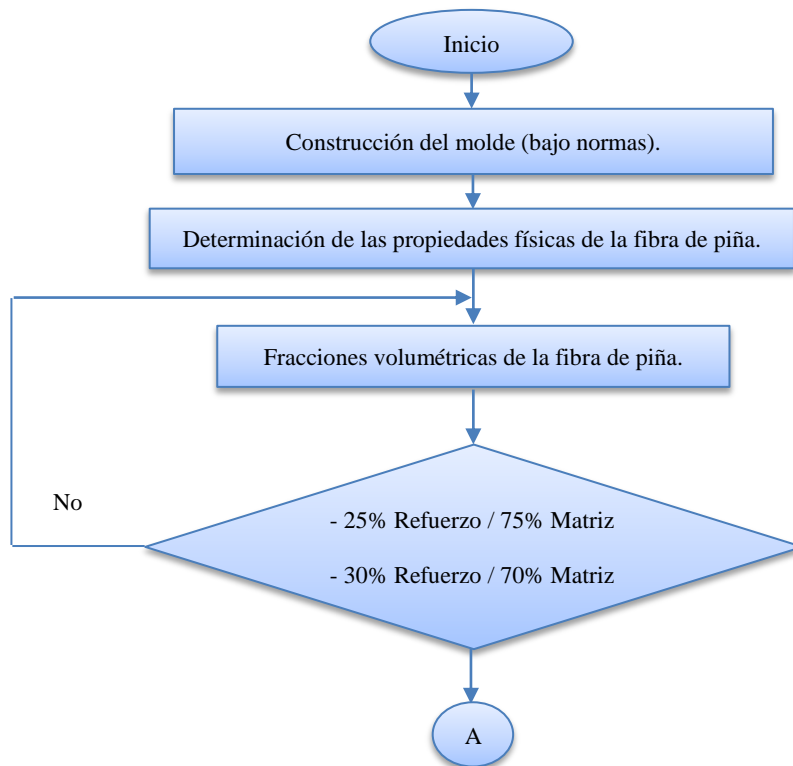
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se realiza el ensayo a 5 probetas de las cuales se descartan 2 y se reportan 3.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La falla se produce en el centro de la probeta.</li> </ul>	<b>Espesor promedio:</b> 5,4 mm. <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 112,3 (MPa). <b>Módulo de flexión:</b> 4623 (MPa).		
Observaciones.		Evaluación.	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

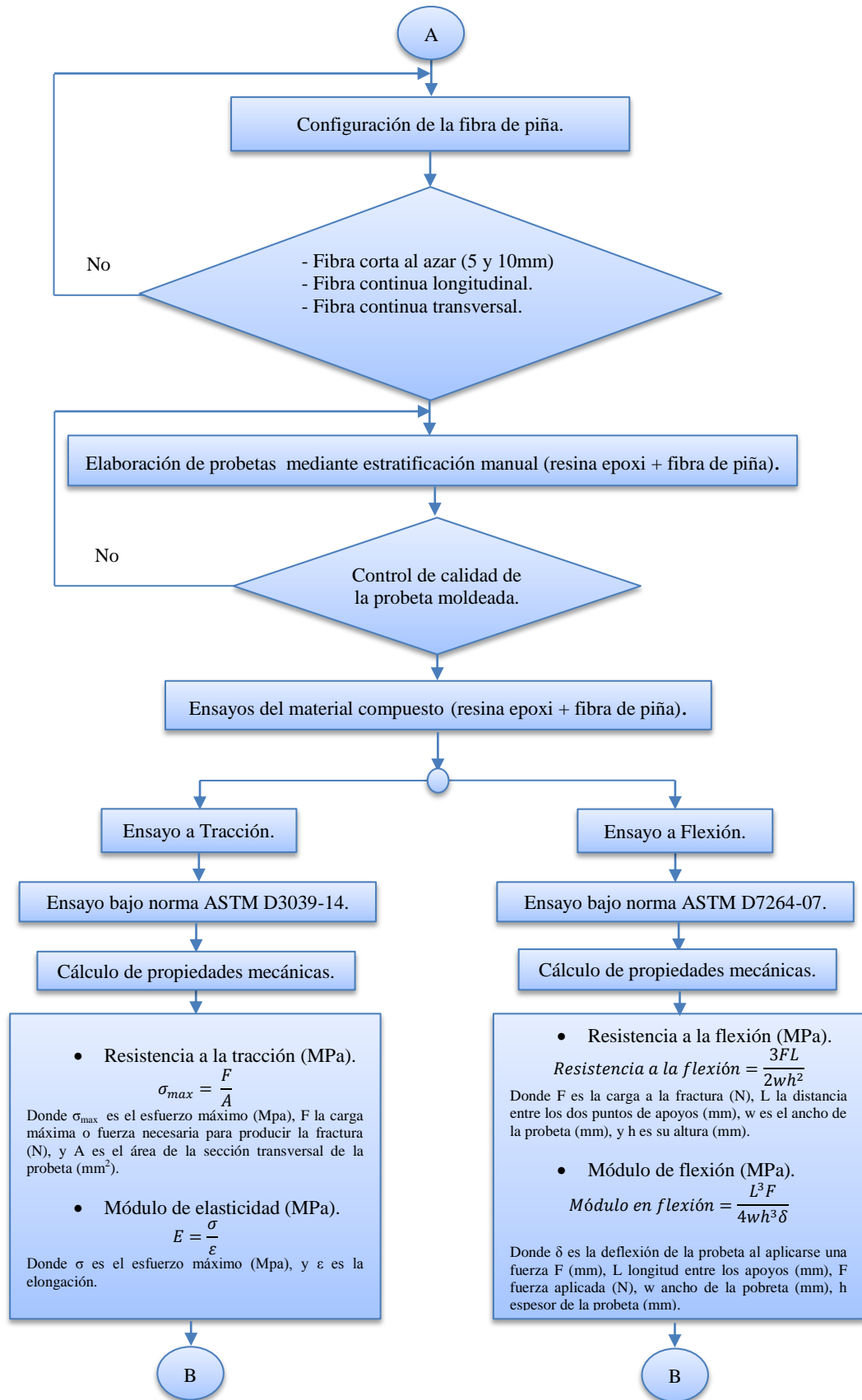
(Fuente: Realizada por el autor).

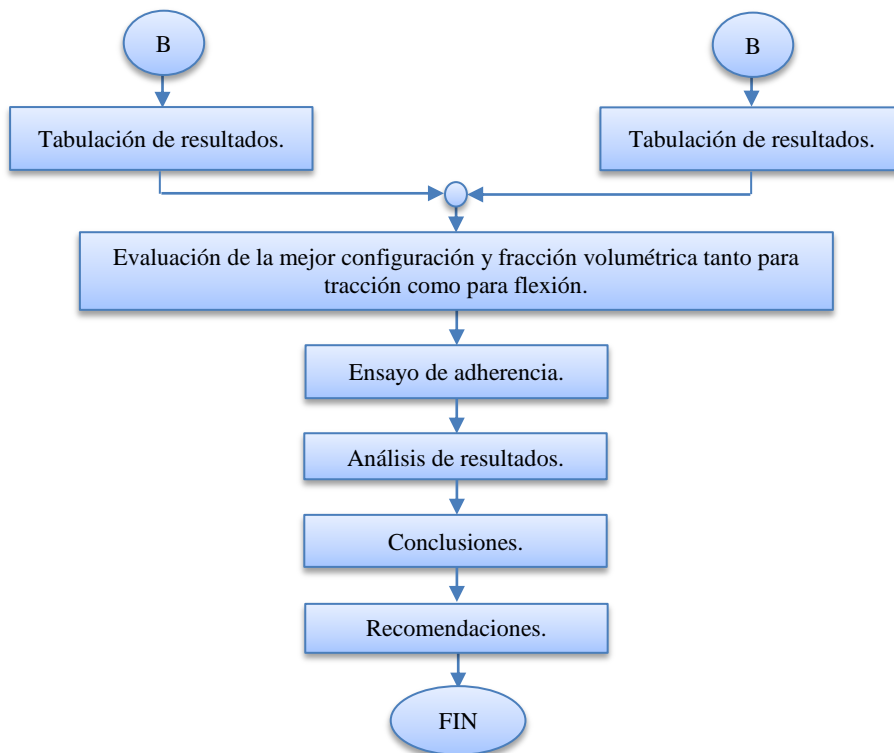
#### 4.1.2. ENSAYOS DEL NUEVO MATERIAL COMPUESTO.

El nuevo material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña se lo realizará bajo varios parámetros y siguiendo un procedimiento preestablecido a continuación se muestra un diagrama del procedimiento a seguir.

Figura 4.1. Diagrama de caracterización del material compuesto.





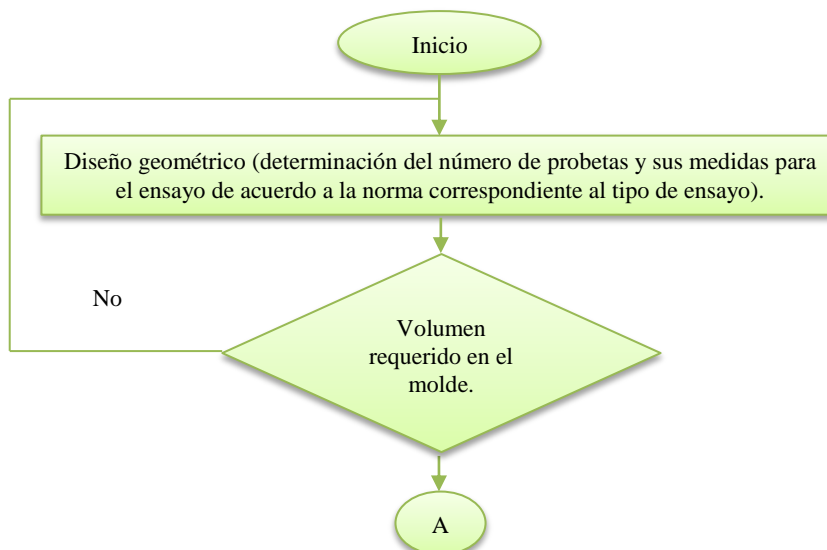


(Fuente: Realizada por el autor).

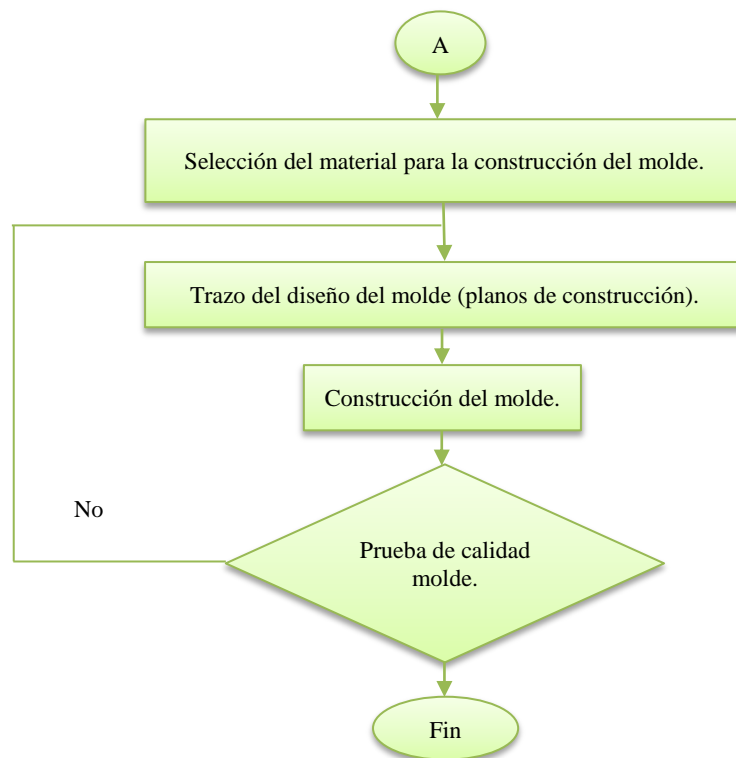
### a) Construcción del molde.

Para la construcción del molde se siguió un proceso el cual se describe a continuación.

**Figura 4.2.** Diagrama del procedimiento para la construcción de molde.





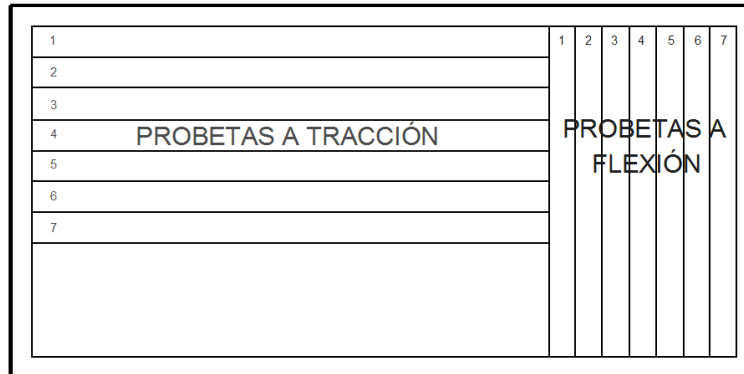


*(Fuente: Realizada por el autor).*

### **Diseño Geométrico.**

En primer lugar se realizará un posible diseño esto se lo hace de acuerdo al número de probetas que se va utilizar para el ensayo para determinar en área de trabajo o espacio de moldeo el espesor esta predeterminado, en este caso es de 5 mm se trabajó con este espesor para realizar la comparación con el material utilizado tradicionalmente en la fabricación de butacas deportivas.

El diseño propuesto de acuerdo a la configuración de fibras y el que más se acomoda a las medidas de las probetas que estas están determinadas de acuerdo a la norma de cada ensayo correspondiente, es el que se muestra a continuación:



**Figura 4.3.** Distribución de probetas en el molde.

(Fuente: Realizada por el autor).

En este sistema propuesto se acomoda con facilidad a las configuraciones y fracciones volumétricas del material compuesto utilizado.

Las medidas de las probetas según cada norma son:

- Probetas para tracción ASTM D3039 las medidas de las probetas son: 250 x 15mm con un espesor de 5 mm.
- Probetas para flexión ASTM D3039 las medidas de las probetas son: 160 x 13mm con un espesor de 5 mm.

El área de trabajo o espacio para el moldeo es de: 360 x 180 mm y un espesor de 5 mm. Cabe señalar que al área de trabajo se sobre dimensionó una medida de 10 mm en cada uno de los lados ya que se pueden producir fallas en los contornos del material y para realizar los distintos cortes de las probetas.

### **Volumen requerido en el molde.**

El volumen requerido para el molde o el espacio en donde será depositado el material para la fabricación del material compuesto, el molde deberá formar una cámara con un

espacio para el moldeo de 360 x 180 mm con un espesor de 5 mm, es decir el volumen de esta cámara donde se producirá el moldeo es:

$$V_{\text{Requerido en el molde}} = 360 \times 180 \times 5$$

$$V_{\text{Requerido en el molde}} = 324000 \text{ mm}^3.$$

$$V_{\text{Requerido en el molde}} = 324 \text{ cm}^3.$$

### **Selección del material para la construcción del molde.**

Para la construcción de este molde se trabajó con un acero negro A-36, gracias a sus ventajas que presenta y a su costo, este material nos brinda las ventajas necesarias para generar la presión necesaria en la cámara de moldeo cuando se comprime el material compuesto.

Se utilizaron pernos de acero de 1 x 1/2 pulgada de rosca gruesa con un sus respectivas tuercas, los cuales serán utilizados para el acople entre el macho y hembra del molde.

### **Trazo del diseño del molde.**

En esta etapa se realizó los planos del molde con las especificaciones correspondientes detalladas en los procesos anteriores, cada elemento o parte que conforma el molde así como su diseño se detalla en los planos que se encuentran en los Anexos 8, en la presente investigación.

### **Construcción del molde.**

Una vez que se tiene ya definidos todos los parámetros de diseño del molde se procede a la construcción del mismo.

El modelo de este molde propuesto consta de tres partes principales las cuales son:

- Base.
- Marco (forma el área donde se va a producir la etapa de moldeado).
- Tapa.

Una vez obtenido todos los materiales se procede a la elaboración de cada uno de estos elementos o partes.

- **Construcción de la base.**

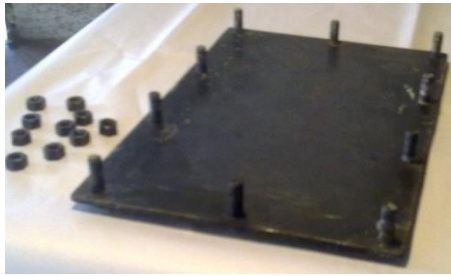
Para la fabricación de este elemento se trabajó en una plancha de acero negro A-36 con un espesor de 5 mm, primero se señala y se realiza el corte a la medida especificada en los planos, esta medida es de: 440 x 260 mm.

Una vez obtenida la plancha que será la base cortada a la medida requerida se procede a perforar y acoplar los pernos (soldar), los pernos son de acero de 1 x 1/2 pulgada de rosca gruesa los cuales están distribuidos a lo largo y ancho del molde de acuerdo al modelo de los planos, estos servirán para el acople entre los elementos del molde.



*Figura 4.4. Construcción de la base del molde.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.5. Base del molde terminado.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

- **Construcción del marco.**

Este elemento es fundamental ya que es donde se forma el espacio o área para el moldeo del material. Se corta el material de acuerdo a las medidas correspondientes, el material que se utilizó es un perfil de acero negro A-36 tipo L de 5 mm de espesor, una vez formado el marco se realizó las perforaciones estas perforaciones son de 9/16 de pulgada, las perforaciones permiten el acople entre la base y el marco.



*Figura 4.6. Construcción del marco.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.7. Marco del molde terminado.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

- **Construcción de la tapa.**

El diseño de esta tapa se lo realizó con la finalidad de generar una presión en el área de moldeo. En primer lugar se corta de plancha de acero negro a A-36 de 5 mm de espesor, la medida de este corte será la misma medida que tiene el área donde se produce en moldeo del material (380 x 180 mm), luego se suelda una sobre monta en el contorno de la tapa las medidas de las mismas están especificadas en los planos en los anexos del presente trabajo de investigación (Anexo 8, plano 1), luego se realiza las perforaciones para el acople ente los elementos estas perforaciones son de 9/16 de pulgada.

Las medidas de todos los elementos o partes que conforman el molde están determinadas con la finalidad que cuando se proceda al ensamble de los elemento forme una cámara o espacio de trabajo donde se produce el moldeo, dicha cámara tiene una medida de 360 x 180 mm con un espesor de 5 mm y que posee un volumen de trabajo de  $324 \text{ cm}^3$ , el moldeo es bajo presión el torque para la unión de los elementos es de 50 lb en cada perno el molde posee 10 pernos distribuidos de una manera correcta y uniforme para que se genere un buen prensado del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).



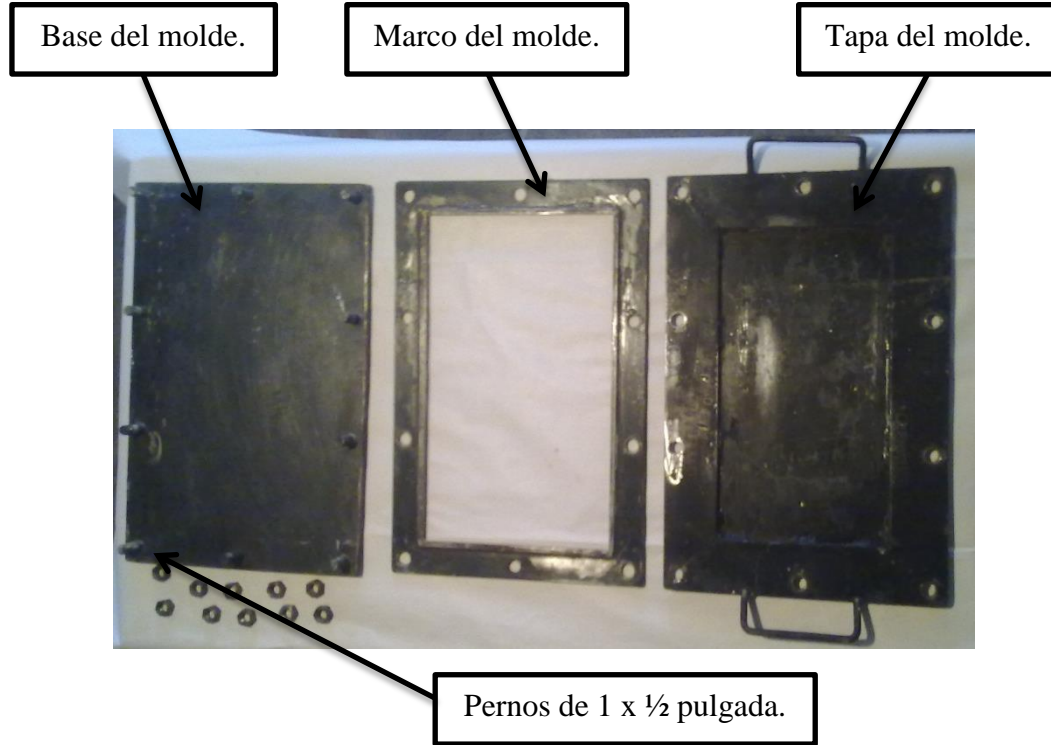
*Figura 4.8. Construcción de la tapa del molde.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.9. Tapa del molde terminada.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.10. Molde terminado.*  
(Fuente: Realizada por el autor).

- **Prueba de calidad del molde.**

Para esta prueba se trabajó con una fracción volumétrica del 75 % de matriz (resina epoxi) y 25 % de refuerzo (fibra de piña), con una configuración al azar y una longitud de fibra de 10mm.

Los resultados obtenidos fueron aceptables ya que no se presentaron ningún tipo de fallas en la pieza moldeada así mismo no se tuvo complicaciones durante el proceso de moldeado. La pieza moldeada fue medida y verificada si existen fallas en la misma, esta cumplía con todas las expectativas deseadas, de esta manera el mole cumplió con las especificaciones requeridas.



**Figura 4.11.** Fibra corta de 10mm.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.12.** Elementos para el moldeo.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.13.** Molde sellado luego del moldeo.  
(Fuente: Realizada por el autor).





**Figura 4.14. Desmolde.**  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.15. Pieza terminada.**  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.16. Prueba de calidad de pieza moldeada.**  
(Fuente: Realizada por el autor).

## b) Determinación de las propiedades físicas de la fibra de piña.

Se determinó la densidad de la fibra de piña, la fibra esta procede de la planta de la piña crecida en la zona costera específicamente en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas en el cantón La Concordia.

La piña es una planta que puede llegar a medir hasta 2 metros de largo y 1.5 metros de ancho, la fibra de piña es resistente y durable, a continuación se detallan varias de las propiedades principales de esta fibra.

*Tabla 4.1. Propiedades de la fibra de piña.*

<b>Densidad.</b>	1,53 (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Módulo de elasticidad.</b>	4,2 (GPa)
<b>Resistencia a la tracción.</b>	413 (MPa)
<b>Alargamiento a la rotura.</b>	3-4 %

*(Fuente: Salvador, 2008, sin p.).*

En primer lugar se determinó la densidad de este tipo de fibra, para ello se utilizó el método gravimétrico.

Se tomaron 3 muestras de fibra de piña, estas fueron pesadas y enumeradas, posteriormente en una vaso de precipitación se añadió una cierta cantidad de resina epoxi sin endurecedor, luego se introduce la fibra de piña en el vaso de prestación que contiene la resina epoxi visualmente se define la diferencia de volumen (volumen inicial de la resina sin fibra y el volumen final cuando se añade la fibra) luego aplicamos la fórmula para determinar la densidad de la fibra estudiada.

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



**Figura 4.17.** Fibra de piña.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.18.** Determinación de densidades de la fibra por método gravimétrico.  
(Fuente: Realizada por el autor).

Los resultados obtenidos en este método fueron:

**Tabla 4.2.** Densidad de la fibra de piña.

Muestra	Masa (gr)	V. Inicial (cm <sup>3</sup> )	V. Final (cm <sup>3</sup> )	Δ Volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )
1	2,2	150	151,5	1,4	1,57
2	4,1	150	152,7	2,7	1,51
3	9,3	150	156,2	6,2	1,50

(Fuente: Realizada por el autor).

De estos datos obtenidos experimentalmente se determinó la densidad promedio de esta fibra la cual fue:

$$\text{Densidad promedio de la fibra de piña} = 1,526 \approx 1,53 \text{ gr/cm}^3.$$

Cabe señalar que las pruebas realizadas se realizaron a temperatura ambiente (entre 18 – 20 °C).

**c) Fracción volumétrica de la fibra de piña.**

Se trabajó con dos fracciones volumétricas estas fueron:

- 75% de matriz (resina epoxi) y el 25% de refuerzo (fibra de piña).
- 70% de matriz (resina epoxi) y el 30% de refuerzo (fibra de piña).

Se determinó la cantidad tanto de matriz como refuerzo a utilizar esto se realizó de la siguiente manera.

**Cálculo para la fracción volumétrica del 75% de matriz (resina epoxi) y el 25% de refuerzo (fibra de piña).**

En primer lugar se determinó el volumen requerido de material compuesto de acuerdo al área de la matriz.

Datos del área de trabajo o espacio para el moldeo:

- lado<sub>1</sub> = 36 cm.
- lado<sub>2</sub> = 18 cm.
- espesor = 0,5 cm.

$$V_{requerido} = 36 \times 18 \times 0,5$$

$$V_{requerido} = 324 \text{ cm}^3$$

Una vez determinado el volumen requerido en el molde se calculó la cantidad del material de refuerzo (masa de fibra de piña requerida) y la cantidad de matriz que se utilizará (volumen de la resina epoxi).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$f_m = (1 - f_f)$$

Donde los subíndices m y f se refieren a la matriz y a la fibra del material compuesto.

Datos conocidos del material compuesto:

Fracciones volumétricas:

$$f_m = 0,75$$

$$f_f = 0,25$$

Densidades:

$$\rho_m = 1,1 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\rho_f = 1,53 \frac{gr}{cm^3}$$

Cálculo de la densidad del material compuesto (fibra de piña + resina epoxi).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (0,75 \times 1,1 \frac{gr}{cm^3}) + (0,25 \times 1,53 \frac{gr}{cm^3})$$

$$\rho_c = 1,21 \frac{gr}{cm^3}$$

Cálculo de la fracción volumétrica del material de refuerzo del material compuesto (fibra de piña).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = (1 - f_f) \rho_m + f_f \rho_f$$

$$\rho_c = \rho_m - f_f \rho_m + f_f \rho_f$$

$$1,21 = 1,1 - 1,1 f_f + 1,53 f_f$$

$$f_f = 0,25$$

$$f_f = 25 \%$$

Determinación de la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina epoxi).

$$f_m = (1 - f_f)$$

$$f_m = (1 - 0,25)$$

$$f_m = 0,75$$

$$f_m = 75\%$$

De estos cálculos se determinaron las fracciones volumétricas del material compuesto. La fracción volumétrica requerida de material de refuerzo es del 25 % (fibra de piña), mientras que la fracción volumétrica de la matriz es de 75% (resina epoxi).

Una vez determinada las fracciones volumétricas tanto de la matriz (resina epoxi) como del refuerzo (fibra de piña) se realiza el cálculo para determinar el volumen de la matriz y la masa requerida del refuerzo.

- **Determinación del volumen de la matriz (resina epoxi).**

Conocido el volumen requerido en el molde y la fracción volumétrica requerida de resina se procede a determinar la cantidad de resina requerida para el moldeo.

$$V_{requerido} = 324 \text{ cm}^3$$

$$f_m = 75 \%$$

$$\text{volumen de la matriz} = 324 \text{ cm}^3 \times \frac{100\%}{75\%}$$

$$\text{volumen de la matriz} = 243 \text{ cm}^3$$

Esta es la cantidad de resina que se requiere para el moldeo cabe señalar que este tipo de resina utiliza un endurecedor que se debe utilizar con una relación de 1 a 5 es decir

por cada parte de resina utilizada se añadirá la quinta parte en proporción al volumen de la resina en este caso el volumen de endurecedor será de 48,6 cm<sup>3</sup>.

- **Determinación la masa del material de refuerzo (fibra de piña).**

Una vez determinada la fracción requerida de refuerzo y el volumen del molde se puede determinar la cantidad de fibra que se utilizará (masa).

$$V_{requerido} = 324 \text{ cm}^3$$

$$f_f = 25 \%$$

$$\text{volumen del refuerzo} = \frac{324 \text{ cm}^3}{25\%} \times 100\%$$

$$\text{volumen del refuerzo} = 81 \text{ cm}^3$$

Una vez determinado el volumen de la fibra requerida aplicamos la fórmula para determinar la masa de la misma.

$$\text{volumen del refuerzo} = 81 \text{ cm}^3$$

$$\rho_f = 1,53 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$v = m \times \rho_f$$

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

$$m = \frac{81 \text{ cm}^3}{1,53 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$m = 52,94 \text{ gr}$$

Realizado los cálculos correspondientes se determinó que para un volumen de 324 cm<sup>3</sup> este volumen corresponde al necesario para el moldeo, el volumen requerido de matriz que corresponde a una fracción volumétrica del 75% será de 243 cm<sup>3</sup>, para esta cantidad

de resina se utilizará  $48,6 \text{ cm}^3$  de endurecedor, la cantidad de fibra necesaria es de  $52,94 \text{ gr}$  que corresponde a una fracción volumétrica del 25%.

**Cálculo para la fracción volumétrica de 70% de matriz (resina epoxi) y el 30% de refuerzo (fibra de piña).**

El procedimiento para el cálculo es muy similar al del realizado para una fracción volumétrica de 75% de matriz y 25% de refuerzo.

El volumen requerido para el moldeo será el mismo.

$$V_{requerido} = 324 \text{ cm}^3$$

Se calcula la cantidad del material de refuerzo (masa de fibra de piña requerida) y la cantidad de matriz que se utilizará (volumen de la resina epoxi).

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f$$
$$f_m = (1 - f_f)$$

Dónde los subíndices m y f se refieren a la matriz y a la fibra del material compuesto.

Datos conocidos del material compuesto:

- Fracciones volumétricas:

$$f_m = 0,70$$

$$f_f = 0,30$$

- Densidades:

$$\rho_m = 1,1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$\rho_f = 1,53 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$



Densidad del compuesto.

$$\begin{aligned}\rho_c &= f_m \rho_m + f_f \rho_f \\ \rho_c &= (0,70 \times 1,1 \frac{gr}{cm^3}) + (0,30 \times 1,53 \frac{gr}{cm^3}) \\ \rho_c &= 1,23 \frac{gr}{cm^3}\end{aligned}$$

Cálculo para la fracción volumétrica del material de refuerzo del material compuesto (fibra de piña).

$$\begin{aligned}\rho_c &= f_m \rho_m + f_f \rho_f \\ \rho_c &= (1 - f_f) \rho_m + f_f \rho_f \\ \rho_c &= \rho_m - f_f \rho_m + f_f \rho_f \\ 1,23 &= 1,1 - 1,1 f_f + 1,53 f_f \\ f_f &= 0,3 \\ f_f &= 30 \%\end{aligned}$$

Cálculo para la fracción volumétrica de la matriz del material compuesto (resina epoxi).

$$\begin{aligned}f_m &= (1 - f_f) \\ f_m &= (1 - 0,3) \\ f_m &= 0,7 \\ f_m &= 70 \%\end{aligned}$$

Para este caso la fracción volumétrica requerida de refuerzo es del 30 % (fibra de piña), y de la matriz es de 70% (resina epoxi).

- **Cálculo del volumen de la matriz (resina epoxi).**

$$V_{requerido} = 324 \text{ cm}^3$$

$$f_m = 70 \%$$

$$\frac{324 \text{ cm}^3}{\text{volumen de la matriz}} \times \frac{100\%}{70\%}$$

$$\text{volumen de la matriz} = 226,8 \text{ cm}^3$$

Para esta cantidad de material de 226,8 cm<sup>3</sup> (resina epoxi) se utilizara la cantidad de endurecedor de 45,4 cm<sup>3</sup>.

- **Determinación la masa del material de refuerzo (fibra de piña).**

Una vez determinada la fracción requerida de refuerzo y el volumen del molde se puede determinar la cantidad de fibra que se utilizara (masa).

$$V_{\text{requerido}} = 324 \text{ cm}^3$$

$$f_f = 30 \%$$

$$\frac{324 \text{ cm}^3}{\text{volumen del refuerzo}} \times \frac{100\%}{30\%}$$

$$\text{volumen del refuerzo} = 97,2 \text{ cm}^3$$

Una vez determinado el volumen de la fibra requerida aplicamos la fórmula para determinar la masa de la misma.

$$\text{volumen del refuerzo} = 97,2 \text{ cm}^3$$

$$\rho_f = 1,53 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

$$v = m \times \rho_f$$

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

$$m = \frac{97,2 \text{ cm}^3}{1,53 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}}$$

$$m = 63,5 \text{ gr}$$

Una vez realizado los cálculos correspondientes se determinó que para un volumen de 324 cm<sup>3</sup> este volumen corresponde al necesario para el moldeo, el volumen requerido de matriz que corresponde a una fracción volumétrica del 70% será de 243 cm<sup>3</sup>, para esta cantidad de resina se utilizará 48,6 cm<sup>3</sup> de endurecedor, la cantidad de fibra necesaria es de 63,5 gr que corresponde a una fracción volumétrica del 30%.

#### **d) Configuración de la fibra de piña.**

La configuración propuesta es muy sencilla ya que a la fibra se realizará cortes de 5 mm, 10 mm, para la fibra longitudinal se cortara la fibra de acuerdo a la longitud del molde que es de 36 cm y para la transversal cortes de 18 cm.

El materia de refuerzo (fibra de piña) debe encontrarse limpio por completo para tener una buena adherencia entre la matriz y el refuerzo.



**Figura 4.19.** Fibra de piña libre de celulosa e impurezas.  
(Fuente: Realizada por el autor).

Se pesa la fibra de acuerdo a la masa de fibra requerida.



**Figura 4.20.** Peso del material de refuerzo requerido (fibra de piña).

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Posteriormente se corta la fibra de acuerdo a la configuración correspondiente.



**Figura 4.21.** Fibra de piña de 5mm.

*(Fuente: Realizada por el autor).*



**Figura 4.22.** Fibra de piña de 10mm.

*(Fuente: Realizada por el autor).*



**Figura 4.23.** Fibra larga longitudinal.

*(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.24. Fibra larga transversal.  
(Fuente: Realizada por el autor).*

Se pesa la fibra con la configuración a trabajar.



*Figura 4.25. Pesado de la masa requerida de fibra de piña.  
(Fuente: Realizada por el autor).*

Con el corte de la fibra de acuerdo a la configuración y con la masa de la misma de acuerdo a la fracción volumétrica con la que se trabajara se concluye esta etapa del proceso.

**e) Elaboración de probetas mediante estratificación manual (resina epoxi + fibra de piña).**

Una vez construido el molde y definida las cantidades requeridas tanto la masa del refuerzo (fibra de piña) como el volumen de la matriz (resina epoxi) se procede a la elaboración de las probetas este moldeo va a ser bajo presión para tener una mejor adherencia entre matriz y refuerzo.

Se siguió una secuencia preestablecidas para la fabricación de las probetas a continuación se describe el proceso seguido para la fabricación de estas probetas.

- **Preparación del Molde.**

Una vez construido el molde se procede a la limpieza del mismo, cabe señalar que el área donde se realizará el moldeo deberá estar completamente limpia, libre de escorias y desperfecciones.

Se añade una primera capa fina de cera desmoldante.



*Figura 4.26. Aplicación de cera desmoldante en la base del molde.  
(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.27. Aplicación de cera desmoldante en el cuadro del molde.  
(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.28. Aplicación de cera desmoldante en la tapa del molde.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Cabe señalar que cuando la matriz o molde es nuevo se darán varias capas de esta cera para que el material no se adhiera cada capa se la da esperando un tiempo prudencial el tiempo entre las aplicaciones de cada fue de un tiempo estimado de 2 a 3 minutos, en la primera moldeada se aplicó 4 capas de ceras ya que el molde o matriz es nuevo, posteriormente para los siguientes moldeos se aplicó 2 capas de cera.

- **Preparación del material de refuerzo (fibra de piña).**

El material debe estar seco y libre de impurezas, este tipo de fibra no requiere de ningún tipo de aditivos para ser utilizado.



*Figura 4.29. Fibra de piña libre de impurezas.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

- **Preparación de la matriz (resina epoxi).**

Para esta etapa se utilizó un vaso de precipitación de 250 cm<sup>3</sup> y jeringuillas de 10 cm<sup>3</sup> estas con la finalidad de tener el volumen necesario y para que no exista desperdicios del material.



**Figura 4.30.** Vaso de precipitación de 250 cm<sup>3</sup>.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.31.** Jeringuillas de 10 cm<sup>3</sup>.  
(Fuente: Realizada por el autor).

Se mide el volumen de material requerido (resina epoxi).

- Para una fracción volumétrica del 75% se utiliza un volumen de: 243 cm<sup>3</sup>.
- Para una fracción volumétrica del 70% se utiliza un volumen de: 226,8 cm<sup>3</sup>.



**Figura 4.32.** Volumen de resina epoxi requerida.  
(Fuente: Realizada por el autor).



Luego se mide el volumen de endurecedor.

- Para una fracción volumétrica del 75% se utiliza un volumen de:  $48,6 \text{ cm}^3$ .
- Para una fracción volumétrica del 70% se utiliza un volumen de:  $45,4 \text{ cm}^3$ .



*Figura 4.33. Volumen de endurecedor requerido.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Se mezclan los componentes (resina epoxi + endurecedor).



*Figura 4.34. Mezclado de la resina con el endurecedor.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

- **Vertido del material compuesto.**

Sobre el molde se agrega una cierta cantidad del material utilizado como matriz (resina epoxi).



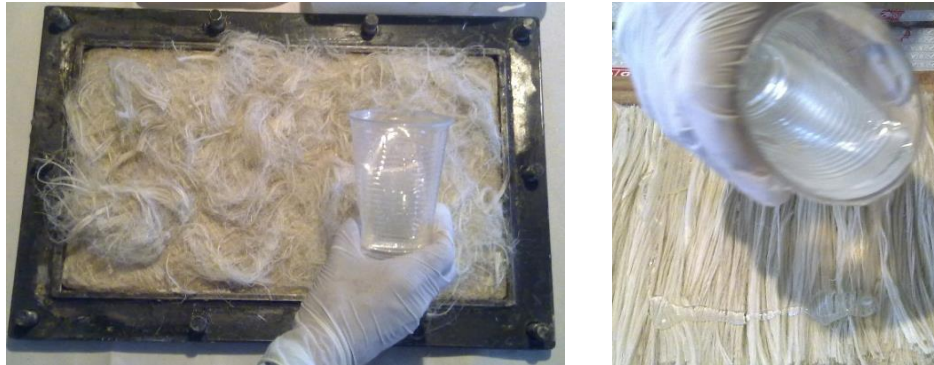
*Figura 4.35. Vertido de resina epoxi sobre el molde.  
(Fuente: Realizada por el autor).*

Se añade el material de refuerzo (fibra de piña) de acuerdo a la configuración y fracción volumétrica con la que se esté trabajando.



*Figura 4.36. Mezcla del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).  
(Fuente: Realizada por el autor).*

Se va humectando el material de refuerzo mientras este va siendo agregado en el molde.



*Figura 4.37. Humectación de la fibra de piña.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Se agrega una capa final de resina epoxi y se deja por un lapso de un tiempo de aproximadamente dos a tres minutos hasta que el material de refuerzo se humecte por completo con la matriz.



*Figura 4.38. Resina epoxi + fibra de piña.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

- **Sellado del molde.**

Una vez que el material es moldeado en la cavidad o espacio de moldeo se procede a sellar el molde para ello se acopla la tapa con la base, se ajusta la tapa con una tolerancia en cada perno de 50 lb, para tener un sellado y un prensado correcto entre los materiales que se encuentran en el interior.



*Figura 4.39. Sellado del molde.  
(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.40. Calibración de la palanca de fuerza.  
(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.41. Ajuste de tuercas.  
(Fuente: Realizada por el autor).*

- **Desmolde del material compuesto.**

Se deja que el material compuesto (resina epoxi + fibra de piña) se seque durante un lapso de 24 horas este tiempo es el recomendado por el fabricante o productores de este tipo de resina, (Anexo 1), una vez transcurrido este tipo se procede a retirar la tapa del molde.



*Figura 4.42. Desmonte de la tapa superior.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Posteriormente se retira el cuadro que forma el espacio de moldeo.



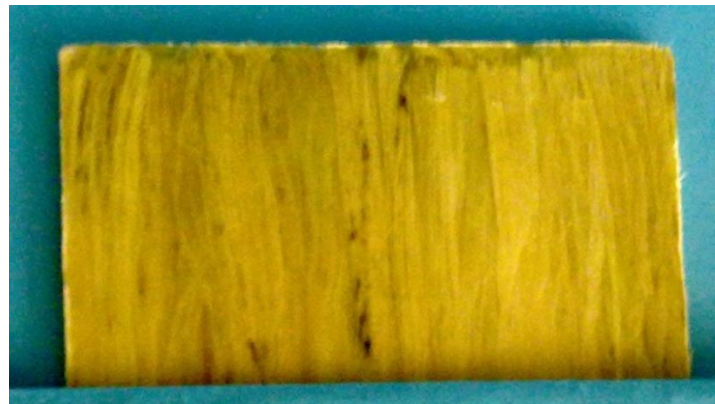
*Figura 4.43. Desmonte del cuadro de moldeo.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Por último se retira el material compuesto.



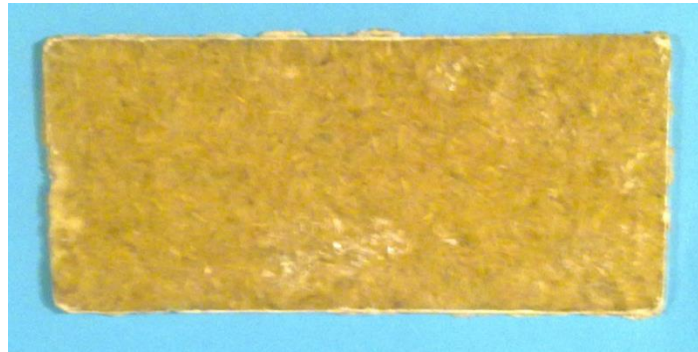
*Figura 4.44. Material compuesto con fibra de piña longitudinal.  
(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.45. Material compuesto con fibra de piña transversal.  
(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.46. Material compuesto con fibra de piña de 10mm.  
(Fuente: Realizada por el autor).*

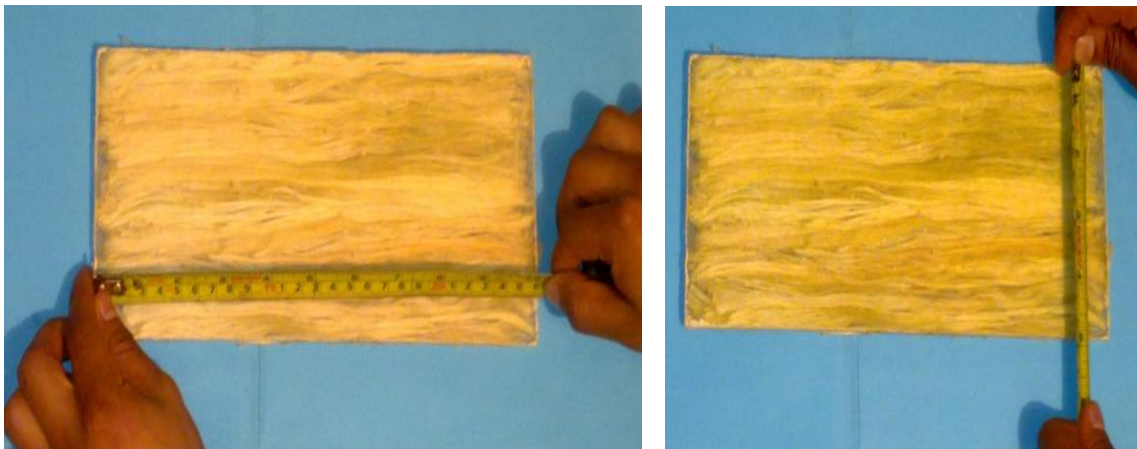


**Figura 4.47.** Material compuesto con fibra de piña de 5mm.  
(Fuente: Realizada por el autor).

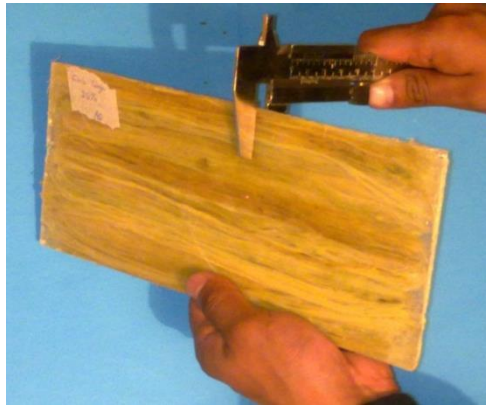
- **Verificación de fallas.**

Para ello se realiza una inspección visual del material obtenido (producto final) este no debe poseer porosidades y ningún tipo de fallas que podrían alterar los resultados de los ensayos.

Si el material compuesto pasa esta prueba visual se procede a verificar las medidas de las mismas para ver si esta cumple con las expectativas deseadas se mide sus lados así como su espesor este debe ser uniforme en todo el material compuesto.



**Figura 4.48.** Verificación de medidas del material compuesto.  
(Fuente: Realizada por el autor).

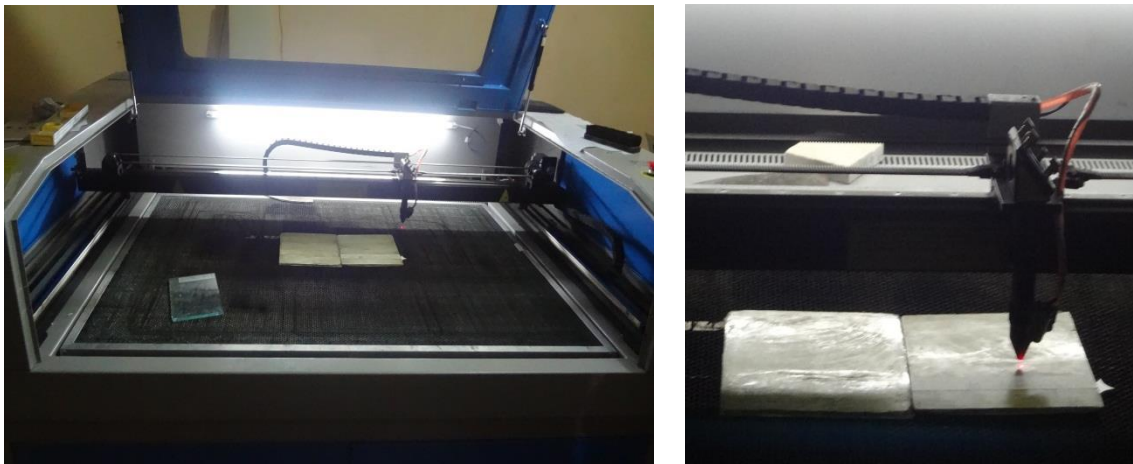


**Figura 4.49.** Verificación del espesor del material compuesto.  
(Fuente: Realizada por el autor).

- **Corte del material.**

Antes de realizar el corte el material lo dejamos secar durante 7 días después de curada la mezcla a temperatura ambiente con la finalidad de alcanzar sus mejores propiedades esto de acuerdo a las indicaciones por el fabricante (Anexo 1).

El corte del material compuesto se lo realizó por medio de un láser los cortes fueron de acuerdo a cada norma correspondiente al ensayo (medidas de las probetas normalizadas).



**Figura 4.50.** Corte por láser del material compuesto.  
(Fuente: Realizada por el autor).



### Corte de probetas a tracción.

Las dimensiones de cada probeta es de acuerdo la norma ASTM D3039-14, para ensayos a tracción.

*Tabla 4.3. Dimensión de probetas para ensayo a tracción.*

Configuración de la fibra.	Fracciones volumétricas.	# Probetas.	Dimensiones (cm).
<b>Fibra de 5mm al azar.</b>	25% Refuerzo + 75%Matriz	6	1,5x15x0,5
	30% Refuerzo + 70%Matriz	6	1,5x15x0,5
<b>Fibra de 10mm al azar.</b>	25% Refuerzo + 75%Matriz	6	1,5x15x0,5
	30% Refuerzo + 70%Matriz	6	1,5x15x0,5
<b>Fibra larga.</b>	25% Refuerzo + 75%Matriz	6	1,5x15x0,5
	30% Refuerzo + 70%Matriz	6	1,5x15x0,5
<b>Fibra transversal.</b>	25% Refuerzo + 75%Matriz	6	2,5x17,5x0,5
	30% Refuerzo + 70%Matriz	6	2,5x17,5x0,5

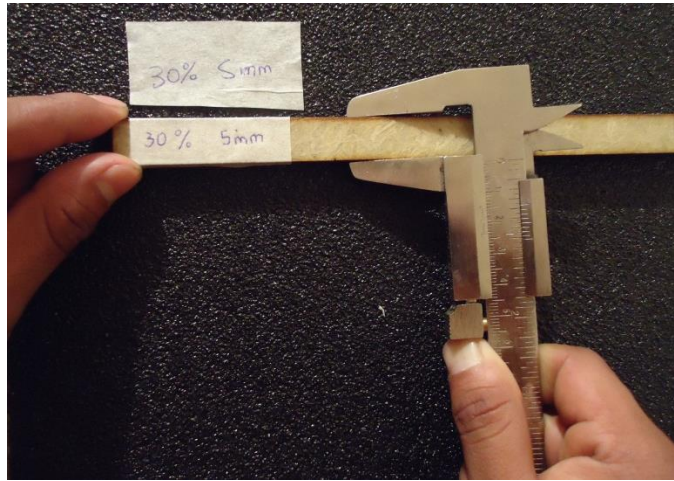
*(Fuente: Realizada por el autor).*

**Nota:** Se trabajó con un número de probetas de 48 con un espesor promedio de 0,5 cm.

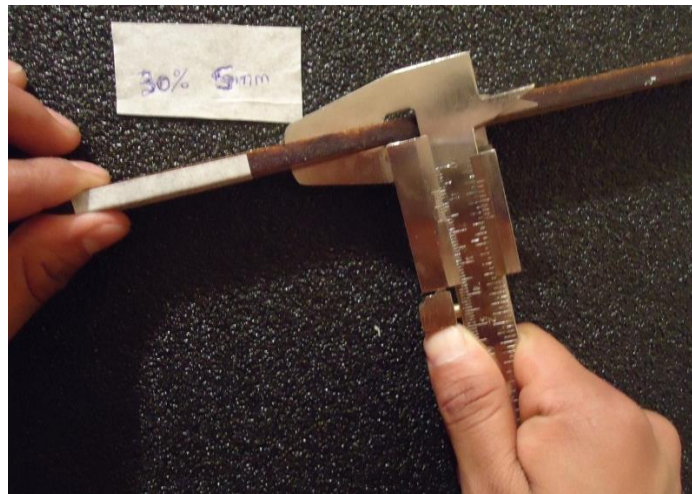


*Figura 4.51. Probetas para ensayo a tracción (cortadas bajo la Norma ASTM D3039-14).*

*(Fuente: Realizada por el autor).*



**Figura 4.52.** Comprobación del ancho de la probeta para ensayo a tracción.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.53.** Comprobación del espesor de la probeta para ensayo a tracción.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.54.** Comprobación de la longitud de la probeta para ensayo a tracción.  
(Fuente: Realizada por el autor).

### Corte de probetas a flexión.

Las dimensiones de cada probeta es de acuerdo la norma ASTM D7264-07, para ensayos a flexión.

**Tabla 4.4.** Dimensión de probetas para ensayo a flexión.

Configuración de la fibra.	Fracciones volumétricas.	# Probetas.	Dimensiones (cm).
<b>Fibra de 5mm al azar.</b>	25% Refuerzo + 75% Matriz	6	1,3x16x0,5
	30% Refuerzo + 70% Matriz	6	1,3x16x0,5
<b>Fibra de 10mm al azar.</b>	25% Refuerzo + 75% Matriz	6	1,3x16x0,5
	30% Refuerzo + 70% Matriz	6	1,3x16x0,5
<b>Fibra larga.</b>	25% Refuerzo + 75% Matriz	6	1,3x16x0,5
	30% Refuerzo + 70% Matriz	6	1,3x16x0,5
<b>Fibra transversal.</b>	25% Refuerzo + 75% Matriz	6	1,3x16x0,5
	30% Refuerzo + 70% Matriz	6	1,3x16x0,5

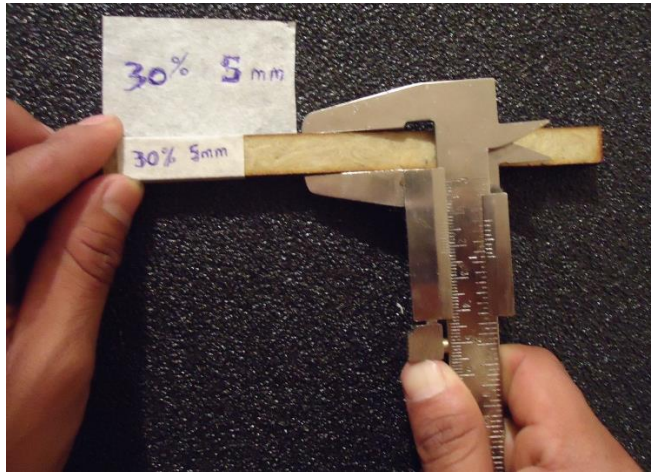
(Fuente: Realizada por el autor).

**Nota:** Se trabajó con un número de probetas de 48 con un espesor promedio de 0,5 cm.

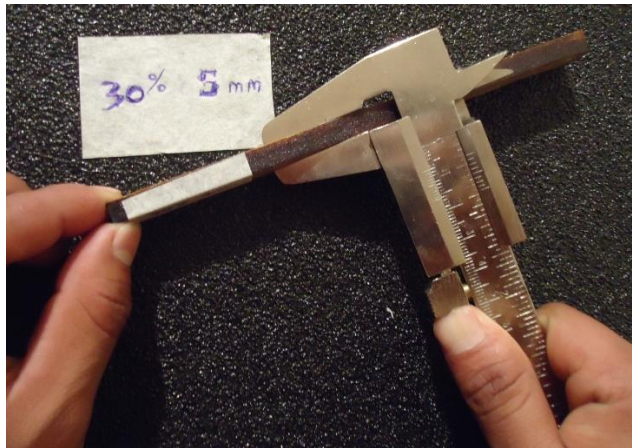


**Figura 4.55.** Probetas para ensayo a Flexión (cortadas bajo la Norma ASTM D7264-07).

(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.56.** Comprobación del ancho de la probeta para ensayo a flexión.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.57.** Comprobación del espesor de la probeta para ensayo a flexión.  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.58.** Comprobación de la longitud de la probeta para ensayo a flexión.  
(Fuente: Realizada por el autor).

- **Verificación de probetas.**

Se realiza una inspección visual esto con la finalidad de detectar fallas que se pueden generar por producto del corte (rebabas o quema de material).



**Figura 4.59.** *Probetas para ensayo a Tracción y Flexión.*

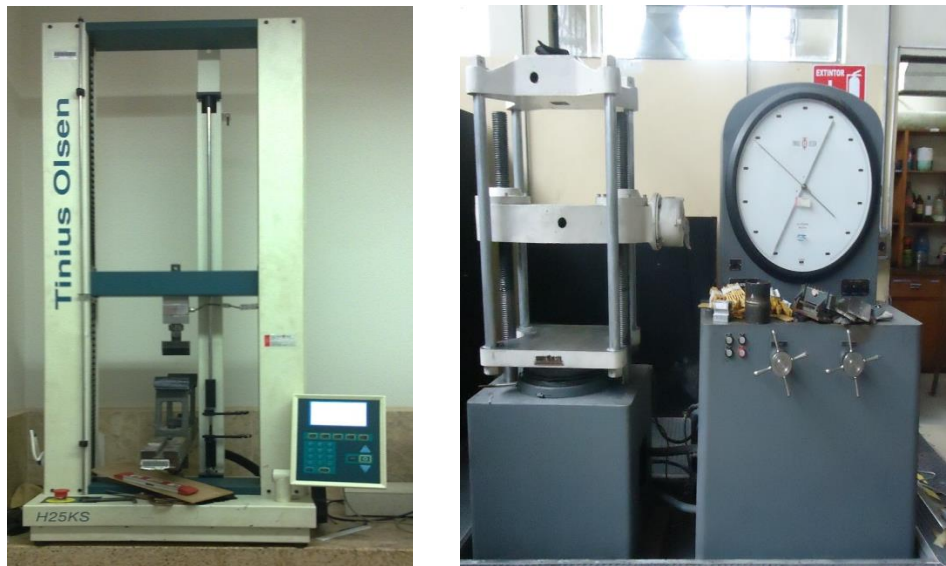
*(Fuente: Realizada por el autor).*

Posteriormente se miden cada una de las probetas verificando que cumplan con las medidas de acuerdo con la norma correspondiente.

**Nota:** Cabe señalar que todas pruebas así como el moldeo del material compuesto se lo realizo a temperatura ambiente entre 18-20 °C.

**f) Ensayos del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).**

Tanto los ensayos a tracción como a flexión fueron realizados en La Escuela Politécnica Nacional (EPN), ubicada en la ciudad de Quito en los laboratorios de la carrera de Ingeniería Mecánica. Estos ensayos se realizaron en una máquina universal de ensayos Tinius Olsen, modelo H25K-S; con capacidad máxima de 25 KN; debido a problemas de sujeción para las muestras con libra longitudinal de 25% y 30% de refuerzo y con fibra transversal de 30% de refuerzo, se utilizó una máquina universal de ensayos Tinius Olsen de 50 toneladas de capacidad máxima.



*Figura 4.60. Máquina universal de ensayos Tinius Olsen.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

**g) Ensayo a Tracción.**

Una vez obtenidas las probetas, estas deben estar correctamente normalizada bajo la norma ASTM D3039-14 (medidas requeridas en cada probeta).

Se colocó unas cintas de adherencias (medida de cintas 56 mm) en los extremos de las probetas a los dos lados con la finalidad que no se resbale la probeta cuando es sometida esta al ensayo.



*Figura 4.61. Colocación de cintas de adherencias.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*



*Figura 4.62. Probetas para ensayo a tracción con cintas de adherencias.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

### **Esfuerzo máximo a tracción.**

Para este ensayo se utilizaron 6 probetas de acuerdo a cada configuración y fracción volumétrica y de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM D3039-14. El procedimiento es el mismo para las 48 probetas.

Se aplica una carga, que después de un tiempo determinado y a una velocidad constante produce la ruptura de la probeta ensayada, se determina la carga máxima cuando se

produjo su ruptura, se obtiene un espesor en esta zona (menor a la original) la cual sirve para determinar el área en la sección transversal. Conocidos estos datos producto del ensayo realizado se puede definir el esfuerzo máximo de la siguiente manera:

$$\sigma_{\max} = \frac{F}{A}$$

Dónde:

- $\sigma_{\max}$  = Es el esfuerzo máximo (Mpa).
- F= Carga máxima o fuerza necesaria para producir la fractura (N).
- A= Área de la sección transversal de la probeta ( $\text{mm}^2$ ).

### **Porcentaje de deformación.**

Este porcentaje se obtiene con la longitud inicial y final de la probeta, es decir se mide la probeta sometida al ensayo antes y después de que se produzca su fractura o ruptura.

$$\varepsilon \text{ (elongación)} = \frac{l_f - l_i}{l_i}$$

$$\% \text{ deformación} = \frac{l_f - l_i}{l_i} \times 100$$

Dónde:

- $l_f$  = Longitud final (mm).
- $l_i$  = Longitud inicial (mm).

### **Módulo de elasticidad.**

El módulo de elasticidad o de Young, se determinó bajo las especificaciones de la norma ASTM D3039-14, que es la correspondiente para ensayos a tracción y siguiendo la relación de Hooke.

$$E = \frac{\sigma_{\max}}{\varepsilon}$$

Dónde:

- $\sigma_{\max}$  = Esfuerzo máximo.
- $\varepsilon$  = Elongación.

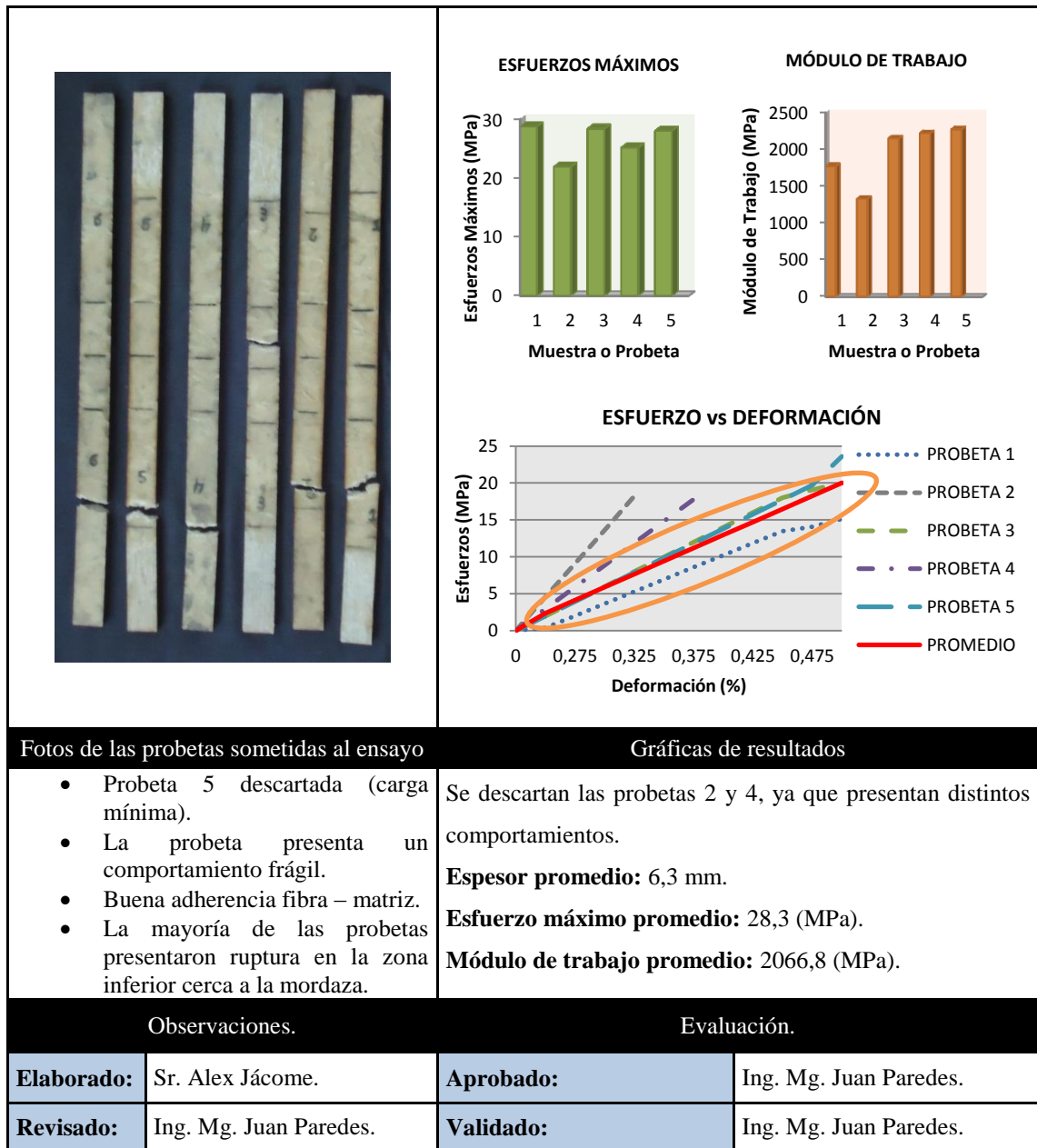


## Tabulación de resultados.

A continuación se detalla los resultados generados de acuerdo a cada uno de los ensayos realizados y bajo lo establecido en la norma ASTM D3039-14, para ensayos a tracción y de acuerdo a cada una de las configuraciones y fracciones volumétricas establecidas.

*Ficha 4.5. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25% - 5mm.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)				
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b> (Resina epoxi + Fibra de piña).					
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.		<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).	
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.	
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 5 mm al azar.		<b>Estratificación:</b>	Compresión	
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	25%	
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	250 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b> 6,5
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.	
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).</b>					
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	
1	1,06	2660	28,7	1776,4	
2	0,99	2160	21,9	1330,1	
3	0,56	2680	28,3	2151,4	
4	0,18	2470	25,1	2222,2	
5	0,56	2680	28	2272,7	
<b>Promedio:</b>	0,67	2530	26,4	1950,6	
<b>Desviación Estándar:</b>	0,36	225	2,9	397,9	



(Fuente: Realizada por el autor).

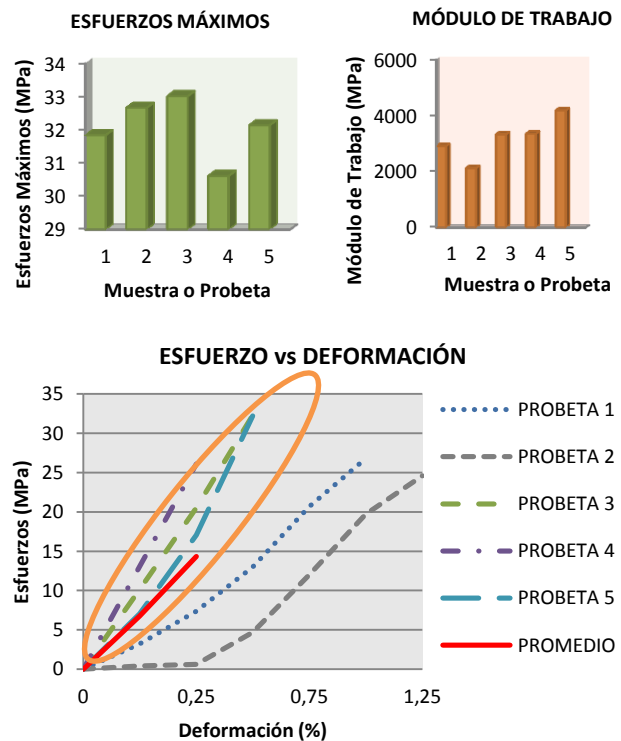
Ficha 4.6. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30% - 5mm.

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>          FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA          CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA          (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)</p>	
		REG: ET-FC-5mm-02
<p><b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b>          (Resina epoxi + Fibra de piña).</p>		

<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>		Tinius Olsen H25K-S (25KN).	
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.	
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 5 mm al azar.		<b>Estratificación:</b>	Compresión	
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%	
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	250 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b> 6,8
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.	

**Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).**

Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	1,13	3250	31,8	2912,6
2	1,27	3350	32,7	2128,2
3	0,55	3350	33	3329,3
4	0,29	3090	30,6	3349
5	0,45	3220	32,1	4184
<b>Promedio:</b>	0,74	3252	32	3180,6
<b>Desviación Estándar:</b>	0,43	107,8	0,93	747,8





Fotos de las probetas sometidas al ensayo

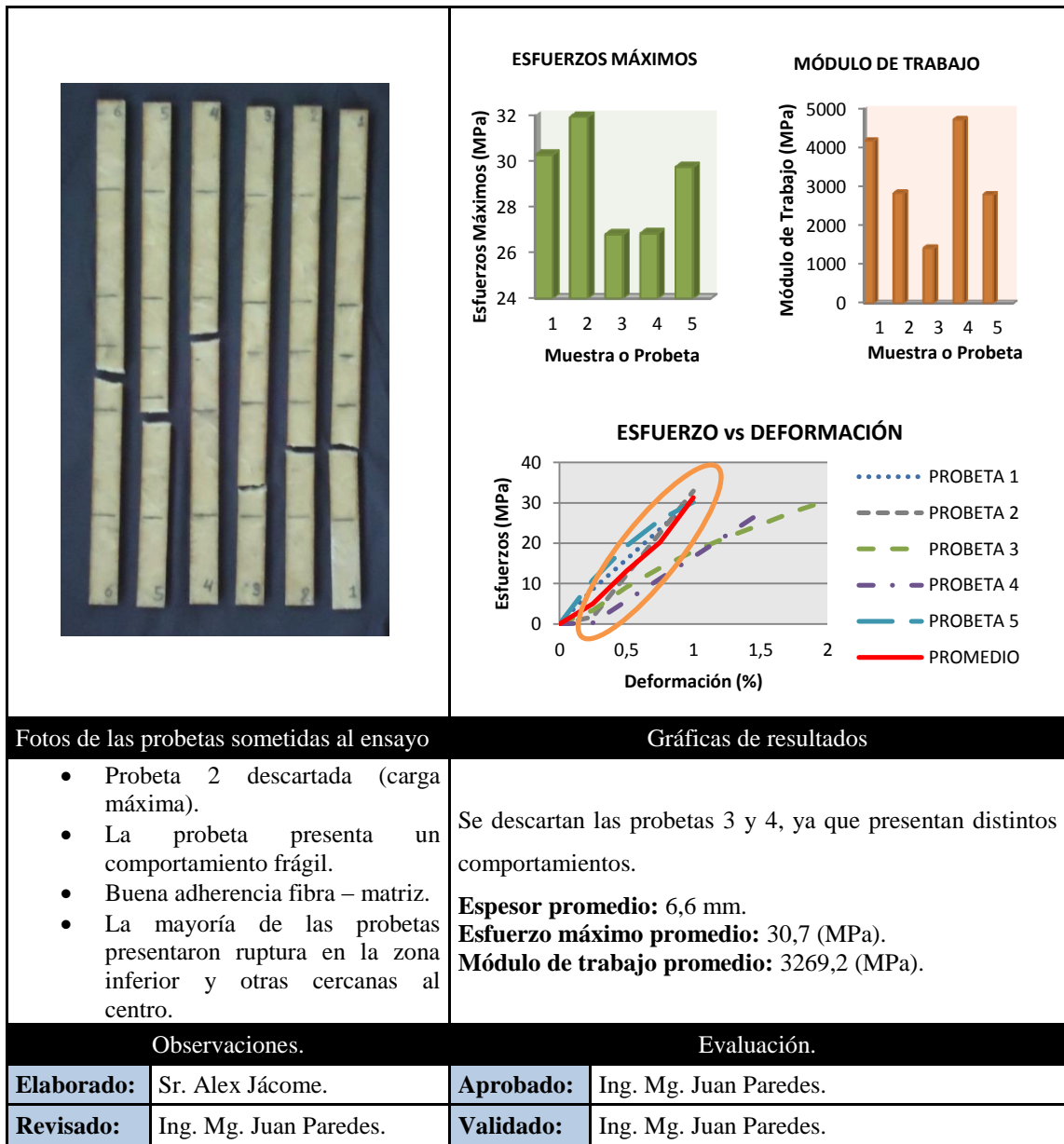
Gráficas de resultados

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 5 descartada (carga mínima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento frágil.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• Las probetas presentaron ruptura en la zona inferior, media y superior.</li> </ul>	<p>Se descartan las probetas 1 y 2, ya que presentan distintos comportamientos.</p> <p><b>Espesor promedio:</b> 6,7 mm.  <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 31,9 (MPa).  <b>Módulo de trabajo promedio:</b> 3620,8 (MPa).</p>		
<b>Observaciones.</b>		<b>Evaluación.</b>	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

Ficha 4.7. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25% - 10mm.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)					REG: ET-FC-10mm-01	
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina epoxi + Fibra de piña).</b>						
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).						
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.		<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).			
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.			
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 10 mm al azar.		<b>Estratificación:</b>	Compresión			
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	25%			
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	250 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	6,8	
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.			
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).</b>							
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>			
1	0,77	3090	30,3	4180			
2	2,03	3140	31,9	2832,6			
3	0,9	2720	26,8	1425,6			
4	0,53	2710	26,8	4720,5			
5	0,85	2980	29,7	2795			
<b>Promedio:</b>	1,02	2928	29,1	3190,7			
<b>Desviación Estándar:</b>	0,58	102,9	2,3	1296,1			



(Fuente: Realizada por el autor).

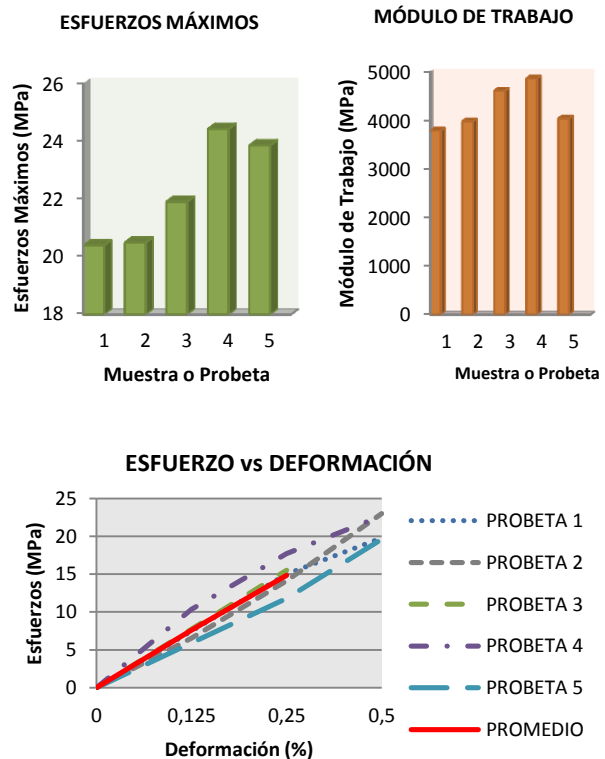
Ficha 4.8. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30% - 10mm.

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>          FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA          CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA          (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)</p>	 REG: ET-FC-10mm-02
<p><b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b>          (Resina epoxi + Fibra de piña).</p>		

<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.		<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).	
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.	
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 10 mm al azar.		<b>Estratificación:</b>	Compresión	
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%	
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	250 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b> 7,2
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.	

**Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-00 (Ensayo a Tracción).**

Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	0,44	2260	20,4	3790
2	0,62	2290	20,5	3980
3	0,38	2100	21,9	4610
4	0,48	2560	24,4	4860
5	0,51	2590	23,9	4040
<b>Promedio:</b>	0,49	2360	22,2	4256
<b>Desviación Estándar:</b>	0,09	209,4	1,87	455,6





Fotos de las probetas sometidas al ensayo

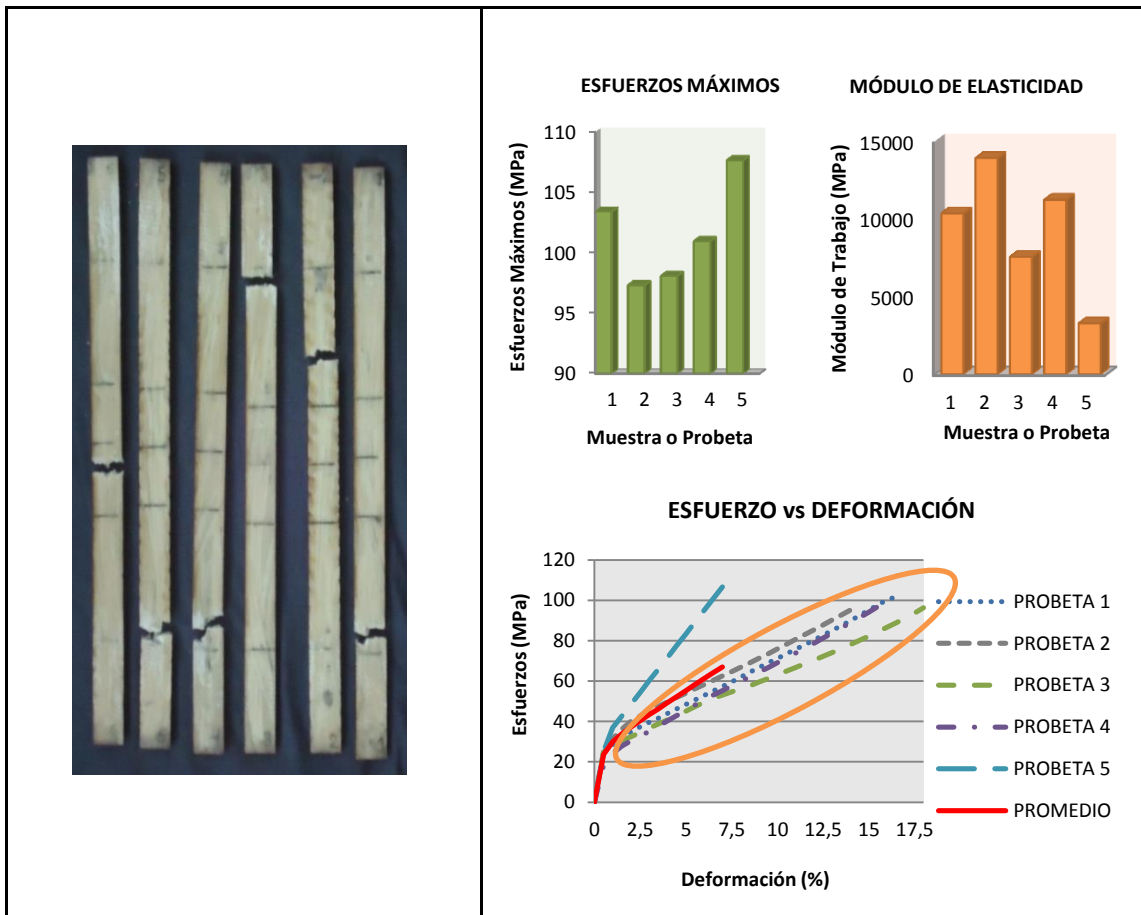
Gráficas de resultados

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 6 descartada (carga máxima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento frágil.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La mayoría de las probetas presentaron ruptura en la zona inferior.</li> </ul>	<b>Espesor promedio:</b> 7,2 mm. <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 22,2 (MPa). <b>Módulo de trabajo promedio:</b> 4256 (MPa).		
<b>Observaciones.</b>		<b>Evaluación.</b>	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

*Ficha 4.9. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25% -F.Longitudinal.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)					REG: ET-FL-01
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b>					
<b>(Resina epoxi + Fibra de piña).</b>						
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.		<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (50 toneladas).		
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.		
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra larga longitudinal.		<b>Estratificación:</b>	Compresión		
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	25%		
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	250 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	5,6
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).</b>						
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Elongación (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	
<b>1</b>	16,5	8030	103,4	0,010	10341,9	
<b>2</b>	14,4	7820	97,3	0,007	13904,2	
<b>3</b>	18,4	8030	98,1	0,013	7545,5	
<b>4</b>	16,3	8460	101	0,009	11218,5	
<b>5</b>	7,2	9100	107,7	0,033	3262,4	
<b>Promedio:</b>	14,6	8288	101,5	0,014	9254,5	
<b>Desviación Estándar:</b>	4,35	510,17	4,23	0,01	4046,2	





Fotos de las probetas sometidas al ensayo	Gráficas de resultados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 5 descartada (carga máxima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento buen comportamiento mecánico al ser aplicada la carga.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La ruptura presentan en su parte superior, en su parte inferior y en el medio de la probeta.</li> </ul>	<p>Se descarta la probeta 5, ya que presenta distinto comportamiento.</p> <p><b>Espesor promedio: 5,5 mm.</b>  <b>Esfuerzo máximo promedio: 100 (MPa).</b>  <b>Módulo de elasticidad promedio: 10752,5 (MPa).</b></p>

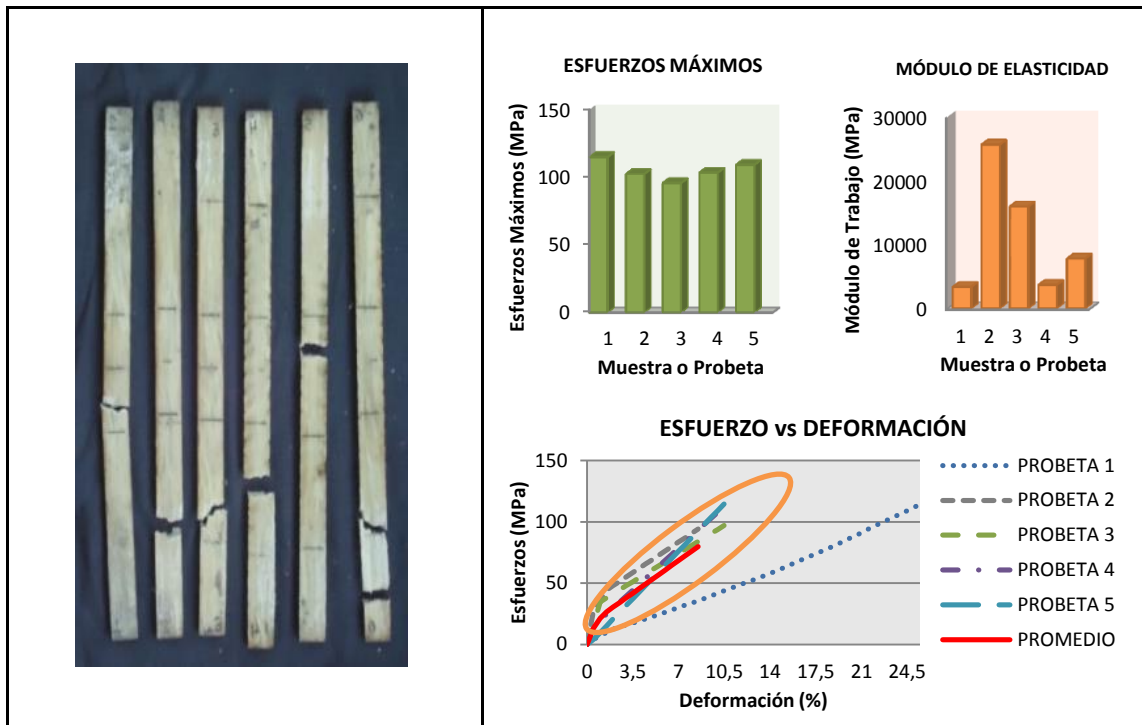
Observaciones.		Evaluación.	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).



Ficha 4.10. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30%-F.Longitudinal.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)					REG: ET-FL-02
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b> (Resina epoxi + Fibra de piña).					
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (50 toneladas).			
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.		
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra larga longitudinal.		<b>Estratificación:</b>	Compresión		
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%		
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	250 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	6,3
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).</b>						
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Elongación (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	
1	25,6	10640	115	0,034	3383,1	
2	8,8	9360	102,5	0,004	25622,1	
3	11	8620	95,8	0,006	15964,1	
4	12,3	9990	103,5	0,028	3696,3	
5	10,5	10640	109,3	0,014	7806,9	
<b>Promedio:</b>	13,64	9850	105,2	0,017	11294,5	
<b>Desviación Estándar:</b>	6,8	869	7,3	0,01	9481,2	



Fotos de las probetas sometidas al ensayo		Gráficas de resultados	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ensayo sin extensómetro.</li> <li>• Probeta 5 descartada (carga máxima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento buen comportamiento mecánico al ser aplicada la carga.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La ruptura presentan en su parte inferior y otras en el medio de la probeta.</li> </ul>		<p>Se descarta la probeta 1, ya que presenta distinto comportamiento.</p> <p><b>Espesor promedio:</b> 6,2 mm.  <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 102,8 (MPa).  <b>Módulo de elasticidad promedio:</b> 13272,3 (MPa).</p>	
Observaciones.		Evaluación.	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

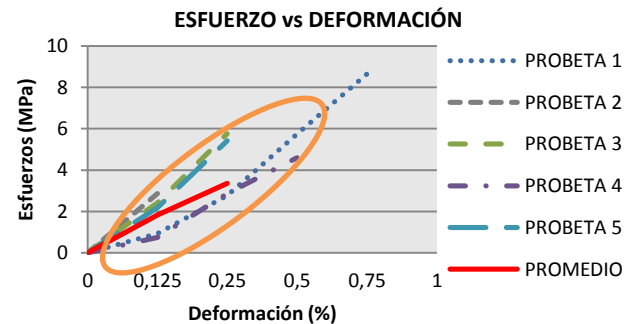
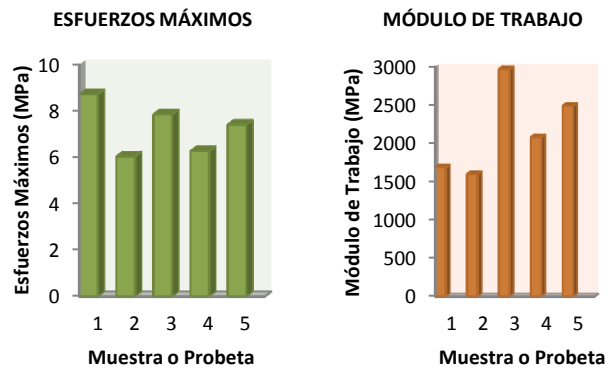
Ficha 4.11. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 25% - F. Transversal

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)	
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b> (Resina epoxi + Fibra de piña).		

<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>		Tinius Olsen H25K-S (25KN).	
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>		Fibra de piña.
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra Transversal.		<b>Estratificación:</b>		Compresión
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	25%	
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	175 mm	<b>Ancho:</b>	25 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b> 5,6
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>		Sr. Alex Jácome.

**Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).**

Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)
1	0,82	1300	8,7	1690
2	0,22	859	6	1600
3	0,37	1140	7,9	2970
4	0,45	918	6,4	2080
5	0,40	1050	7,4	2490
<b>Promedio:</b>	0,45	1053,4	7,3	2166
<b>Desviación Estándar:</b>	0,22	176,4	1,1	571,3




Fotos de las probetas sometidas al ensayo

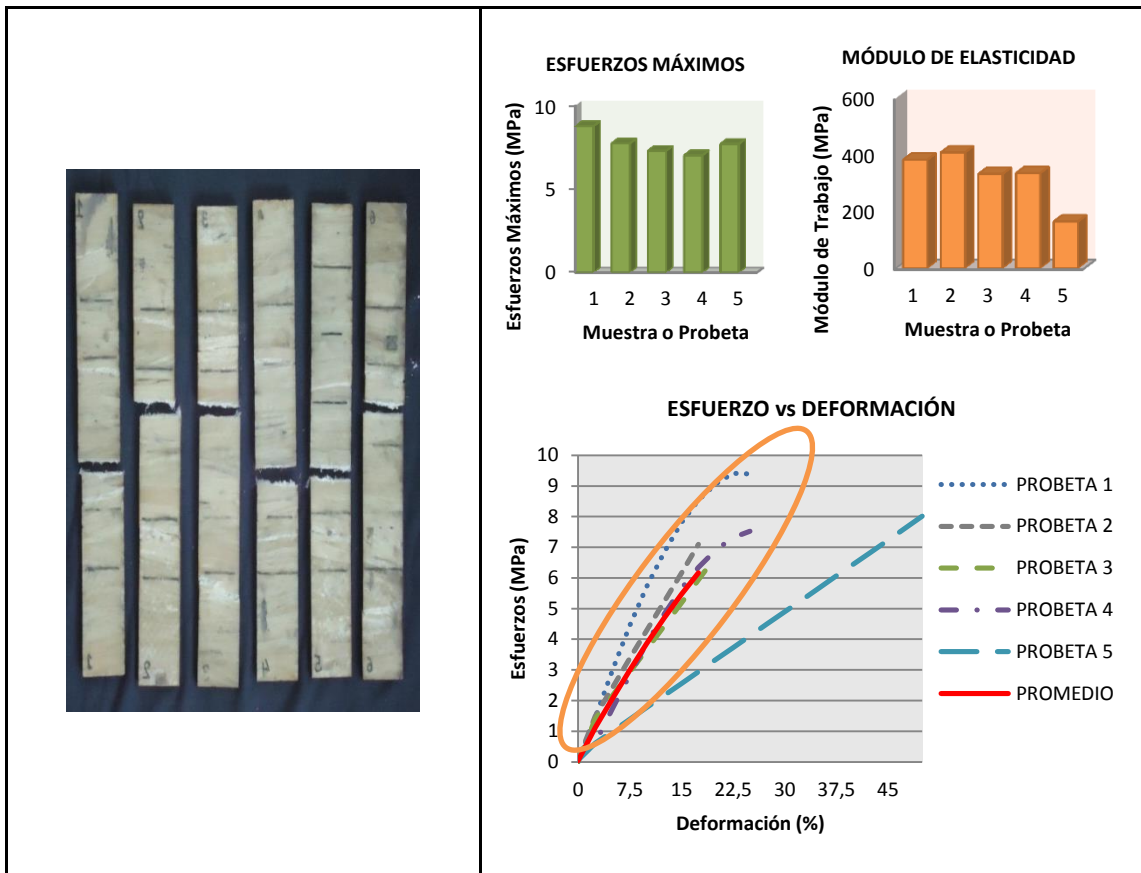
Gráficas de resultados.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 6 descartada (carga mínima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento frágil.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La ruptura presentan en su parte inferior y otras en el medio de la probeta.</li> </ul>	<p>Se descarta la probeta 1, ya que presenta distinto comportamiento.</p> <p><b>Espesor promedio:</b> 5,6 mm.  <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 6,9 (MPa).  <b>Módulo de trabajo:</b> 2285 (MPa).</p>		
<b>Observaciones.</b>		<b>Evaluación.</b>	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

*Ficha 4.12. Recolección de datos a tracción de un material compuesto con 30%- F. Transversal.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A TRACCIÓN - NORMA ASTM D3039-14)				 REG: ET-FT-02	
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b>						
<b>(Resina epoxi + Fibra de piña).</b>						
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (50 toneladas).			
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.		
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra Transversal.		<b>Estratificación:</b>	Compresión		
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%		
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	175 mm	<b>Ancho:</b>	15 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	5,8
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D3039-14 (Ensayo a Tracción).</b>						
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Elongación (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	
1	23,4	1340	8,8	0,023	381,6	
2	19,5	1180	7,7	0,019	407,2	
3	18,1	1120	7,3	0,022	331,7	
4	24,2	1040	7	0,021	334,6	
5	44,4	1120	7,7	0,047	164	
<b>Promedio:</b>	25,92	1160	7,7	0,03	323,8	
<b>Desviación Estándar:</b>	10,64	112,3	0,68	0,01	94,9	



**Fotos de las probetas sometidas al ensayo** **Gráficas de resultados**

- Ensayo sin extensómetro.
- Probeta 2 descartada (carga máxima).
- La probeta presenta un comportamiento frágil.
- Buena adherencia fibra – matriz.
- La ruptura presentan en el medio de la probeta.

Se descarta la probeta 5, ya que presenta distinto comportamiento.

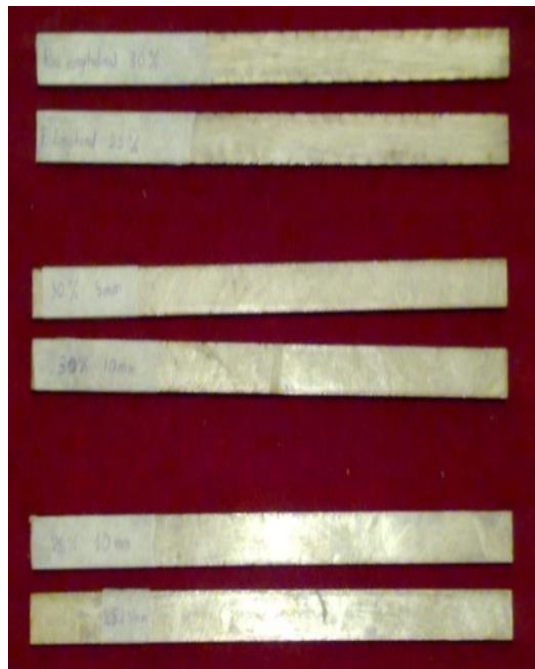
**Espesor promedio:** 5,9 mm.  
**Esfuerzo máximo promedio:** 7,7 (MPa).  
**Módulo de elasticidad promedio:** 363,8 (MPa).

Observaciones.		Evaluación.	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

#### **h) Ensayo a Flexión.**

Este ensayo se lo realizo bajo lo establecido en la norma ASTM D 7264-07, se realizó el ensayo a 6 probetas de acuerdo a cada una de las configuración y fracciones volumétrica preestablecidas con un total de 48 probetas ensayadas. El procedimiento a seguir es el mismo para todas las probetas ensayadas.



*Figura 4.63. Probetas para ensayo a flexión muestras de distintas configuraciones.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

#### **Esfuerzo máximo a flexión.**

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{3FL}{2wh^2}$$

Dónde:

- $\sigma_{\text{máx}}$  = Esfuerzo máximo producido en la superficie exterior (Mpa).
- F = es la carga a la fractura (N).
- L = la distancia entre los dos puntos de apoyos (mm).

- w = es el ancho de la probeta ensayada (mm)
- h = espesor de la probeta (mm).

**Módulo de flexión.**

$$E_f = \frac{L^3 F}{4wh^3 \delta}$$

Dónde:

- $E_f$  = Módulo de flexión.
- $\delta$  = es la deflexión de la probeta al aplicarse una fuerza F (mm).
- L = longitud entre los apoyos (mm).
- F = fuerza aplicada (N).
- w = es el ancho de la probeta (mm).
- h = es el espesor de la probeta (mm).

**Tabulación de resultados.**

A continuación se detallan los resultados obtenidos durante el ensayo a Flexión bajo la Norma ASTM D 7264-07, de acuerdo a la configuración de la fibra, y la fracción volumétrica para cada uno de los casos propuestos.

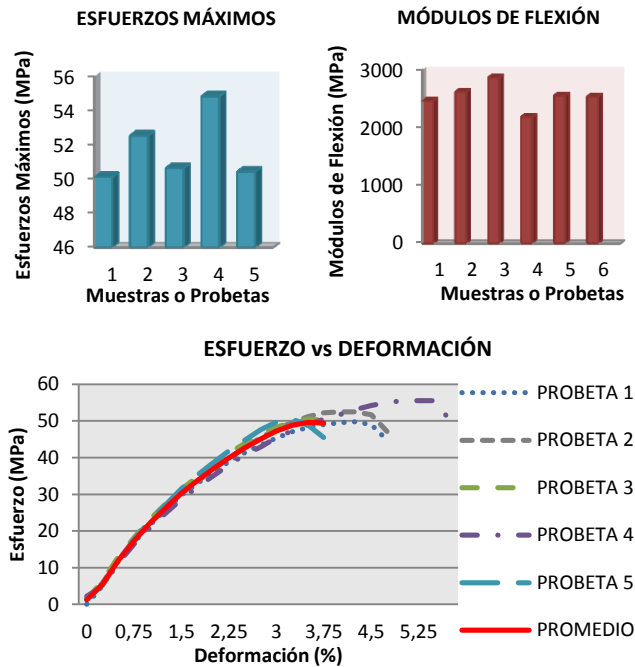
*Ficha 4.13. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25% - 5mm.*

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)		
			REG: EF-FC-5mm-01
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b> (Resina epoxi + Fibra de piña).			
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).		
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).

<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.	
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 5 mm al azar.		<b>Estratificación:</b>	Compresión	
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	25%	
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b> 5,9
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.	

**Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).**

<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Flexión (MPa)</b>
1	4,7	158	50,1	2470
2	4,7	166	52,5	2620
3	3,7	160	50,7	2870
4	5,7	170	54,9	2190
5	3,6	159	50,5	2560
<b>Promedio:</b>	4,48	162,6	51,74	2542
<b>Desviación Estándar:</b>	0,86	5,18	2	246,5



Fotos de las probetas sometidas al ensayo



Gráficas de resultados


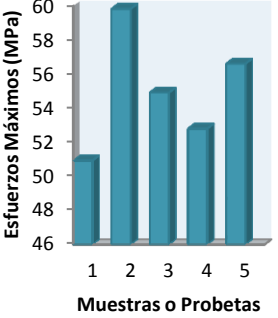
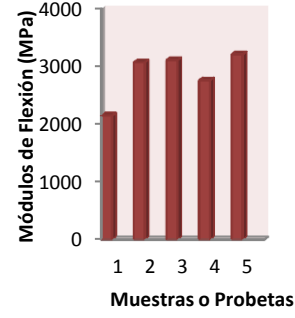
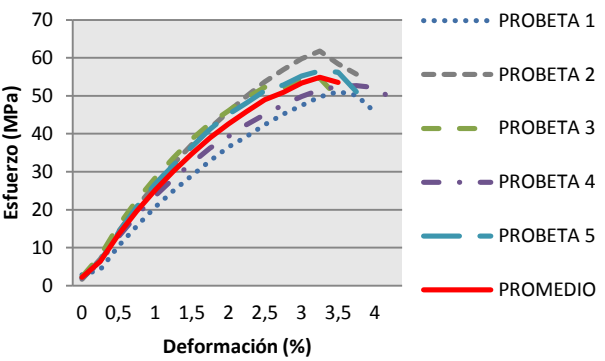


<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 1 descartada (carga máxima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento frágil.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La falla se produce en el centro de la probeta.</li> </ul>	<b>Espesor promedio:</b> 5,9 mm. <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 51,7 (MPa). <b>Módulo de flexión:</b> 2542 (MPa).		
<b>Observaciones.</b>		<b>Evaluación.</b>	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).



**Ficha 4.14.** Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - 5mm.

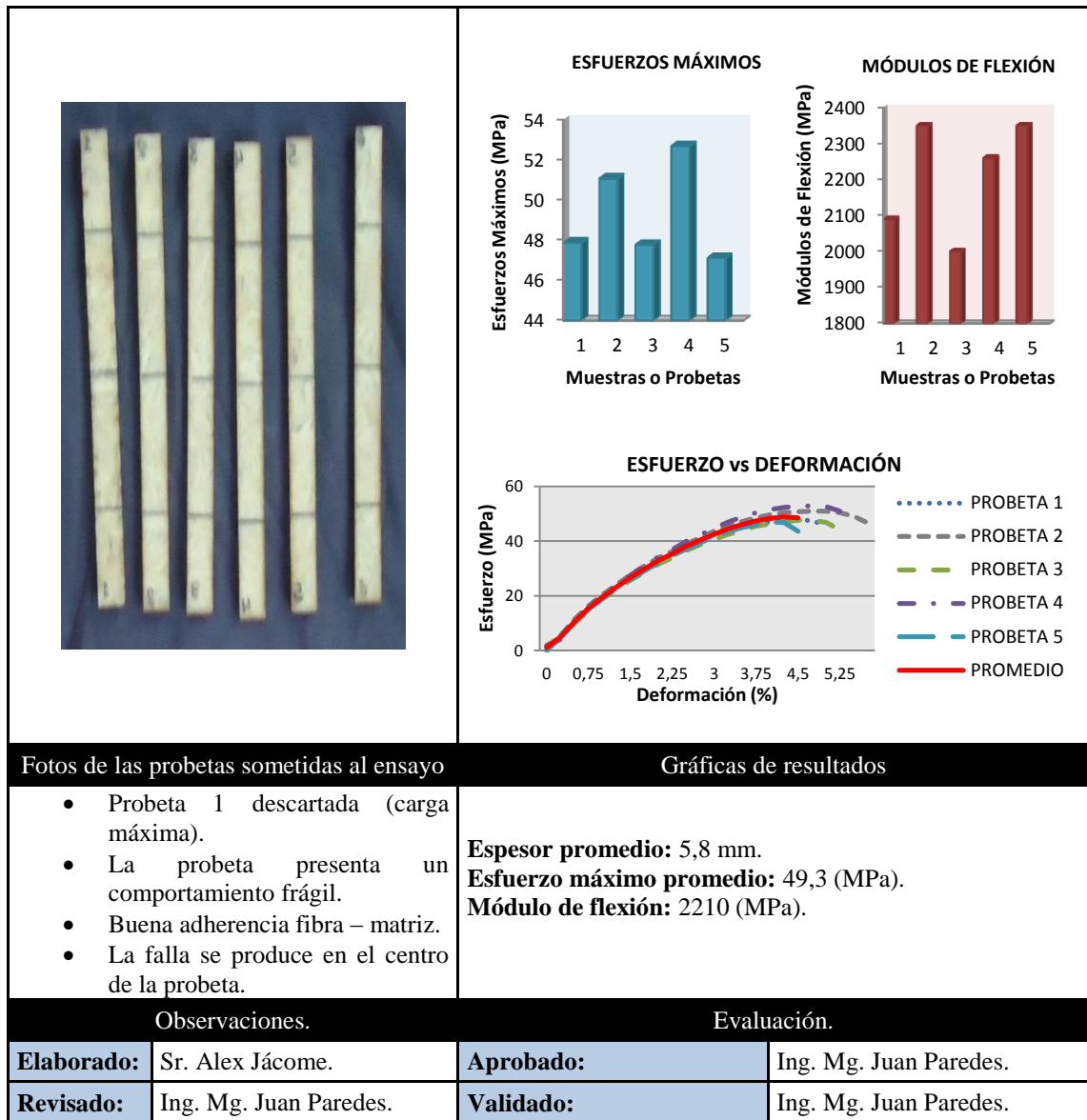
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)					REG: EF-FC-5mm-02
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina epoxi + Fibra de piña).</b>					
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).			
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.		
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 5 mm al azar.		<b>Estratificación:</b>	Compresión		
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%		
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	6,8
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).</b>						
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Flexión (MPa)</b>		
<b>1</b>	3,8	192	50,9	2150		
<b>2</b>	3,6	213	59,8	3070		
<b>3</b>	3,5	197	54,92	3110		
<b>4</b>	4,3	198	52,8	2760		
<b>5</b>	3,6	205	56,6	3210		
<b>Promedio:</b>	3,8	201	55	2860		
<b>Desviación Estándar:</b>	0,3	8,2	3,4	431		

	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="803 289 1079 661"> <p><b>ESFUERZOS MÁXIMOS</b></p>  <table border="1"> <caption>ESFUERZOS MÁXIMOS</caption> <thead> <tr> <th>Muestras o Probetas</th> <th>Esfuerzos Máximos (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>51</td></tr> <tr><td>2</td><td>60</td></tr> <tr><td>3</td><td>55</td></tr> <tr><td>4</td><td>53</td></tr> <tr><td>5</td><td>57</td></tr> </tbody> </table> </div> <div data-bbox="1112 289 1404 661"> <p><b>MÓDULOS DE FLEXIÓN</b></p>  <table border="1"> <caption>MÓDULOS DE FLEXIÓN</caption> <thead> <tr> <th>Muestras o Probetas</th> <th>Módulos de Flexión (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2200</td></tr> <tr><td>2</td><td>3100</td></tr> <tr><td>3</td><td>3150</td></tr> <tr><td>4</td><td>2800</td></tr> <tr><td>5</td><td>3250</td></tr> </tbody> </table> </div> </div> <div data-bbox="787 703 1388 1123" style="text-align: center;"> <p><b>ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</b></p>  <table border="1"> <caption>ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</caption> <thead> <tr> <th>Deformación (%)</th> <th>PROBETA 1 (MPa)</th> <th>PROBETA 2 (MPa)</th> <th>PROBETA 3 (MPa)</th> <th>PROBETA 4 (MPa)</th> <th>PROBETA 5 (MPa)</th> <th>PROMEDIO (MPa)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>10</td><td>12</td><td>11</td><td>9</td><td>10</td><td>10,5</td></tr> <tr><td>1</td><td>20</td><td>22</td><td>21</td><td>18</td><td>20</td><td>20,2</td></tr> <tr><td>1,5</td><td>30</td><td>32</td><td>31</td><td>28</td><td>30</td><td>30,4</td></tr> <tr><td>2</td><td>40</td><td>42</td><td>41</td><td>38</td><td>40</td><td>40,6</td></tr> <tr><td>2,5</td><td>48</td><td>50</td><td>49</td><td>46</td><td>48</td><td>48,8</td></tr> <tr><td>3</td><td>55</td><td>58</td><td>57</td><td>52</td><td>55</td><td>55,4</td></tr> <tr><td>3,5</td><td>50</td><td>60</td><td>59</td><td>54</td><td>52</td><td>53,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>45</td><td>55</td><td>54</td><td>50</td><td>48</td><td>50,4</td></tr> </tbody> </table> </div>	Muestras o Probetas	Esfuerzos Máximos (MPa)	1	51	2	60	3	55	4	53	5	57	Muestras o Probetas	Módulos de Flexión (MPa)	1	2200	2	3100	3	3150	4	2800	5	3250	Deformación (%)	PROBETA 1 (MPa)	PROBETA 2 (MPa)	PROBETA 3 (MPa)	PROBETA 4 (MPa)	PROBETA 5 (MPa)	PROMEDIO (MPa)	0	0	0	0	0	0	0	0,5	10	12	11	9	10	10,5	1	20	22	21	18	20	20,2	1,5	30	32	31	28	30	30,4	2	40	42	41	38	40	40,6	2,5	48	50	49	46	48	48,8	3	55	58	57	52	55	55,4	3,5	50	60	59	54	52	53,0	4	45	55	54	50	48	50,4
Muestras o Probetas	Esfuerzos Máximos (MPa)																																																																																														
1	51																																																																																														
2	60																																																																																														
3	55																																																																																														
4	53																																																																																														
5	57																																																																																														
Muestras o Probetas	Módulos de Flexión (MPa)																																																																																														
1	2200																																																																																														
2	3100																																																																																														
3	3150																																																																																														
4	2800																																																																																														
5	3250																																																																																														
Deformación (%)	PROBETA 1 (MPa)	PROBETA 2 (MPa)	PROBETA 3 (MPa)	PROBETA 4 (MPa)	PROBETA 5 (MPa)	PROMEDIO (MPa)																																																																																									
0	0	0	0	0	0	0																																																																																									
0,5	10	12	11	9	10	10,5																																																																																									
1	20	22	21	18	20	20,2																																																																																									
1,5	30	32	31	28	30	30,4																																																																																									
2	40	42	41	38	40	40,6																																																																																									
2,5	48	50	49	46	48	48,8																																																																																									
3	55	58	57	52	55	55,4																																																																																									
3,5	50	60	59	54	52	53,0																																																																																									
4	45	55	54	50	48	50,4																																																																																									
<p>Fotos de las probetas sometidas al ensayo <span style="float: right;">Gráficas de resultados</span></p>																																																																																															
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 6 descartada (carga mínima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento frágil.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La falla se produce en el centro de la probeta.</li> </ul>	<p><b>Espesor promedio:</b> 6,8 mm.  <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 55 (MPa).  <b>Módulo de flexión:</b> 2860 (MPa).</p>																																																																																														
<p>Observaciones. <span style="float: right;">Evaluación.</span></p>																																																																																															
<p><b>Elaborado:</b> Sr. Alex Jácome.</p>	<p><b>Aprobado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.</p>																																																																																														
<p><b>Revisado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.</p>	<p><b>Validado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.</p>																																																																																														

(Fuente: Realizada por el autor).



Ficha 4.15. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25% - 10mm.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)					REG: EF-FC-10mm-01
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b> (Resina epoxi + Fibra de piña).					
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>		Tinius Olsen H25K-S (25KN).		
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>		Fibra de piña.	
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 10 mm al azar.		<b>Estratificación:</b>		Compresión	
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	25%		
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	5,8
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>		Sr. Alex Jácome.	
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).</b>						
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>		<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Flexión (MPa)</b>	
1	6,1	148		47,9	2090	
2	5,1	157		51,1	2350	
3	5,8	148		47,8	2000	
4	5,3	162		52,7	2260	
5	5,4	146		47,1	2350	
<b>Promedio:</b>	5,5	152		49,3	2210	
<b>Desviación Estándar:</b>	0,4	6,9		2,4	158,3	



(Fuente: Realizada por el autor).

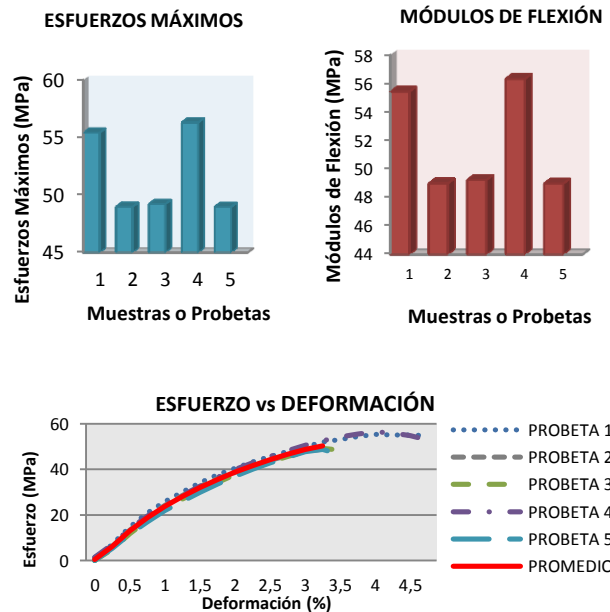
Ficha 4.16. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - 10mm.

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>          FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA          CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA          (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)</p>	
REG: EF-FC-10mm-02		
<p><b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b>          (Resina epoxi + Fibra de piña).</p>		
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).	

<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).			
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.	<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.			
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra de 10 mm al azar.	<b>Estratificación:</b>	Compresión			
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%		
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	5,8
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		

**Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).**

Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)
1	4,8	187	55,4	3270
2	3,3	162	49	2980
3	3,6	172	49,2	2630
4	4,9	193	56,3	3030
5	3,8	160	49	2390
<b>Promedio:</b>	4,1	174,8	51,8	2860
<b>Desviación Estándar:</b>	0,7	14,8	3,7	348,3





Fotos de las probetas sometidas al ensayo

Gráficas de resultados

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 6 descartada (carga máxima).</li> <li>• La probeta presenta un comportamiento frágil.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La falla en el centro de la probeta.</li> </ul>	<b>Espesor promedio:</b> 6,3 mm. <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 51,793 (MPa). <b>Módulo de flexión:</b> 2860 (MPa).		
<b>Observaciones.</b>		<b>Evaluación.</b>	
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

**Tabla 4.17. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25% - F. Longitudinal.**

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)				
					REG: EF-FL-01
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b>					
<b>(Resina epoxi + Fibra de piña).</b>					
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).				
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).		
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.	
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra longitudinal.		<b>Estratificación:</b>	Compresión	
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	25%	
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b> 5,3
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.	
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).</b>					
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Flexión (MPa)</b>	
1	4,3	285	102,2	6270	
2	5	282	100,2	4300	
3	4,6	287	102,1	5840	
4	4,2	298	108,1	7320	
5	4,8	301	107,8	6410	
<b>Promedio:</b>	4,6	290,6	104,1	6028	
<b>Desviación Estándar:</b>	0,3	8,4	3,6	1106,2	

	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p><b>ESFUERZOS MÁXIMOS</b></p> </div> <div style="text-align: center;"> <p><b>MÓDULOS DE FLEXIÓN</b></p> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> <p><b>ESFUERZO vs DEFORMACIÓN</b></p> </div>		
Fotos de las probetas sometidas al ensayo	Gráficas de resultados		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 2 descartada (carga máxima).</li> <li>• La probeta presenta buenas propiedades mecánicas durante la aplicación de la carga.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La falla se produce en el centro de la probeta.</li> </ul>	<p><b>Espesor promedio:</b> 5,3 mm.  <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 104,1 (MPa).  <b>Módulo de flexión:</b> 6028 (MPa).</p>		
Observaciones.	Evaluación.		
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

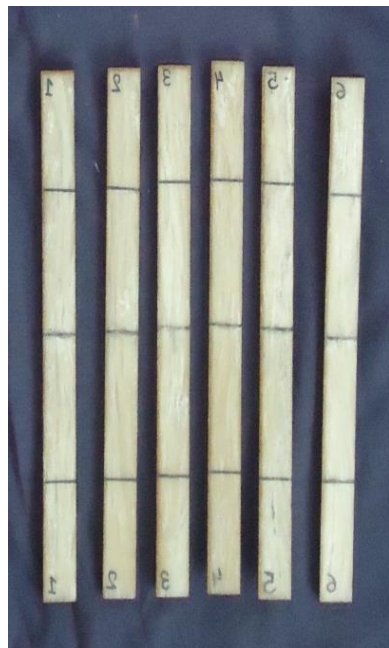
Ficha 4.18. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - F. Longitudinal.

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)</p>		
		REG: EF-FL-02	
<p><b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b>  (Resina epoxi + Fibra de piña).</p>			
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).		
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.	<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra longitudinal.	<b>Estratificación:</b>	Compresión

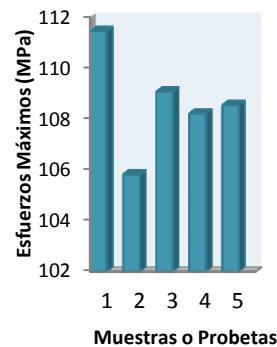
<b>Fración volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%	
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b> 5,4
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.	

**Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).**

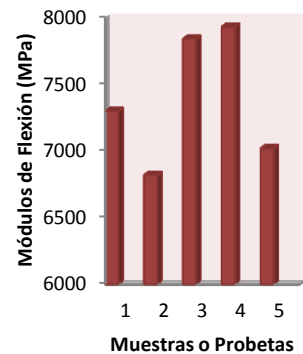
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo de Flexión (MPa)</b>
<b>1</b>	4,6	321	111,5	7300
<b>2</b>	3,7	305	105,8	6820
<b>3</b>	4,7	316	109,1	7840
<b>4</b>	5,6	316	108,2	7930
<b>5</b>	4,1	312	108,5	7020
<b>Promedio:</b>	4,5	314	108,6	7382
<b>Desviación Estándar:</b>	0,7	6	2	490,8



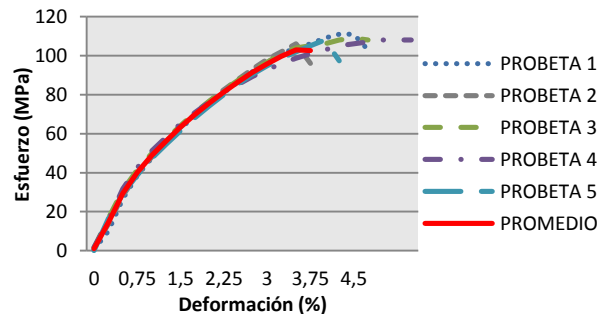
**ESFUERZOS MÁXIMOS**



**MÓDULOS DE FLEXIÓN**



**ESFUERZO vs DEFORMACIÓN**



Fotos de las probetas sometidas al ensayo

Gráficas de resultados



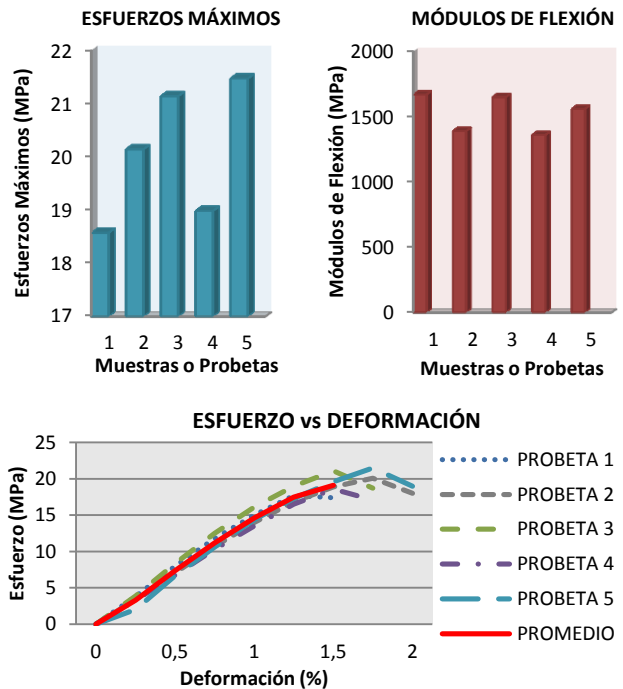
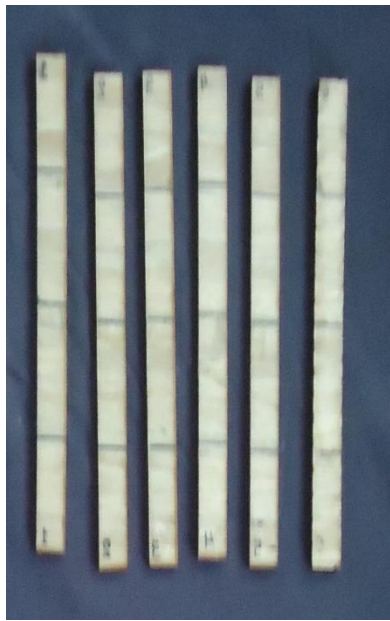
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta 4 descartada (carga máxima).</li> <li>• La probeta presenta buenas propiedades mecánicas durante la aplicación de la carga.</li> <li>• Buena adherencia fibra – matriz.</li> <li>• La falla se produce en el centro de la probeta.</li> </ul>	<p><b>Espesor promedio:</b> 5,4 mm.  <b>Esfuerzo máximo promedio:</b> 108,6 (MPa).  <b>Módulo de flexión:</b> 7382 (MPa).</p>
Observaciones. <span style="float: right;">Evaluación.</span>	
<b>Elaborado:</b> Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

*Ficha 4.19. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 25% - F. Transversal.*

	<p><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b>  FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA  CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)</p>		
		REG: EF-FL-01	
<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b> (Resina epoxi + Fibra de piña).			
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).		
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.	<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra Transversal.	<b>Estratificación:</b>	Compresión
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	75%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b> 25%
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b> 13 mm
			<b>Espesor promedio (mm):</b> 5,2
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b> Sr. Alex Jácome.
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).</b>			

Muestra o probeta:	Deformación Máxima (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo de Flexión (MPa)
1	1,5	52,5	18,6	1670
2	1,9	55	20,1	1390
3	1,6	59,2	21,1	1650
4	1,7	52,5	19	1360
5	1,8	59,2	21,5	1560
<b>Promedio:</b>	1,7	55,7	20,1	1526
<b>Desviación Estándar:</b>	0,2	3,4	1,3	144,3



Fotos de las probetas sometidas al ensayo

Gráficas de resultados

- Probeta 2 descartada (carga mínima).
- La probeta presenta un comportamiento frágil.
- Buena adherencia fibra – matriz.
- La falla se produce en el centro de la probeta.

**Espesor promedio:** 5,2 mm.  
**Esfuerzo máximo promedio:** 20,1 (MPa).  
**Módulo de flexión:** 1526 (MPa).



Observaciones.

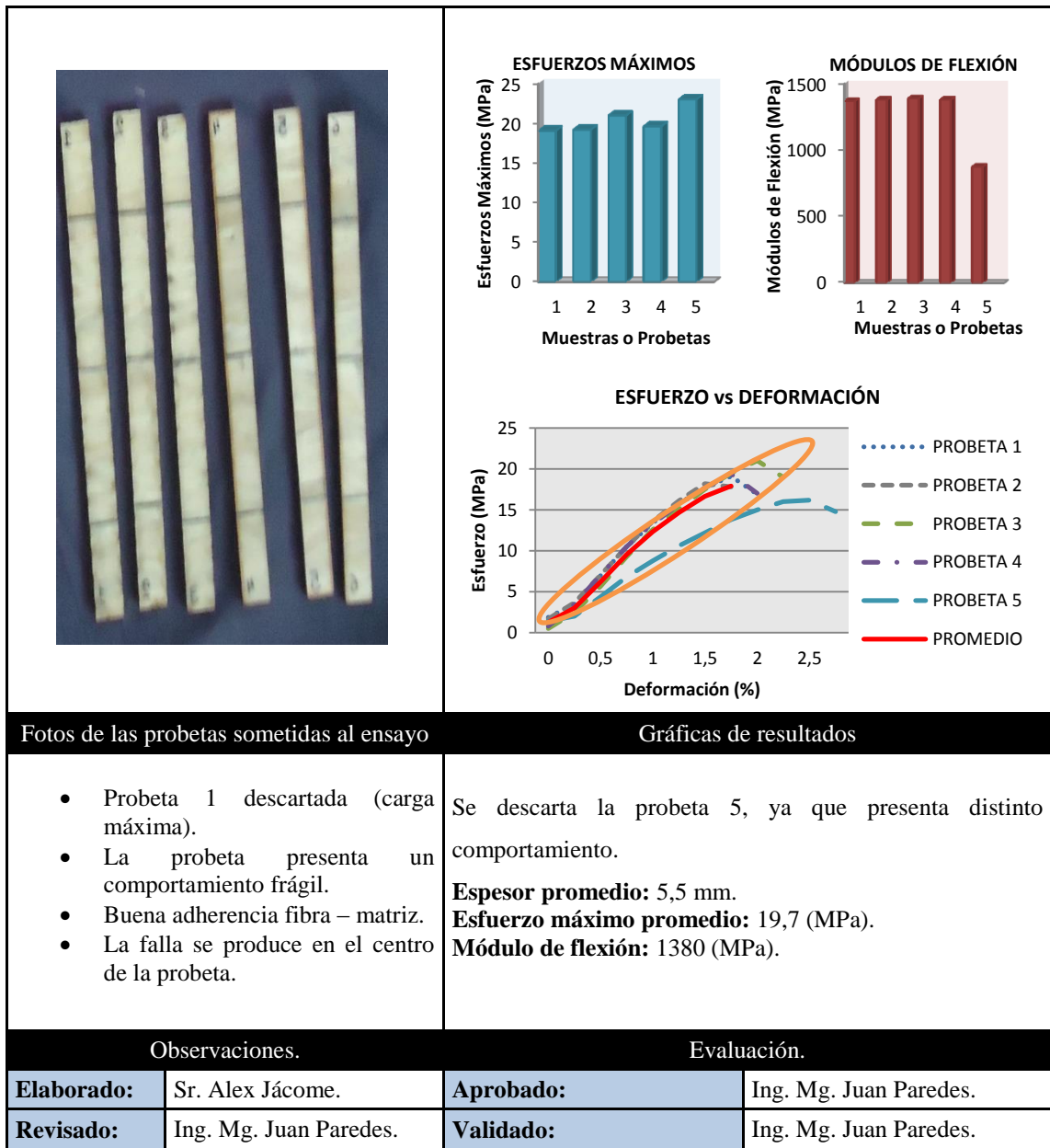
Evaluación.

<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.

(Fuente: Realizada por el autor).

Ficha 4.20. Recolección de datos a flexión de un material compuesto con 30% - F. Transversal.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA (ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)					REG: EF-FT-02
	<b>FICHA DE RECOLECCION DE DATOS DE UN MATERIAL COMPUESTO</b> (Resina epoxi + Fibra de piña).					
<b>Laboratorio:</b>	Laboratorio de materiales de la Escuela Politécnica Nacional (Quito- Ecuador).					
<b>Máquina:</b>	Máquina Universal.	<b>Tipo o Modelo:</b>	Tinius Olsen H25K-S (25KN).			
<b>Material de matriz:</b>	Resina Epoxi.		<b>Material de refuerzo:</b>	Fibra de piña.		
<b>Configuración de la fibra:</b>	Fibra Transversal.		<b>Estratificación:</b>	Compresión		
<b>Fracción volumétrica del compuesto:</b>	<b>F. Volumétrica de matriz:</b>	70%	<b>F. Volumétrica del refuerzo:</b>	30%		
<b>Dimensión de probetas:</b>	<b>Longitud:</b>	160 mm	<b>Ancho:</b>	13 mm	<b>Espesor promedio (mm):</b>	6
<b>Número de Probetas:</b>	6 (validas 5).		<b>Responsable:</b>	Sr. Alex Jácome.		
<b>Datos del ensayo realizado bajo la Norma ASTM D7264-07 (Ensayo a Flexión).</b>						
<b>Muestra o probeta:</b>	<b>Deformación Máxima (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (Mpa)</b>	<b>Módulo de Flexión (Mpa)</b>		
<b>1</b>	1,8	59,2	19,1	1370		
<b>2</b>	1,7	65,8	19,2	1380		
<b>3</b>	2,1	70,8	21	1390		
<b>4</b>	1,9	62,5	19,6	1380		
<b>5</b>	2,5	69,2	23	875		
<b>Promedio:</b>	2	65,5	20,4	1279		
<b>Desviación Estándar:</b>	0,3	4,8	1,6	226		



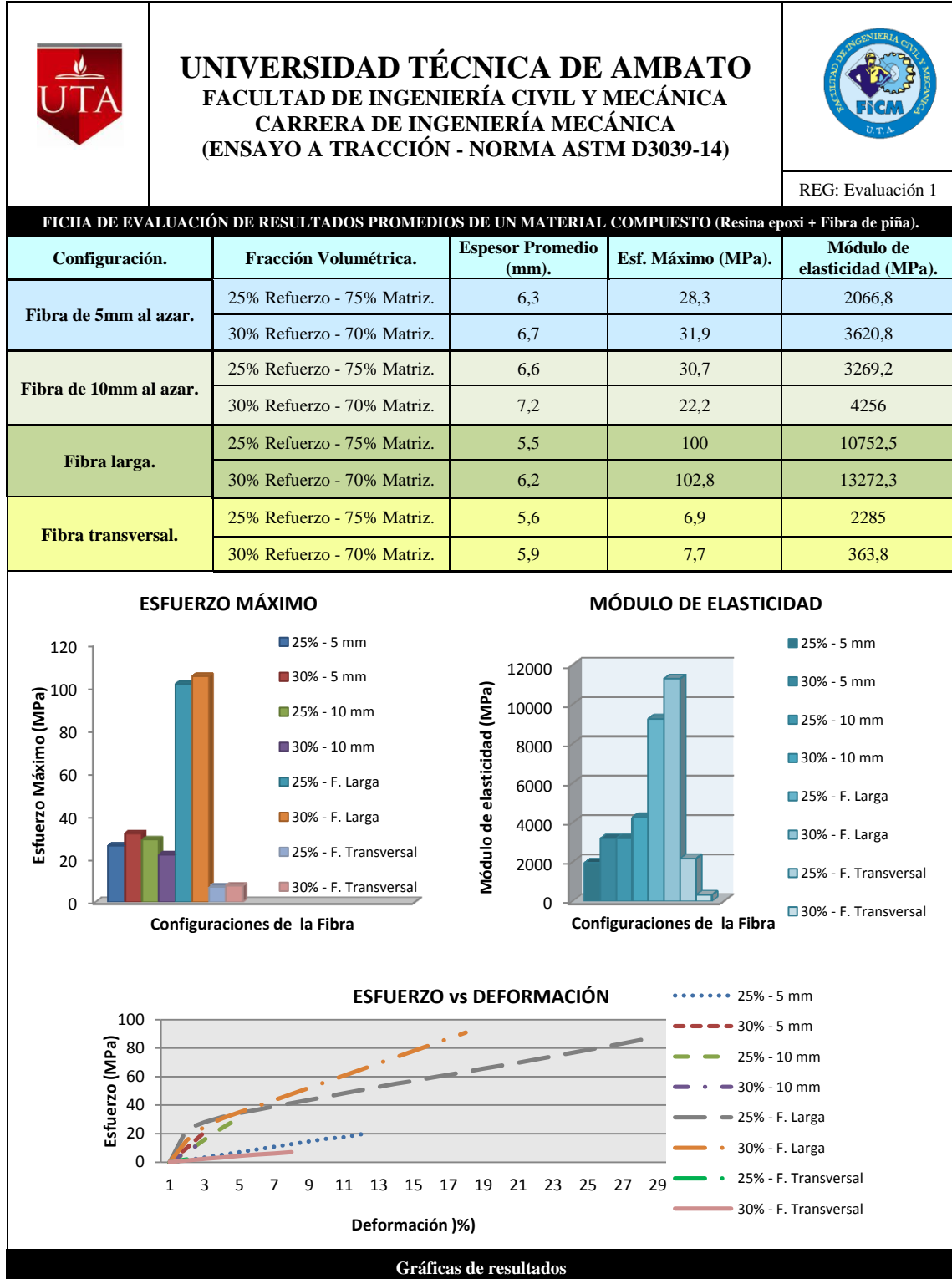
(Fuente: Realizada por el autor).

**i) Evaluación de la mejor configuración y fracción volumétrica para tracción y flexión.**

En la siguiente tabla se muestran los resultados generados de acuerdo a cada fracción volumétrica, configuración y tipo de ensayo realizado.

- Evaluación de la mejor configuración y fracción volumétrica ensayo a tracción.

Ficha 4.21. Evaluación de resultados a tracción del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).





En las gráficas mostradas se observa que las mejores configuraciones del material compuesto es la de fibra larga de 25% y 30% de refuerzo respectivamente estas presentan excelentes características en cuanto a esfuerzo y deformación al ser sometidos a tracción.

**Evaluación.**

(Fuente: Realizada por el autor).

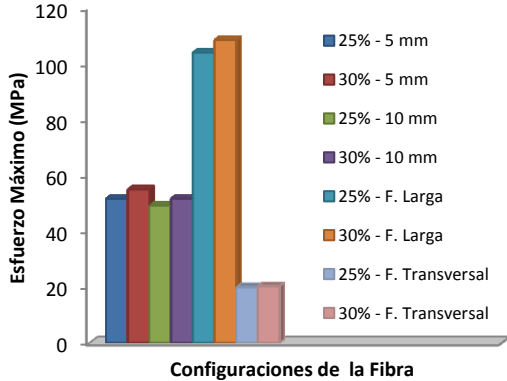
**- Evaluación de la mejor configuración y fracción volumétrica ensayo a flexión:**

*Ficha 4.22. Evaluación de resultados a flexión del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).*

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> <b>(ENSAYO A FLEXIÓN - NORMA ASTM D7264-07)</b>				
					REG: Evaluación 2	
FICHA DE EVALUACIÓN DE RESULTADOS PROMEDIOS DE UN MATERIAL COMPUESTO (Resina epoxi + Fibra de piña).						
Configuración.	Fracción Volumétrica.	Espesor Promedio (mm).	Esf. Máximo (MPa).	Módulo de flexión (MPa).		
Fibra de 5mm al azar.	25% Refuerzo - 75% Matriz.	5,87	51,7	2542		
	30% Refuerzo - 70% Matriz.	6,8	55	2860		
Fibra de 10mm al azar.	25% Refuerzo - 75% Matriz.	5,8	49	2210		
	30% Refuerzo - 70% Matriz.	6,3	51,8	2860		
Fibra larga.	25% Refuerzo - 75% Matriz.	5,3	104,1	6028		
	30% Refuerzo - 70% Matriz.	5,4	108,6	7382		
Fibra transversal.	25% Refuerzo - 75% Matriz.	5,2	20,1	1526		
	30% Refuerzo - 70% Matriz.	5,5	19,7	1380		

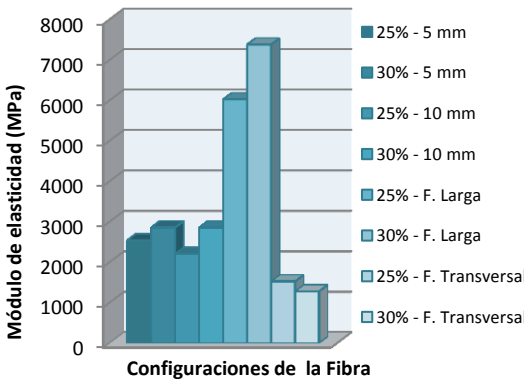
  

**ESFUERZO MÁXIMO**

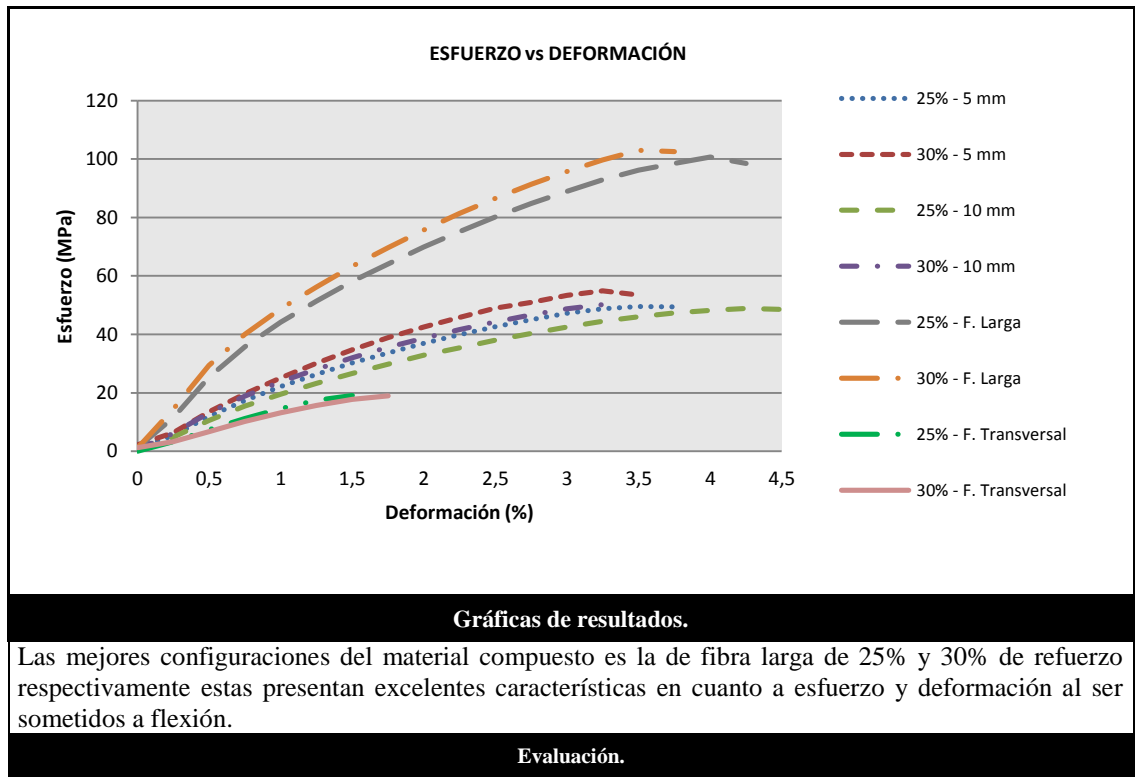


Configuraciones de la Fibra

**MÓDULO DE ELASTICIDAD**



Configuraciones de la Fibra

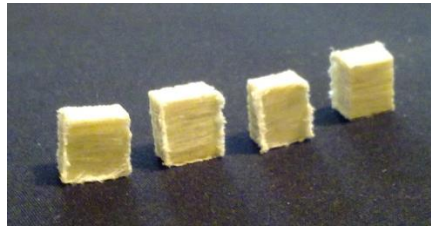


*(Fuente: Realizada por el autor).*

Nota: Dentro de los diferentes ensayos realizados tanto a tracción como a flexión se determinó que las configuraciones que mejor comportamiento y características mecánicas proporcionaron son las configuraciones de fibra larga con fracciones volumétricas de 25% y 30% de refuerzo respectivamente.

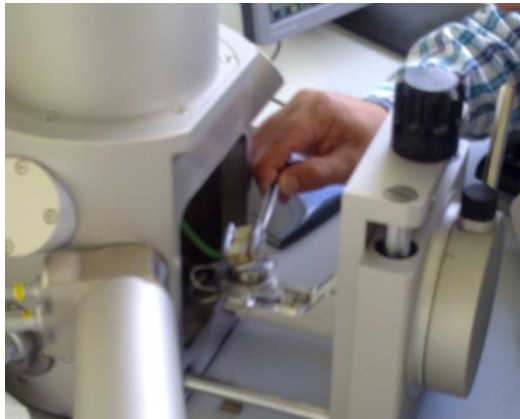
#### **j) Ensayo de adherencia entre matriz - refuerzo.**

El ensayo se realizó a la mejor configuración de acuerdo a sus propiedades mecánicas en este caso al material compuesto de 70% de matriz epoxi reforzada con 30% de fibra larga de piña, las muestras se analizaron con un número de 4 probetas (las medidas de las muestras son de 1cm x 1cm).



**Figura 4.64.** Probetas para ensayo de adherencia fibra – matriz.

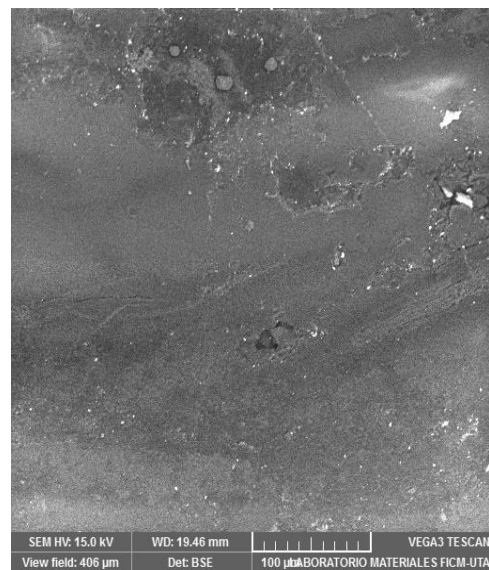
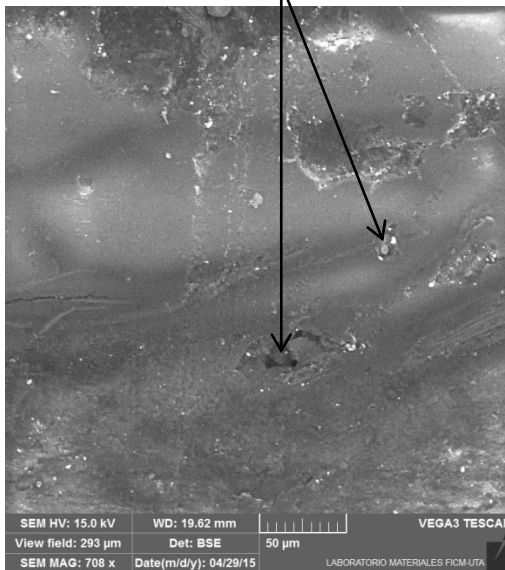
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.65.** Ensayo de adherencia fibra – matriz.

(Fuente: Realizada por el autor).

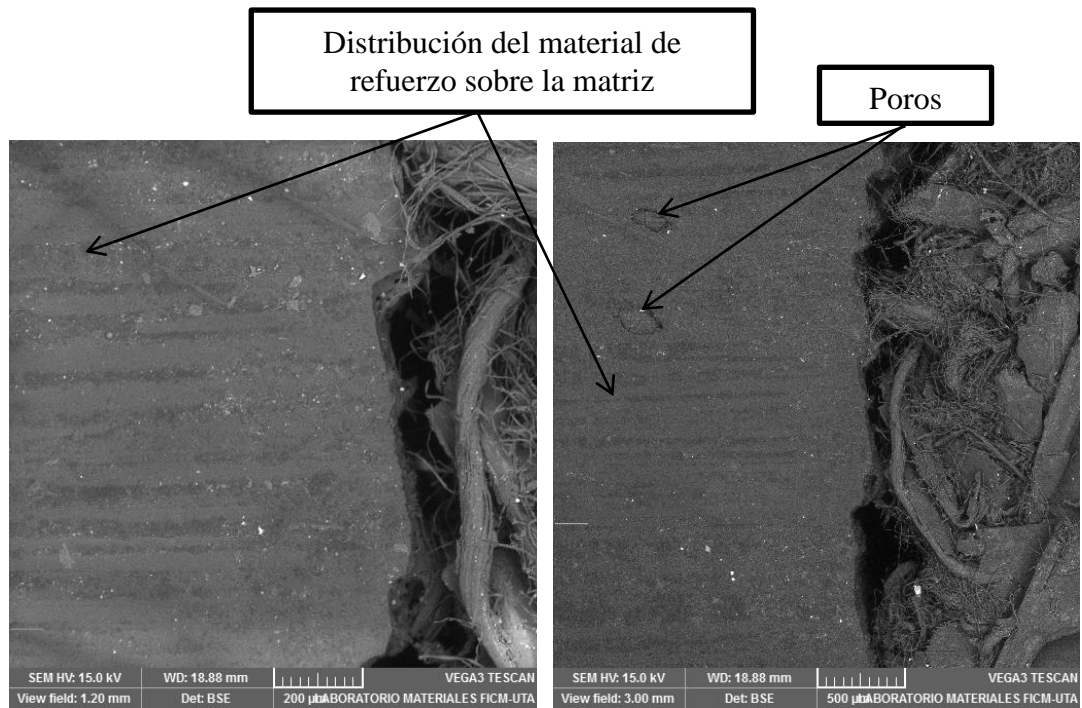
Poros producto del moldeo



**Figura 4.66.** Adherencia fibra – matriz (vistas desde la parte superior del materia sin corte).

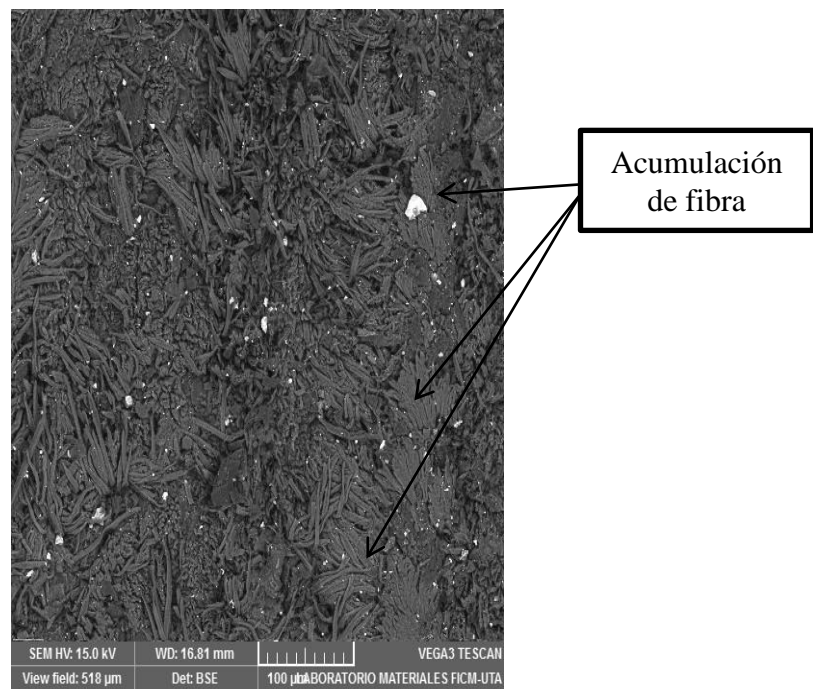
(Fuente: Realizada por el autor).





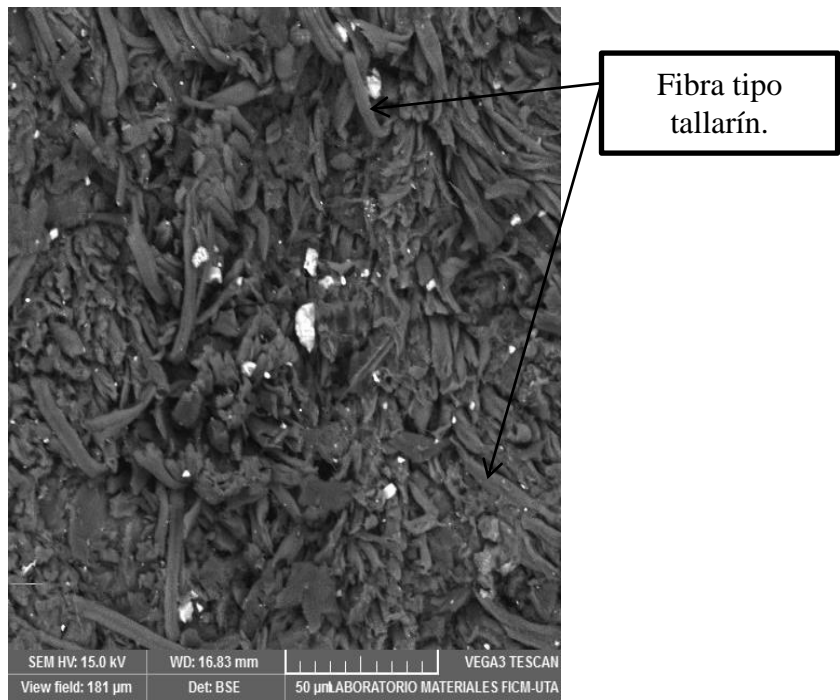
**Figura 4.67.** Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña).

(Fuente: Realizada por el autor).

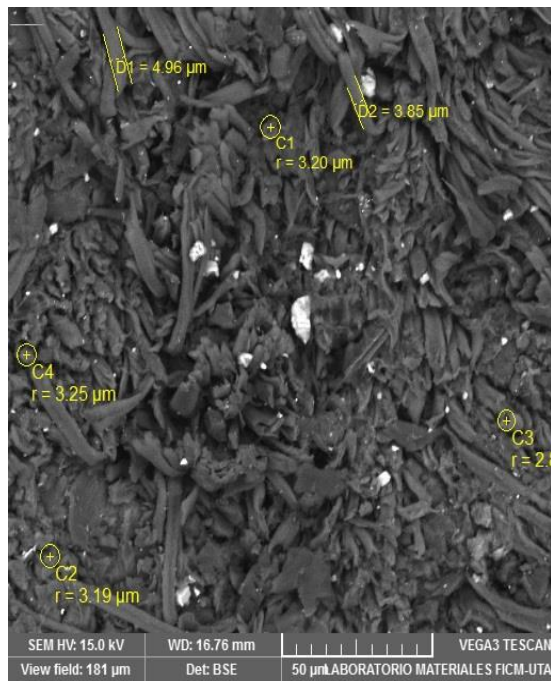


**Figura 4.68.** Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña cortada transversalmente).

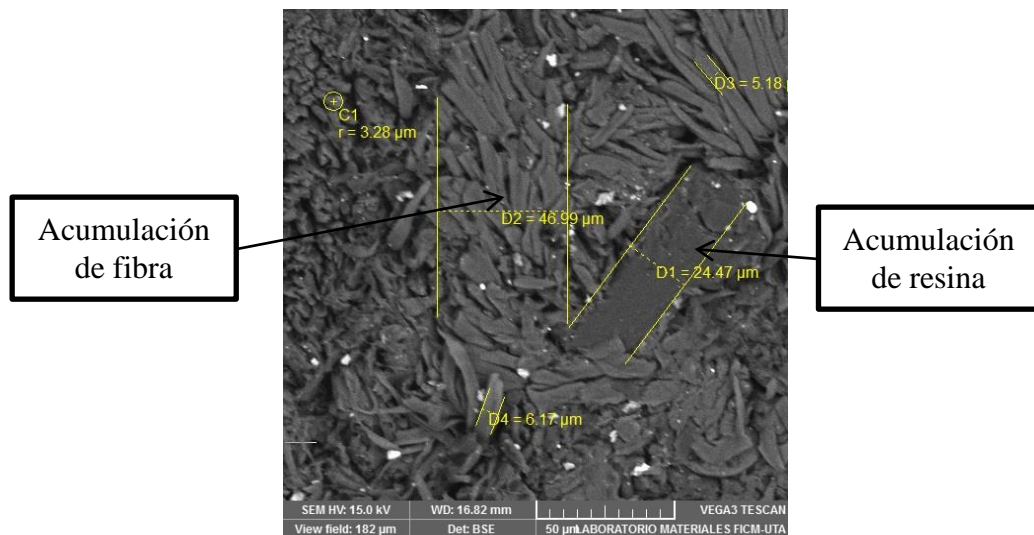
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.69.** Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña cortada transversalmente).  
(Fuente: Realizada por el autor).

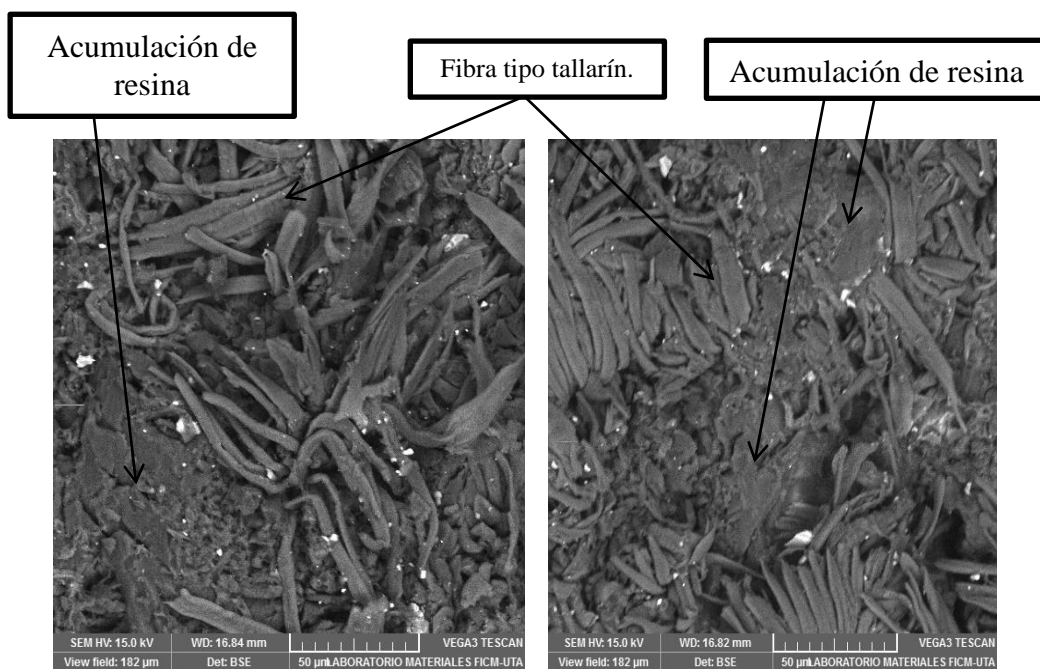


**Figura 4.70.** Adherencia fibra – matriz (dimensión de la fibra).  
(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.71.** Adherencia fibra – matriz (acumulación de resina y fibra).

(Fuente: Realizada por el autor).



**Figura 4.72.** Adherencia fibra – matriz (resina epoxi + fibra de piña).

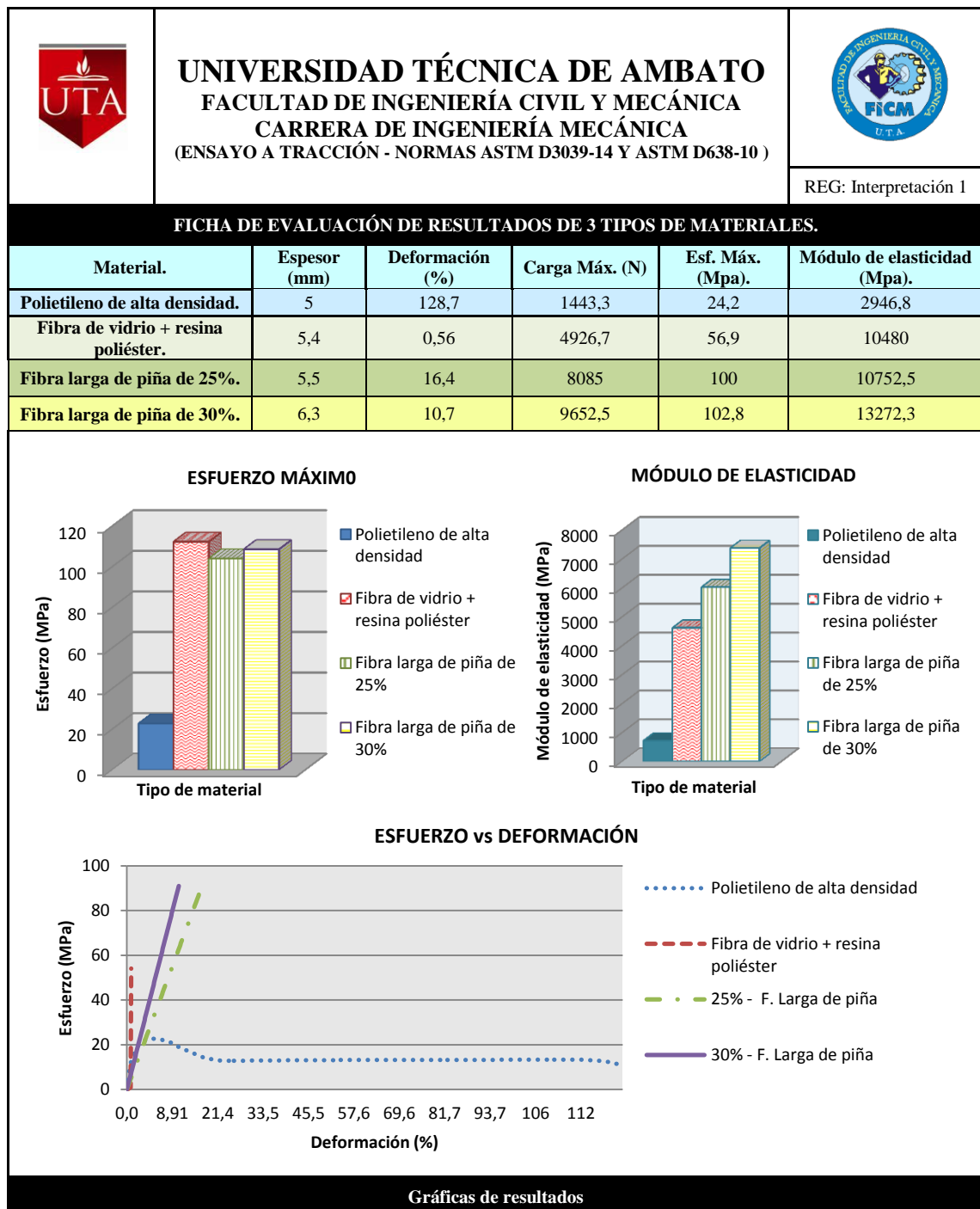
(Fuente: Realizada por el autor).

Del análisis realizado se determina que la fibra posee una fibra tipo tallarín, además existe acumulación de fibra y resina en distintas partes pese a esto la fibra deja espacio para que ingrese el material de matriz, se determina que si existe una buena adherencia entre la fibra y la matriz.

## 4.2. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

### a) Interpretación de resultados del ensayo a tracción de tres tipos de materiales.

Ficha 4.23. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales.



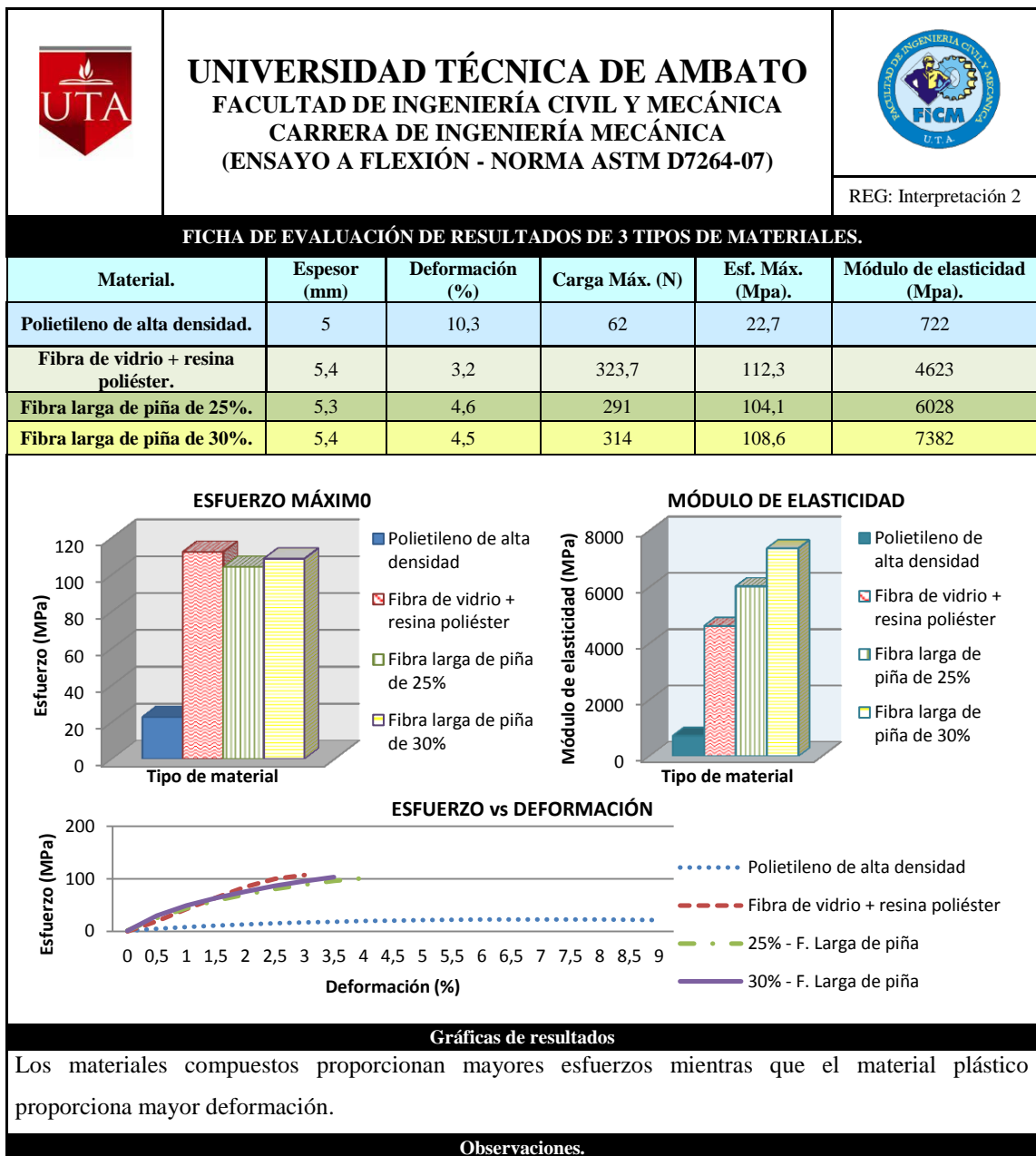
El material compuesto con fibra de piña proporciona mayor resistencia a esfuerzos mientras que el polietileno de alta densidad tiende a proporcionar mayores deformaciones.

Observaciones.

(Fuente: Realizada por el autor).

**b) Interpretación de resultados del ensayo a flexión de tres tipos de materiales.**

Ficha 4.24. Análisis de resultados a tracción de tres tipos de materiales.



c) Interpretación de resultados de las distintas propiedades.

Ficha 4.25. Interpretación de resultados de las distintas propiedades.

Material	TRACCIÓN										FLEXIÓN								Aceptación sobre 10	% de aceptación
	Espesor Promed. (mm)	Δ	Def. (%)	Δ	Carga Máx. (N)	Δ	Esfuerzo Máx. (MPa)	Δ	Módulo de elasticidad (MPa)	Δ	Def. (%)	Δ	Carga Máx. (N)	Δ	Esfuerzo Máx. (MPa)	Δ	Módulo de flexión (MPa)	Δ		
Poliétileno de alta densidad	5	0	128,7	0	1443,3	8209,2	24,2	78,6	2946,7	10325,6	10,3	0	62	261,7	22,7	89,6	722	6660	3,3	33
Resina Poliéster + 4 capas de f. de vidrio.	5,4	0,4	0,6	127,1	4926,7	4725,8	56,9	45,9	10480	2792,3	3,2	7,1	323,7	0	112,3	0	4623	2759	3,8	38
F. Larga de piña - 25%	5,4	0,5	16,4	112,3	8085	1567,5	100,0	2,8	10752,5	2519,8	4,6	5,7	291	32,7	104,1	8,2	6028	1354	6,1	61
F. Larga de piña - 30%	5,9	0,9	10,6	118,1	9652,5	0	102,8	0	13272,3	0	4,5	5,8	314	9,7	108,6	3,7	7382	0	7,8	78
Parámetros	5		128,7		9652,5		102,8		13272,3		10,3		323,7		112,3		7382			
D. Estándar	0,03		20		869		7,3		9481,2		1		26		10,5		490,8			

**Ponderación**

	Aceptable	10
	Bueno	5
	No aceptable	0

Los parámetros para determinar el material que proporcione las mejores propiedades mecánicas se tomó de los ensayo realizado a los mismos, se escoge el mejor de ellos y su desviación estándar para luego ser comparados en la presente tabla.

(Fuente: Realizada por el autor).

De los materiales evaluados se obtuvo que el material que proporciona mejor comportamiento al ser sometido tanto a tracción como a flexión es el material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña con fibra longitudinal y una fracción volumétrica de 30% de refuerzo y 70% de matriz, este material presente un 78% de aceptación superando a los demás materiales analizados.

### **4.3. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS.**

En la presente investigación la hipótesis se la demuestra estadísticamente y comparativamente. Dentro de la parte estadística se trabaja con diagramas de barras y de líneas, media aritmética y la desviación estándar para tener un rango de valores de los distintos parámetros analizados y de esta manera realizar la comparación de los diferentes materiales, configuraciones y fracciones volumétricas ensayadas.

Al final se realiza una ponderación para determinar el mejor material que podría ser utilizado para la fabricación de butacas deportivas (Tabla 4.25), dentro de la misma se determina que el material que proporciona propiedades mecánicas aceptables es el material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña con una fracción volumétrica de 30% de refuerzo y 70% de matriz, este material tiene una aceptación del 78% y una diferencia entre el 17% y 45% a diferencia de los demás materiales ensayados, superando de esta forma a los materiales convencionales utilizados en la fabricación de butacas deportivas (polietileno de alta densidad – material compuesto de matriz poliéster reforzado con cuatro capas de fibra de vidrio).

Dentro de una butaca deportiva el mayor esfuerzo que se produce es a flexión en la Tabla 4.24 se muestra que el material que proporciona mayor módulo de elasticidad es el material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña con una fracción volumétrica de 30% de refuerzo, pero el material de matriz epoxi reforzado con fibra de piña con una fracción volumétrica de 25% de refuerzo y el material compuesto de matriz poliéster y reforzado con cuatro capas de fibra de vidrio proporcionan un módulo de elasticidad aceptable, superando al material plástico (polietileno de alta densidad).

De esta manera se comprueba que el material compuesto de resina epoxi reforzado con fibra de piña proporciona excelentes propiedades mecánicas para la fabricación de butacas deportivas.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

#### 5.1. CONCLUSIONES.

Del presente estudio realizado se ha logrado la caracterización mecánica de un material compuesto (resina epoxi + fibra de piña) a través de los ensayos realizados de Tracción, Flexión y Adherencia entre fibra y matriz, de esta forma se concluye lo siguiente:

- Se determinó las propiedades físicas de la fibra de piña, para la determinación de la densidad se utilizó el método gravimétrico por medio de este método se pudo comprobar la densidad teórica con la experimental de esta fibra de piña la cual es de  $1,53 \text{ g/cm}^3$ .
- El polietileno de alta densidad y el material compuesto por resina poliéster y fibra de vidrio son los material con que se fabrican actualmente las butacas deportivas se conoció sus propiedades mecánicas, para posteriormente ser comparado con nuestro material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).
- La presente investigación se lo realizó bajo las normas ASTM D3039-14 (para ensayos a Tracción) y ASTM D7264-07 (para ensayos a Flexión), por medio de los cuales se logró la caracterización mecánica de este tipo de material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).
- Este material compuesto (resina epoxi + fibra de piña), podría presentar ventajas y desventajas como podrían ser:



#### Ventajas:

- ✓ El material utilizado como refuerzo (fibra de piña) es renovable.
- ✓ Este material compuesto presenta propiedades mecánicas aceptables.
- ✓ Se puede utilizar como un material alternativo con respecto a los materiales convencionales.
- ✓ Existe buena adherencia entre fibra y matriz.

#### Desventajas:

- ✓ El material de refuerzo (fibra de piña) puede medir hasta 2 metros de largo, es corta a comparación de otras fibras naturales.
- ✓ La estratificación se lo debe realizar a compresión con la finalidad de evitar que la fibra se levante.
- ✓ Este tipo de material utilizado como refuerzo (fibra de piña) no es muy común.

- Con la ayuda del microscopio de barrido se determinó la adherencia que se generó entre la matriz y el refuerzo, obteniendo como resultado que existen en varias partes acumulación de resina y fibra pese a esto si existe una buena adherencia en el compuesto (resina epoxi + fibra de piña), además se determinó q el material de refuerzo (fibra de piña) tiene una forma tipo tallarín.
- El material compuesto (resina epoxi + fibra de piña), que mejor propiedades presento es el compuesto por fibra larga longitudinal, con fracción volumétrica de 30% de material de refuerzo (fibra de piña) y 70% de matriz (resina epoxi), brindando de esta forma propiedades aceptables para ser utilizado como un material alternativo para la fabricación de butacas deportivas, este material tiene las siguientes propiedades mecánicas.
  - Carga máxima a tracción: 9652.5 N
  - Esfuerzo máximo a tracción: 102.8 MPa.
  - Módulo de elasticidad: 13272.3 MPa.
  - Carga máxima a flexión: 314 N.
  - Esfuerzo máximo a flexión: 108.6 MPa.
  - Módulo de flexión: 7382.

## 5.2. RECOMENDACIONES.

Una vez culminado con los ensayos y obtenidos los resultados deseados en el presente estudio se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones que se detallan a continuación:

- La preparación del molde es primordial para el acabado de la pieza moldeada, cuando el molde es nuevo se debe dar de 3 a 4 capas de cera desmoldante con un intervalo de tiempo de 2 a 3 minutos.
- Se debe tomar en cuenta las recomendaciones del fabricante, como por ejemplo el tiempo de curado del compuesto antes de realizar los ensayos, para este caso fue de 7 días.
- Asegurarse que la fibra este completamente limpia, libre de celulosa e impurezas de esto dependerá la adherencia entre el refuerzo (fibra de piña) y la matriz (resina epoxi).
- Para el ensayo a tracción se debe añadir en todos los extremos de las probetas unas cintas de adherencia, esto se hace con la finalidad que durante el ensayo la probeta no resbale de sus apoyos cuando se aplica la carga.
- Utilizar para el ensayo por lo menos una o dos probetas más del número indicado en la norma, esto se lo realiza para desechar la que proporcione un menor y mayor dato, y de esta manera poder tener datos reales que se encuentren dentro del mismo rango.
- Se recomienda realizar la fabricación de un prototipo de una butaca deportiva con la finalidad de corroborar la información emitida en el presente estudio.

## **CAPÍTULO VI**

### **6. PROPUESTA.**

#### **6.1. DATOS INFORMATIVOS.**

##### **TEMA:**

PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UNA BUTACA DEPORTIVA, UTILIZANDO UN MATERIAL COMPUESTO CON UN 70% MATRIZ EPOXI REFORZADA CON UN 30% DE FIBRA LARGA DE PIÑA.

##### **EJECUTOR:**

Alex David Jácome León, responsable de la presente investigación.

##### **DESCRIPCIÓN:**

Para la ejecución de esta propuesta se utilizarán datos recolectados de los capítulos anteriores del presente tema de investigación, tanto datos bibliográficos del marco teórico, así como de los datos producto de los ensayos realizados.

#### **6.2. ANTECEDENTES A LA PROPUESTA.**

En cuanto se refiere a la utilización de nuevas materias compuestas reforzadas con fibras naturales se han venido desarrollando estas de una manera aceptable, existen investigaciones de diferentes tipos de fibras para distintas aplicaciones.

Universidades tales como la Escuela Politécnica Nacional ha venido desarrollando varios temas de investigación referente a nuevos materiales compuestos utilizando como

refuerzo fibras naturales, V.H. Guerrero, docente de la Escuela Politécnica Nacional, y referente impulsor en cuanto a la utilización de nuevos materiales compuestos indica en su obra “NUEVOS MATERIALES” diferentes caracterizaciones que se han venido desarrollando de diferentes tipos de fibras naturales, dentro de esta obra se destacan:

- Materiales compuestos de abacá – poliéster.
- Materiales compuestos de cabuya – poliéster.

La utilización de materiales compuestos ha tenido gran acogida gracias a sus ventajas y propiedades que entregan estos materiales para su distinta aplicación otra investigación referente en este campo es la realizada por el Ing. Mg. Juan Paredes, docente de la Universidad Técnica de Ambato, con su tema de investigación “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 la cual detalla la caracterización realizada por el investigador de este tipo de material para luego ser comparado con el material utilizado tradicionalmente para la fabricación de guardachoques para buses, brindado de esta manera una nueva alternativa en cuanto al uso de nuevos materiales para la fabricación de este tipo de partes.

### **6.3. JUSTIFICACIÓN.**

El estudio de nuevos materiales compuestos ha venido generando gran interés y aceptación a la hora de suplir varias necesidades que un material tradicional por sí solo no podría, y de esta manera proporcionar un material más eficiente y de distintas características. Estos materiales compuestos pueden proporcionar propiedades química, físicas, y mecánicas aceptables, estos tipos de materiales compuestos poseen por ejemplo, resistencia a la corrosión, bajo peso, y resistencia a altas temperaturas.

Un material compuesto reforzado con fibras naturales disminuye en una proporción el impacto ambiental ya que éstas pueden ser incineradas.

El trabajar con una fibra natural de producción nacional puede generar plazas de trabajo dentro del mercado nacional, varias fibras naturales pueden ser tratadas como desechos industriales. A demás estas brindan grandes ventajas como: el fácil procesamiento, disponibilidad, bajo costo y peso, alta resistencia, entre otras.

En la actualidad la mayoría de las industrias trabajan con materiales sintéticos, se realiza esta propuesta con la finalidad de proporcionar una nueva alternativa a la hora de seleccionar un material, por lo general las butacas deportivas en su totalidad son construidas con materiales sintéticos, con la presente investigación se brinda una posibilidad en cuanto a la fabricación de estos elementos (butacas deportivas) con la utilización de un nuevo material compuesto reforzado con una fibra natural (fibra de piña), además se propone la elaboración de un proceso para la fabricación de este tipo de butacas deportivas utilizando el material compuesto mencionado, a fin de establecer el proceso más adecuado para la producción de butacas deportivas y producir un producto de calidad.

## **6.4. OBJETIVOS.**

### **6.4.1. OBJETIVO GENERAL.**

Elaborar un procedimiento para la fabricación de butacas deportivas, utilizando un material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña, con el fin de proporcionar una nueva alternativa en cuanto al uso de nuevos materiales compuestos.

#### **6.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Establecer la cantidad de fracción volumétrica (fibra y matriz) requerida para la fabricación del prototipo (butaca deportiva), y conocer la preparación del molde antes de la estratificación manual.
- Determinar los parámetros, características y preparación del molde utilizado para la fabricación del prototipo de una butaca deportiva.
- Elaborar un procedimiento para la fabricación de un prototipo de una butaca deportiva con la utilización del material compuesto (70% de resina epoxi + 30% de fibra larga de piña), y definir sus posibles ventajas y desventajas en cuanto a la utilización de este material compuesto para la fabricación dicho prototipo.

#### **6.5. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.**

##### **6.5.1. FACTIBILIDAD TÉCNICA.**

Esta propuesta se la puede realizar ya que se cuenta con la información necesaria para el desarrollo de la misma, además se cuenta con los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y del tutor de la presente investigación.

##### **6.5.2. FACTIBILIDAD TECNOLÓGICA.**

Para realizar la propuesta se cuenta con los ensayos realizados en capítulos anteriores del presente trabajo de investigación en donde se detalla las fracciones volumétricas y configuraciones más resistentes con los que se podría trabajar para el desarrollo la propuesta, además se cuenta con los laboratorios de la Universidad Técnica de Ambato de la carrera de Ingeniería Mecánica, y los laboratorios de la Escuela Politécnica Nacional de la carrera de Ingeniería Mecánica.

## **6.6. FUNDAMENTACIÓN.**

En capítulos anteriores se cuenta con la información necesaria, además con la información de los estudios realizados en cuanto a la caracterización del material compuesto (70% de matriz epoxi reforzada con el 30% de fibra larga de piña).

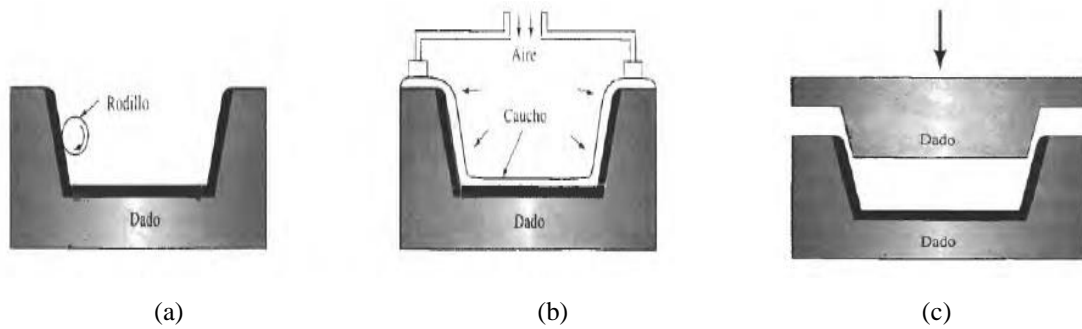
A continuación se detalla la información requerida para el presente estudio.

### **PRODUCCIÓN DEL COMPUESTO.**

Se utilizan diferentes tipos de métodos para la producción de piezas de materiales compuestos, dependiendo de la aplicación y de los materiales utilizados. Los materiales compuestos reforzados con fibras cortas generalmente se forman mezclando las fibras con una matriz líquida o plástica, y a continuación usando técnicas relativamente convencionales como el moldeo por inyección para compuestos en matriz polimérica o el vaciado para materiales compuestos de matriz metálica. Se pueden producir materiales compuestos de matriz polimérica utilizando un procedimiento de rociado, en el cual fibras cortas mezcladas con una resina se rocían contra un molde y luego se realiza el proceso de curación.

Sin embargo se han diseñado técnicas especiales para la producción de materiales compuestos utilizando fibras continuas, ya sea con orientación unidireccional.

En técnicas de producción manual, las cintas, esteras o telas se colocan contra un molde, se saturan con una resina polimérica, y se agrega una presión con rodillos para asegurar un buen contacto y eliminar la porosidad, y por último se realiza el proceso de curado. Carrocerías de fibra de vidrio para vehículos ligeros y pesados se pueden fabricar con este tipo de método que, generalmente, es lento y requiere de mucha mano de obra (Donald., 1998, pp.522-533).



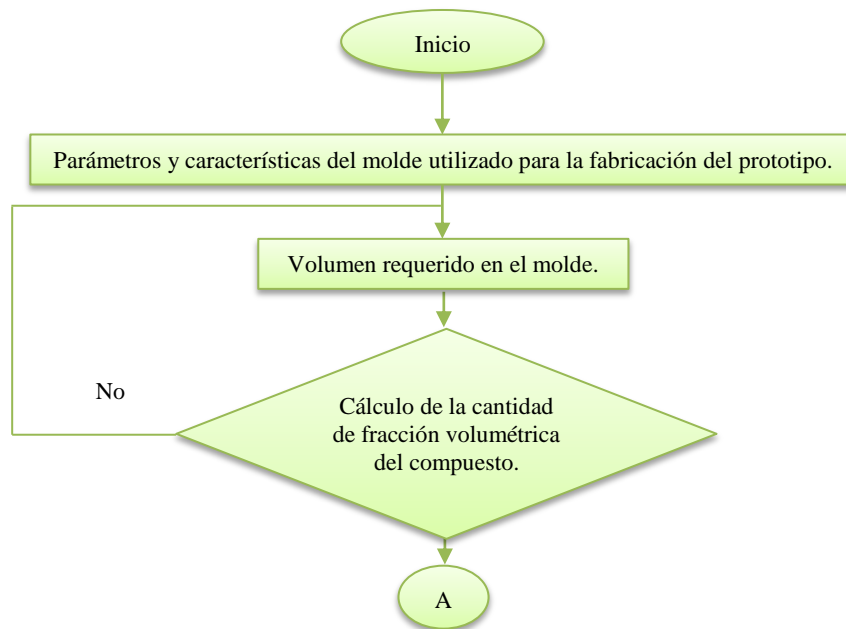
**Figura 6.1.** Producción de formas de material compuestos en dados mediante (a) colocación a mano, (b) moldeo a presión y (c) moldeo con troqueles.

(Fuente: Donald, 1998, p.533).

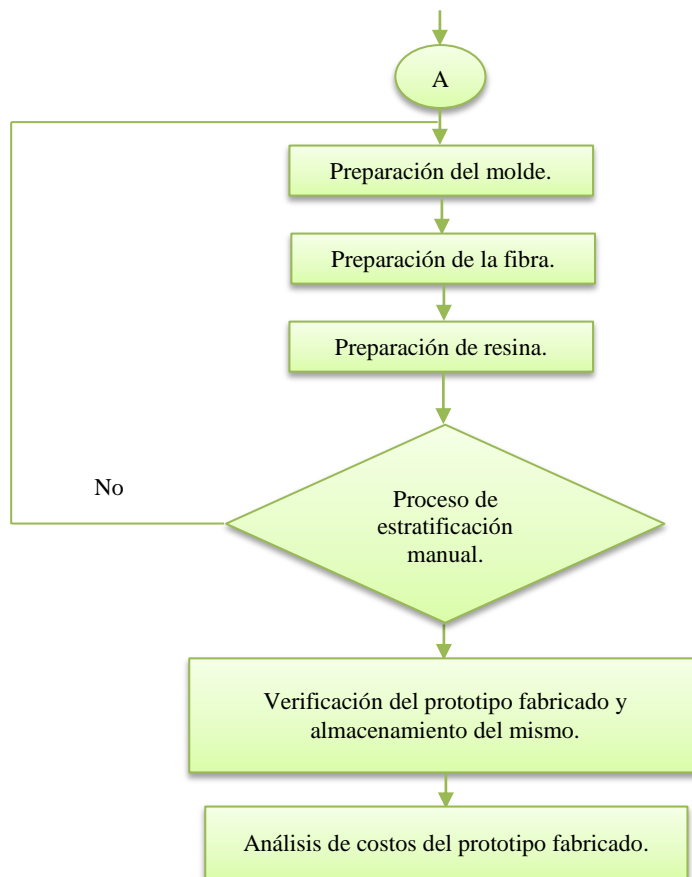
## 6.7. METODOLOGÍA, MODELO OPERATIVO.

La presente investigación se desarrollará bajo el siguiente diagrama de proceso.

**Figura 6.2.** Diagrama de procedimiento para la fabricación de un prototipo de una butaca deportiva.

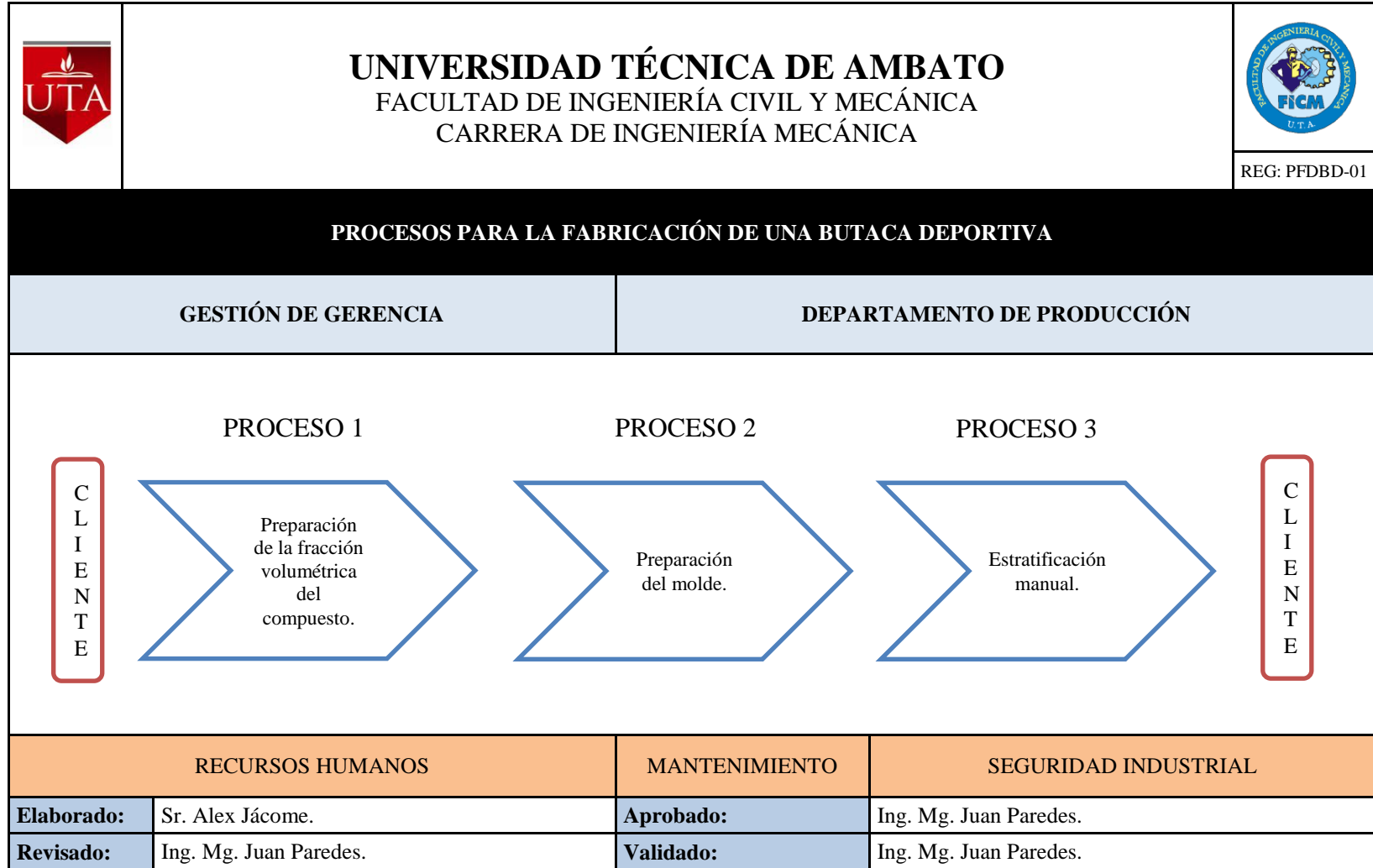






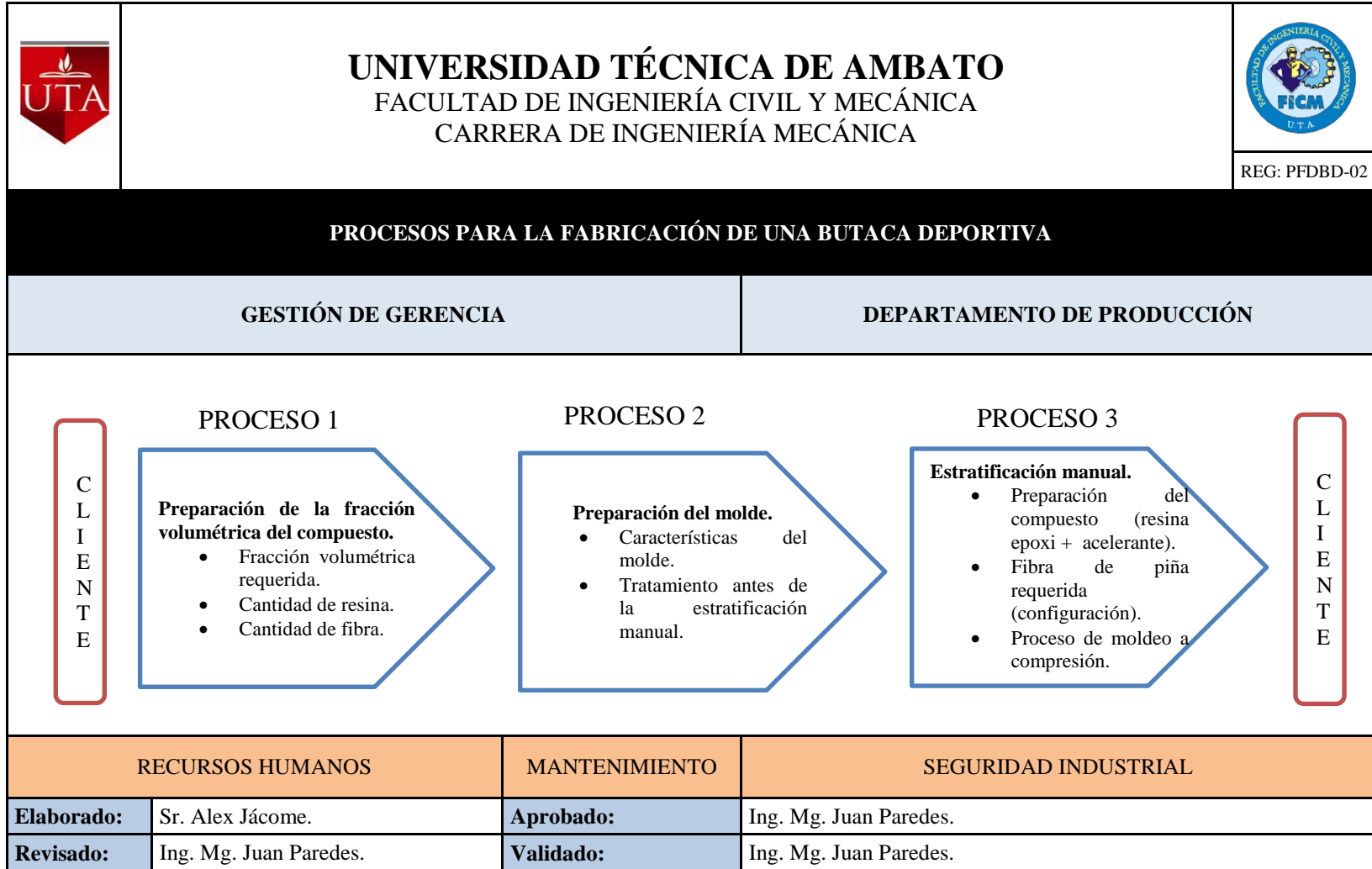
*(Fuente: Realizada por el autor).*

Ficha 6.1. Proceso para la fabricación de una butaca deportiva.





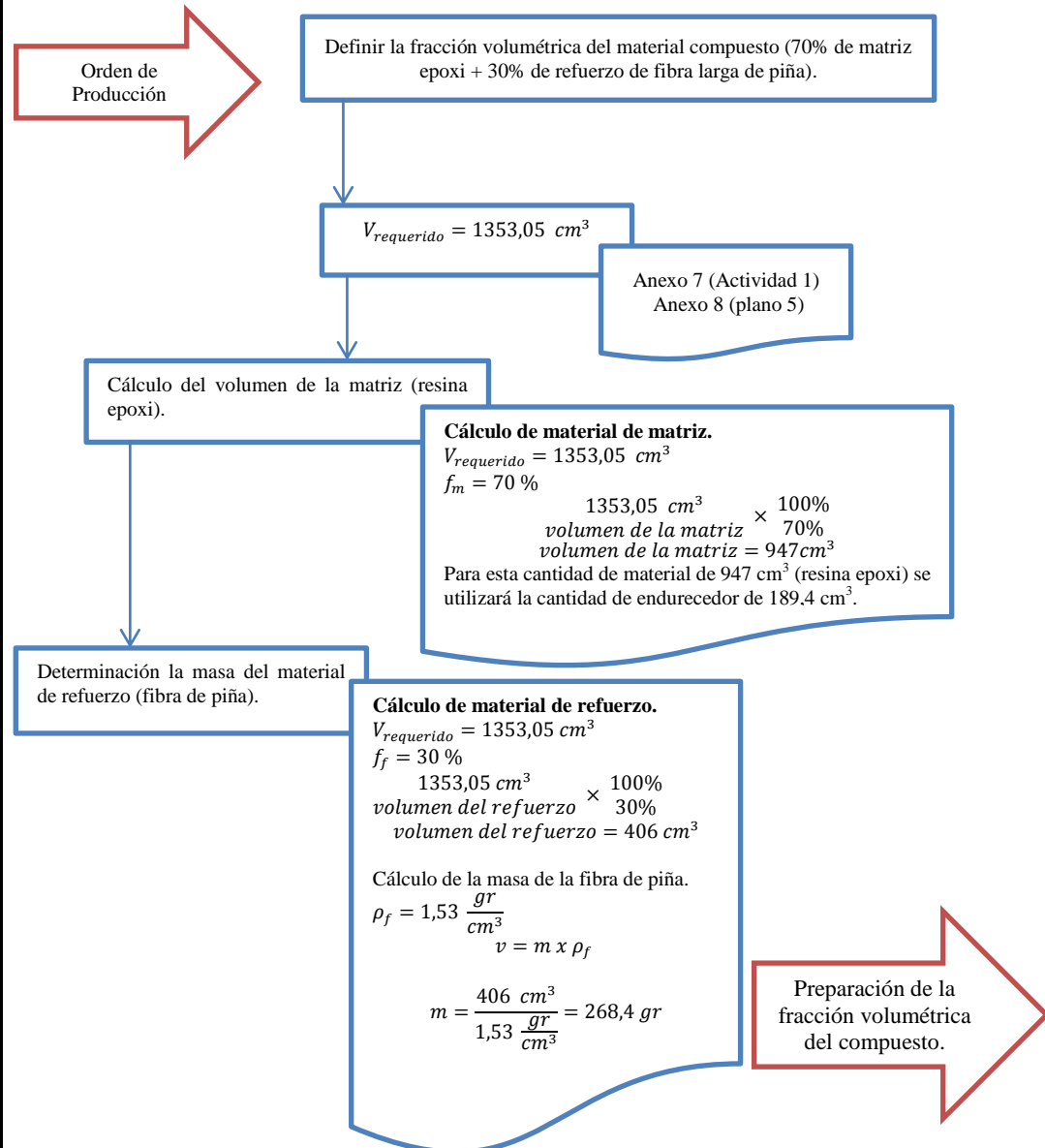
(Fuente: Realizada por el autor).

Ficha 6.2. Procesos para la fabricación de una butaca deportiva.





(Fuente: Realizada por el autor).

Ficha 6.3. Primer proceso para la fabricación de una butaca deportiva.

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	 REG: PFDBD-03								
<b>PROCESO 1 (Preparación de la fracción volumétrica del compuesto).</b>										
<b>Objetivo:</b> Determinar la cantidad de fracción volumétrica de cada componente (resina epoxi, fibra de piña).										
<b>Alcance:</b> Este proceso solo se aplicará para la fabricación de butacas deportivas con un material compuesto del 70% de matriz epoxi reforzada con el 30% de fibra larga de piña.										
A D M I N I S T R A C I O N										
D E P A R T A M E N T O	<p><b>Cálculo de material de matriz.</b></p> $V_{requerido} = 1353,05 \text{ cm}^3$ $f_m = 70 \%$ $\text{volumen de la matriz} = \frac{1353,05 \text{ cm}^3 \times 100\%}{70\%} = 947 \text{ cm}^3$ <p>Para esta cantidad de material de 947 cm<sup>3</sup> (resina epoxi) se utilizará la cantidad de endurecedor de 189.4 cm<sup>3</sup>.</p>									
D E P A R T A M E N T O	<p><b>Cálculo de material de refuerzo.</b></p> $V_{requerido} = 1353,05 \text{ cm}^3$ $f_f = 30 \%$ $\text{volumen del refuerzo} = \frac{1353,05 \text{ cm}^3 \times 100\%}{30\%} = 406 \text{ cm}^3$ <p>Cálculo de la masa de la fibra de piña.</p> $\rho_f = 1,53 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $v = m \times \rho_f$ $m = \frac{406 \text{ cm}^3}{1,53 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}} = 268,4 \text{ gr}$									
P R O D U C C I O N	<p style="text-align: right;">Preparación de la fracción volumétrica del compuesto.</p>									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 25%;"><b>Elaborado:</b></td> <td style="width: 25%;">Sr. Alex Jácome.</td> <td style="width: 25%;"><b>Aprobado:</b></td> <td style="width: 25%;">Ing. Mg. Juan Paredes.</td> </tr> <tr> <td><b>Revisado:</b></td> <td>Ing. Mg. Juan Paredes.</td> <td><b>Validado:</b></td> <td>Ing. Mg. Juan Paredes.</td> </tr> </table>			<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.
<b>Elaborado:</b>	Sr. Alex Jácome.	<b>Aprobado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.							
<b>Revisado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.	<b>Validado:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes.							

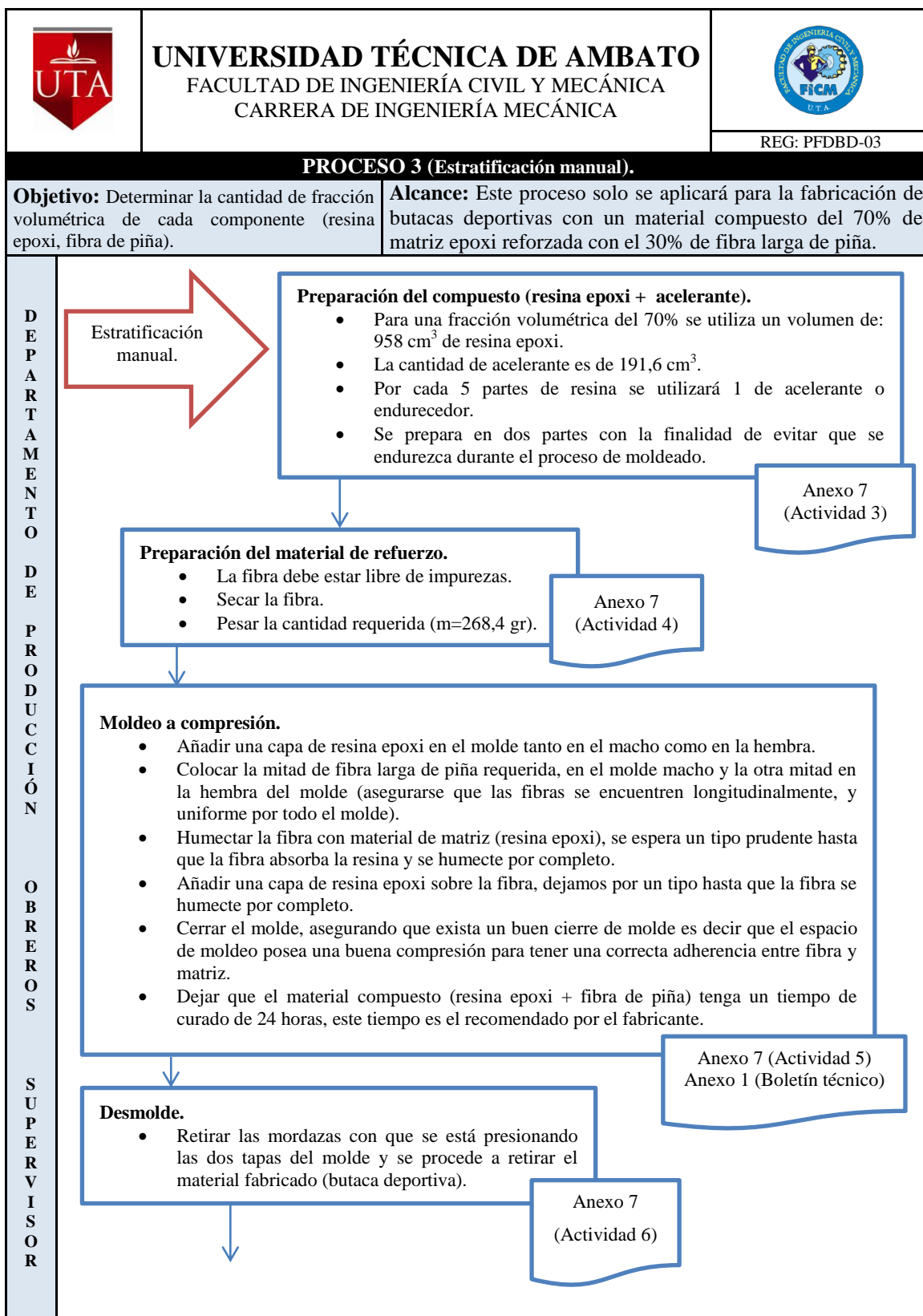
(Fuente: Realizada por el autor).

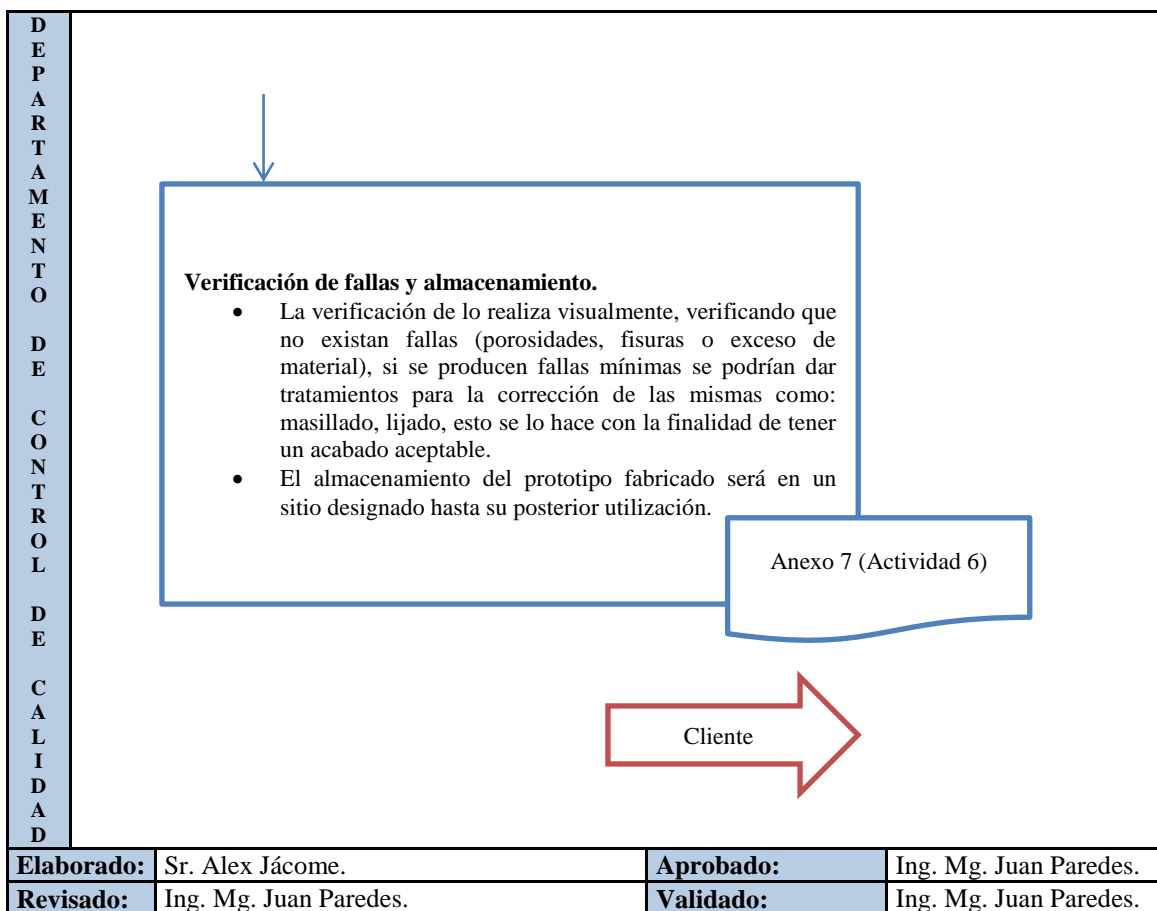
Ficha 6.4. Segundo proceso para la fabricación de una butaca deportiva.

	<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>		REG: PFDBD-04
			<b>PROCESO 2 (Preparación del molde).</b>
<p><b>Objetivo:</b> Determinar la preparación del molde antes de la estratificación manual.</p>		<p><b>Alcance:</b> Este proceso solo se aplicará para la fabricación de butacas deportivas con un material compuesto del 70% de matriz epoxi reforzada con el 30% de fibra larga de piña.</p>	
J E F E	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 5px;"> <p><b>Características del molde.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El molde utilizado se compone de dos partes (macho – hembra).</li> <li>• Está fabricado de resina poliéster + fibra de vidrio.</li> <li>• Sus superficies son completamente lisas y libres de imperfecciones.</li> </ul> </div>		
O B R E R O	<div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 5px;"> <p><b>Tratamiento antes de la estratificación manual.</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Debe estar completamente limpio.</li> <li>• Añadir cera para tener una superficie lisa.</li> <li>• No tener a la intemperie para evitar daños en el molde.</li> <li>• Verificar que exista un correcto sellado del molde.</li> </ul> </div> <div style="border: 1px solid blue; padding: 5px; margin: 5px; width: fit-content;"> <p>Anexo 7 (Actividad 2)</p> </div> <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px; width: fit-content; text-align: center;"> <p>Estratificación manual.</p> </div>		
<p><b>Elaborado:</b> Sr. Alex Jácome.</p>		<p><b>Aprobado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.</p>	
<p><b>Revisado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.</p>		<p><b>Validado:</b> Ing. Mg. Juan Paredes.</p>	

(Fuente: Realizada por el autor).

Ficha 6.5. Tercer proceso para la fabricación de una butaca deportiva.





(Fuente: Realizada por el autor).

## ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROTOTIPO FABRICADO.

- Costos de materia prima.

En la tabla siguiente se detalla el costo de cada uno de los componentes utilizados.

*Tabla 6.1. Costos de materia prima.*

Costos de materia prima				
Denominación	Cantidad	Unidad	Valor unitario (usd)	Valor total (usd)
Resina Epóxica	1	kilo	35	35
Desmoldante	0,5	kilo	10	5
Fibra de Piña	0,5	kilo	8	4
<b>Total</b>				<b>44</b>

(Fuente: Realizada por el autor).

Cabe señalar que el precio de la resina viene incluido con su respectivo endurecedor, esta no necesita ningún tipo de tratamiento basta mezclar con el endurecedor y se podrá utilizar este tipo de resina.

- Costos de mano de obra.

*Tabla 6.2. Costos de mano de obra.*

<b>Costos de mano de obra</b>			
<b>Denominación</b>	<b>Hora</b>	<b>Valor por hora (usd)</b>	<b>Valor total (usd)</b>
<b>Maestro</b>	3	4	12
<b>Ayudante</b>	3	2,5	7,5
<b>Total</b>			<b>19,5</b>

*(Fuente: Realizada por el autor).*

El tiempo señalado de mano de obra se considera desde el tratamiento que se le da al molde hasta el proceso de desmolde, es de decir desde que se inicia el proceso hasta su finalización, el tiempo estimado del proceso de moldeo es de aproximadamente 2 horas con 40 minutos y su desmolde se lo realiza en un tiempo estimado de 20 minutos.

- Costos de materiales.

*Tabla 6.3. Costos de materiales.*

<b>Costos de materiales</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor unitario (usd)</b>	<b>Valor total (usd)</b>
<b>Molde</b>	1	---	5	5
<b>Guantes</b>	2	---	1	2
<b>Mascarillas</b>	2	---	0,5	1
<b>Guaie</b>	1	kilo	1	1
<b>Total</b>				<b>7</b>

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Nota: El valor del molde es por el alquiler del mismo.



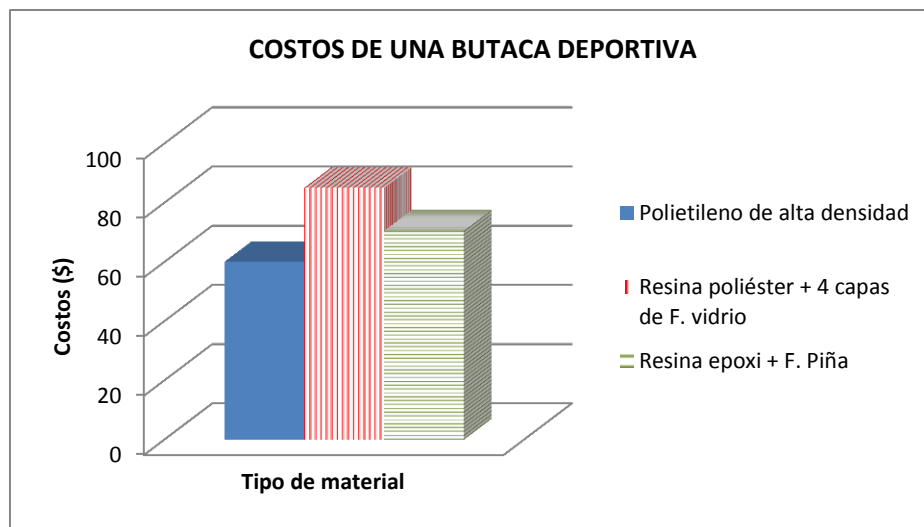
- Costo total por la fabricación del prototipo de una butaca deportiva.

*Tabla 6.4. Costos de materiales.*

<b>Costo total por la fabricación del prototipo de una butaca deportiva</b>	
<b>Costos</b>	<b>Valor unitario (usd)</b>
<b>Materia prima</b>	44
<b>Mano de obra</b>	19,5
<b>Materiales</b>	7
<b>Total</b>	<b>70,5</b>

*(Fuente: Realizada por el autor).*

Una vez determinado el costo de la fabricación de la butaca deportiva utilizando el material compuesto del 70% de matriz epoxi reforzada con 30% de fibra larga de piña, se puede realizar una comparación con los costos de las butacas deportivas con la utilización de los materiales tradicionales, una butaca deportiva de polietileno de alta densidad se la puede encontrar a un valor de hasta 60\$, mientras que una butaca deportiva de matriz poliéster + 4 capas de fibra de vidrio posee un costo en el mercado nacional de 85\$ por unidad.



*Figura 6.3. Costo de una butaca deportiva.*

*(Fuente: Realizada por el autor).*

En el diagrama de barras se muestra la diferencia de costos que existe entre la fabricación de una butaca deportiva utilizando un nuevo material compuesto con una fibra natural con respecto a los materiales tradicionales, la diferencia con el polietileno de alta densidad es de un 15% en relación a costo, es decir que una butaca con este nuevo tipo de material resultaría más costoso que con un material tradicional de polietileno de alta densidad, sin embargo este material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña resulta más económico en relación al materia compuesto de resina poliéster + 4 capas de fibra de vidrio en un 20% más económico aproximadamente, de esta manera resulta una gran alternativa la utilización de este tipo de material compuesto para la fabricación de butacas deportivas con la ventaja de la calidad del producto ya que se ha demostrado en la presente investigación que el material que proporciona mejores combinaciones en cuanto a propiedades mecánicas es el material compuesto con 70% de matriz epoxi y reforzada con 30% de fibra larga de piña.

## 6.8. ADMINISTRACIÓN.

A continuación se detallara los costos generados que se realizaron durante el desarrollo de la presente investigación.

*Tabla 6.5. Costos de la investigación.*

<b>Costos de la investigación</b>			
<b>Denominación</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor unitario (usd)</b>	<b>Valor total (usd)</b>
Fabricación del prototipo	1	70,5	70,5
Probetas de PEAD	10	1,25	12,5
Probetas de F. de vidrio	10	1,05	10,5
Probetas de F. de piña	96	1,71	164,2
Molde para probetas	1	150	150
Ensayos mecánicos	116	5,32	617,12
Alquiler de tanque de nitrógeno	1	90	90

Material de escritorio	1	50	30
Transporte	2	100	200
Varios	---	50	50
<b>Total</b>			<b>1,394.82</b>

*(Fuente: Realizada por el autor).*

## **6.9. PREVISIÓN DE LA EVALUACIÓN.**

Una vez finalizado el presente proyecto de investigación, el cual fue desarrollado tanto en la Universidad Técnica de Ambato, en los Laboratorios de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, como en la Escuela Politécnica Nacional sede Quito, se sugiere considerar todas las conclusiones y recomendaciones que se citan en el presente trabajo de investigación con el fin de obtener los resultados deseados al desarrollar la caracterización mecánica, cabe mencionar que el costo de producción por butaca podría disminuir un porcentaje si se lo trabaja en gran escala de producción.

## REFERENCIAS.

- 1) Newell, J. (2011). *Ciencia de Materiales: Aplicaciones en Ingeniería*, Primera edición. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A de C.V.
- 2) Guerrero, V., Davila, J., Gales, S., Ponton, P., y Rosas, N. (2011). *Nuevos materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*. Primera edición. Quito: ISBN: 978-9978-383-20-9.
- 3) Moral, A. y Nogueira, M. (2007). *Materiales de última generación y materiales eficientes: Materiales compuestos – composites*.
- 4) Mazumdar, S. (2003). *Composites manufacturing: Materials, product and process engineering*. Primera edición. Estados Unidos: CRC Press.
- 5) Chung, D. (2010). *Composite Material: Science and Applications*, Segunda edición. Nueva York, Estados Unidos: Springer.
- 6) Science Photo Lybray. (2011). *Science Photo Lybray*, [En línea]. Disponible en [http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced\\_plastic,\\_SEM-SPL.jpg](http://www.sciencephoto.com/image/10002/530wm/A8500256-Reinforced_plastic,_SEM-SPL.jpg) [Accesado el día 4 de noviembre del 2013].
- 7) Universidad Politécnica de Valencia. *Curso de Fundamentos de Ciencia de Materiales*. [En línea]. Valencia, disponible en: [http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15\\_6.html](http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_6.html) [Accesado el día 4 de noviembre del 2013].
- 8) Larson, B. (2011). *Composite Structures*, [En línea]. Disponible en: [http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/composite\\_class.htm](http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Materials/Structure/composite_class.htm) [Accesado el día 6 de noviembre del 2013].

- 9) Callister, W. (2007). *Materials Science and Engeneering: An introduction*. Séptima edición. Estados Unidos: John Wiley & Sons, Inc.
- 10) Mallick, P. (2008). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design*. Tercera edición. Estados Unidos: CRC Press.
- 11) Natalia Cruz et al., *Fibras Naturales y Artificiales*, [En línea]. Disponible en: <http://www.sc.ehu.es/iawfemaf/archivos/materia/industrial/libro11c.pdf>.
- 12) Ott, E. (1963). *Cellulose and cellulose derivatives*. Segunda edición. Nueva York, Estados Unidos: Interscience publishers.
- 13) Hans, A. (1996). *Cellulose, Structure, Accessibility and Reactivity*. Amsterdam, Países Bajos: Gordon and Breach Science.
- 14) Guerrón, G. (2005). *Caracterización y modificación alcalina de la fibra de abacá variedad bungalowón para la elaboración de hilo artesanal*. Quito, Ecuador: EPN.
- 15) Casey, J. (1991). *Pulpa y Papel, Química y Tecnología Química*, Primera edición. México: Limusa.
- 16) Salazar, S. (2010). *Caracterización de la fibra de ramio (Boehmeria nivea) y estudio del efecto del tiempo de cosecha sobre sus propiedades mecánicas*. Quito, Ecuador: Tesis EPN.
- 17) Baillie, C. (2004). *Green Composites. Polymer Composites and the Environment*. Estados Unidos: Woodhead Publishing Limited.
- 18) Claude, L. (2000). *Fats and oils*, [En línea]. Disponible en: <http://www.cyberlipid.org/index.htm> [Accesado el día 7 de noviembre del 2013].

- 19) Mariano. (2011). *Tecnología de los plásticos: Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado*, [En línea]. Disponible en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resina-epoxi.html> [Accesado el día 7 de noviembre del 2013].
- 20) Balam, R. J. et al. (2006). “Revista mexicana de ingeniería química” Vol. 5, Supl. 1 (2006) 39-44 Unidad de Materiales, Centro de Investigación Científica de Yucatán. [En línea]. México, disponible en: <http://www.rmiq.org/new%20page/Pdfs/Vol.%205,%20Supl.%201/8.pdf> [Accesado el día 8 de noviembre del 2013].
- 21) Horrocks, A.R. y S.C. Anand. (2000). *Handbook of Technical Textiles/Woodhead Publishing*.
- 22) Suárez, R. y Bravo, A. (2009). *Obtención De Subproductos A Partir DE Desechos De Piña.Universidad del Papaloapan*.
- 23) Amigó, V., Salvador, M., Sahuquillo, O., Llorens, R., y F. Martí. (2012). *Valorización de residuos de fibras vegetales como refuerzo de plásticos industriales*. España: Instituto de Tecnología de Materiales, Universidad Politécnica de Valencia.
- 24) Sanjay, K. (2002). *Composites manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering*. Estados Unidos: CRC Press.
- 25) Hoa, S. (2009). *Principles of the manufacturing of composite materials*. Estados Unidos: DEStech Publications.
- 26) Donald, R. (1998). *Ciencia e Ingeniería de los materiales*. Tercera edición. Universidad de Missouri—Rolla.

# ANEXOS

## EPOXY SYSTEM 120

Boletín Técnico



Sistema epóxico, Resina-Endurecedor, multipropósito. Formulado de baja viscosidad, alta resistencia mecánica, y excelente compatibilidad con la fibra de carbono y otros tipos de cargas, baja contracción y alta estabilidad dimensional.

### Propiedades

	Resina	Endurecedor
Apariencia	Cristalina translúcida	Ambar translúcido
Viscosidad a 25°C (mPas)	1375 –1625 m Pas	370 –470 m Pas
Densidad a 25°C (g/cm <sup>3</sup> )	1.1 – 1.15 gr/cm <sup>3</sup>	1.0 - 1.05 gr/cm <sup>3</sup>

Por su viscosidad es fácil de manipular, posee agentes químicos que mejoran notoriamente la humectación de fibras de carbono, aramida y vidrio.

Ofrece excelentes propiedades mecánicas, mínimo encogimiento y alta estabilidad dimensional

Las mejores propiedades se logran a los siete (7) días después de curada la mezcla a temperatura ambiente

### Aplicaciones

Relleno de moldes de embutición, cerámica, metalmecánica, fundición, fabricación de placas modelo, moldes, prototipos y herramientas auxiliares.



## Catalización

A cada 100 gr. de Resina, se deben agregar 20 gr de endurecedor y mezclarse los dos componentes homogéneamente antes de laminar tejidos.

<b>Proporción de la mezcla:</b>	100 partes en peso de Resina 20 partes en peso de Endurecedor
<b>Tiempo de vida útil para 500gr. de mezcla a 25°C (tiempo de gel)</b>	20 – 30 minutos
<b>Resistencia a la compresión después de curado</b>	8.740 Psi
<b>Tiempo de curado</b>	Después de 24 Horas
<b>Viscosidad a 25°C</b>	1200 – 1400 m Pas

Cuando se apliquen varias capas de la mezcla, se debe esperar la capa inicial o inmediatamente anterior esté al tacto para aplicar la siguiente. Además, para desmoldar la pieza debe esperarse un tiempo mínimo de 24 horas a temperatura ambiente para evitar contracciones o modificaciones dimensionales en la pieza

## Recomendaciones

Aplicar la resina en un lugar fresco, seco y con circulación de aire. Recuerde siempre usar tapa bocas, guantes, gafas y el equipo de protección necesario según el proceso que se desarrolle.

**Almacenamiento:** Tanto la resina como el Endurecedor deben ser almacenados en lugares secos a temperatura entre 18° C y 25°C en sus envases originales y bien sellados.

# EPOXY SYSTEM 120

## Boletín Técnico



Una vez abierto el recipiente, los productos deben ser usados en su totalidad en el menor tiempo posible debido a que factores externos como la humedad puede alterar el producto

La vida de almacenamiento en sus envases originales es de un año.



Las resinas epóxicas y sus endurecedores son productos químicos y por lo tanto deben seguirse las precauciones de manejo indicadas por el fabricante. Se recomienda almacenar ambos componentes en envases y lugares.



Es corrosivo, evite inhalar sus vapores y el contacto directo con la piel, puede causar irritaciones severas

Mantenga el recipiente cerrado mientras no lo esté usando y durante el transporte.

Después de manipular el producto, enjuáguese las manos con abundante agua

En caso de presentar contacto directo con la resina, siga los siguientes pasos de Primeros auxilios y si los síntomas persisten consulte a su médico:

**Ojos:** Lávese inmediatamente con agua por un tiempo no menor a 15 minutos. Acuda inmediatamente al médico.

**Piel:** Lávese inmediatamente y en forma abundante con agua y jabón.

**Inhalación:** Salga inmediatamente a un sitio donde haya aire fresco. Suministre oxígeno si hay dificultad respiratoria.

**Ingestión:** Si la persona está consciente, suministre abundante agua. Acuda inmediatamente al médico.

# EPOXY SYSTEM 120

## Boletín Técnico



### Limitaciones de responsabilidad

Los datos e información presente en esta publicación fueron obtenidos del análisis controlado de muestras consideradas representativas respecto a las propiedades del producto. La completa relevancia de estos datos o información pudiese sufrir pequeñas variaciones dependiendo el lote de fabricación o la técnica empleada para el ensayo o la manipulación previa del producto a ser usado. De este modo, Composites Company S.A.S. no da garantías de tipo alguno exceptuando las que se ajustan a las condiciones estándar del producto.



Designation: D638 – 10

## Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

### 1. Scope\*

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method can be used for testing materials of any thickness up to 14 mm (0.55 in.). However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness, Test Methods D882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm (0.55 in.) must be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

NOTE 1—This test method and ISO 527-1 are technically equivalent.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D229 and Test Method D651.

NOTE 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus  $>20$ -GPa ( $>3.0 \times 10^5$ -psi) fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D3039/D3039M.

1.4 Test data obtained by this test method are relevant and appropriate for use in engineering design.

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

1.6 *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>

D229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation

D412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D651 Test Method for Test for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials (Withdrawn 1989)<sup>3</sup>

D882 Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheet

D883 Terminology Relating to Plastics

D1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials

D3039/D3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials (PA)

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to

<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 May 15, 2010. Published June 2010. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2008 as D638-08. DOI: 10.1520/D0638-10.

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

<sup>3</sup> The last approved version of this historical standard is referenced on [www.astm.org](http://www.astm.org).

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



Determine the Precision of a Test Method  
2.2 ISO Standard:<sup>4</sup>  
ISO 527-1 Determination of Tensile Properties

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D883 and Annex A2.

### 4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development. For many materials, there may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.2 Tensile properties may vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.2.1 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, the greatest care must be exercised to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care must be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.3 Tensile properties may provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

**Note 5**—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term “elastic modulus” in its quoted, generally accepted definition to describe the “stiffness” or “rigidity” of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its

arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

### 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used extreme care should be taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm (0.09 in.) apart and about 1.6 mm (0.06 in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. The serrations should be kept clean and sharp. Breaking in the grips may occur at times, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used; other techniques must be used in these cases. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic, or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

5.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member, with this velocity to be regulated as specified in Section 8.

5.1.5 *Load Indicator*—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the

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

test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free of inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of  $\pm 1\%$  of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E4.

**NOTE 6**—Experience has shown that many testing machines now in use are incapable of maintaining accuracy for as long as the periods between inspection recommended in Practices E4. Hence, it is recommended that each machine be studied individually and verified as often as may be found necessary. It frequently will be necessary to perform this function daily.

5.1.6 The fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total elastic longitudinal strain of the system constituted by these parts does not exceed 1% of the total longitudinal strain between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the rated capacity of the machine.

5.1.7 *Crosshead Extension Indicator*—A suitable extension indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips, that is, crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing and shall indicate the crosshead movement with an accuracy of  $\pm 10\%$  of the indicated value.

5.2 *Extension Indicator (extensometer)*—A suitable instrument shall be used for determining the distance between two designated points within the gage length of the test specimen as the specimen is stretched. For referee purposes, the extensometer must be set at the full gage length of the specimen, as shown in Fig. 1. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance, or any change in it, as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia at the specified speed of testing. Extensometers shall be classified and their calibration periodically verified in accordance with Practice E83.

5.2.1 *Modulus-of-Elasticity Measurements*—For modulus-of-elasticity measurements, an extensometer with a maximum strain error of 0.0002 mm/mm (in./in.) that automatically and continuously records shall be used. An extensometer classified by Practice E83 as fulfilling the requirements of a B-2 classification within the range of use for modulus measurements meets this requirement.

5.2.2 *Low-Extension Measurements*—For elongation-at-yield and low-extension measurements (nominally 20% or less), the same above extensometer, attenuated to 20% extension, may be used. In any case, the extensometer system must meet at least Class C (Practice E83) requirements, which include a fixed strain error of 0.001 strain or  $\pm 1.0\%$  of the indicated strain, whichever is greater.

5.2.3 *High-Extension Measurements*—For making measurements at elongations greater than 20%, measuring techniques with error no greater than  $\pm 10\%$  of the measured value are acceptable.

5.3 *Micrometers*—Apparatus for measuring the width and thickness of the test specimen shall comply with the requirements of Test Method D5947.

## 6. Test Specimens

### 6.1 Sheet, Plate, and Molded Plastics:

6.1.1 *Rigid and Semirigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type I specimen is the preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 7 mm (0.28 in.) or less is available. The Type II specimen may be used when a material does not break in the narrow section with the preferred Type I specimen. The Type V specimen shall be used where only limited material having a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less is available for evaluation, or where a large number of specimens are to be exposed in a limited space (thermal and environmental stability tests, etc.). The Type IV specimen should be used when direct comparisons are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and semirigid). The Type III specimen must be used for all materials with a thickness of greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.2 *Nonrigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type IV specimen shall be used for testing nonrigid plastics with a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less. The Type III specimen must be used for all materials with a thickness greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.3 *Reinforced Composites*—The test specimen for reinforced composites, including highly orthotropic laminates, shall conform to the dimensions of the Type I specimen shown in Fig. 1.

6.1.4 *Preparation*—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form. Materials thicker than 14 mm (0.55 in.) must be machined to 14 mm (0.55 in.) for use as Type III specimens. Specimens can also be prepared by molding the material to be tested.

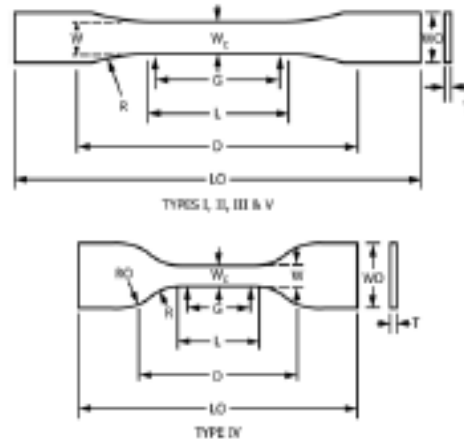
**NOTE 7**—Test results have shown that for some materials such as glass cloth, SMC, and BMC laminates, other specimen types should be considered to ensure breakage within the gage length of the specimen, as mandated by 7.3.

**NOTE 8**—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, care must be exercised in cutting the specimens parallel to the reinforcement. The reinforcement will be significantly weakened by cutting on a bias, resulting in lower laminate properties, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

**NOTE 9**—Specimens prepared by injection molding may have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrow sections.

6.2 *Rigid Tubes*—The test specimen for rigid tubes shall be as shown in Fig. 2. The length,  $L$ , shall be as shown in the table in Fig. 2. A groove shall be machined around the outside of the specimen at the center of its length so that the wall section after machining shall be 60% of the original nominal wall thickness. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter. Steel or brass plugs having

ASTM D638 - 10



Specimen Dimensions for Thickness,  $T$ , mm (in.)<sup>a</sup>

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV <sup>b</sup>	Type V <sup>c,d</sup>	
$W$ —Width of narrow section <sup>e,f</sup>	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	$\pm 0.5$ ( $\pm 0.02$ ) <sup>g</sup>
$L$ —Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	$\pm 0.5$ ( $\pm 0.02$ ) <sup>g</sup>
$W_0$ —Width overall, min <sup>h</sup>	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	—	+ 6.4 (+ 0.25)
$W_0$ —Width overall, min <sup>i</sup>	—	—	—	—	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
$L_0$ —Length overall, min <sup>h</sup>	165 (6.5)	163 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
$G$ —Gage length <sup>f</sup>	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	—	7.62 (0.300)	$\pm 0.25$ ( $\pm 0.010$ ) <sup>g</sup>
$G$ —Gage length <sup>f</sup>	—	—	—	25 (1.00)	—	$\pm 0.13$ ( $\pm 0.005$ )
$D$ —Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5)	25.4 (1.0)	$\pm 5$ ( $\pm 0.2$ )
$R$ —Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	$\pm 1$ ( $\pm 0.04$ ) <sup>g</sup>
$RO$ —Outer radius (Type IV)	—	—	—	25 (1.00)	—	$\pm 1$ ( $\pm 0.04$ )

<sup>a</sup> Thickness,  $T$ , shall be  $3.2 \pm 0.4$  mm ( $0.13 \pm 0.02$  in.) for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness,  $T$ , may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm (0.55 in.) the specimens shall be machined to  $14 \pm 0.4$  mm ( $0.55 \pm 0.02$  in.) in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm (0.55 and 2 in.) approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm (0.55 in.) shall be those standard for the grade of material tested.

<sup>b</sup> For the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be  $6.00 \pm 0.05$  mm ( $0.250 \pm 0.002$  in.). The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D412.

<sup>c</sup> The Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:  
 $W = 3.18 \pm 0.03$  mm ( $0.125 \pm 0.001$  in.),  
 $L = 9.53 \pm 0.08$  mm ( $0.375 \pm 0.003$  in.),  
 $G = 7.62 \pm 0.02$  mm ( $0.300 \pm 0.001$  in.), and  
 $R = 12.7 \pm 0.08$  mm ( $0.500 \pm 0.003$  in.).  
 The other tolerances are those in the table.

<sup>d</sup> Supporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR-020-1008.

<sup>e</sup> The width at the center  $W_c$  shall be  $+0.00$  mm,  $-0.10$  mm ( $+0.000$  in.,  $-0.004$  in.) compared with width  $W$  at other parts of the reduced section. Any reduction in  $W$  at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

<sup>f</sup> For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:

<sup>g</sup> Overall widths greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

<sup>h</sup> Overall lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

<sup>i</sup> Test marks or initial extensometer apertures.

<sup>j</sup> When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

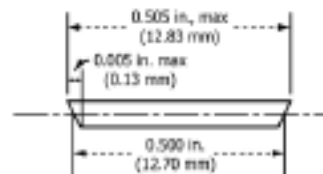
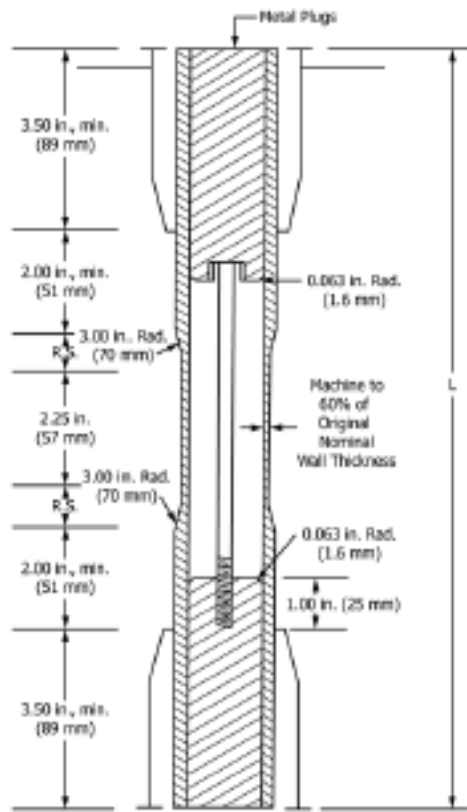


FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics

diameters such that they will fit snugly inside the tube and having a length equal to the full jaw length plus 25 mm (1 in.)

shall be placed in the ends of the specimens to prevent crushing. They can be located conveniently in the tube by



DIMENSIONS OF TUBE SPECIMENS

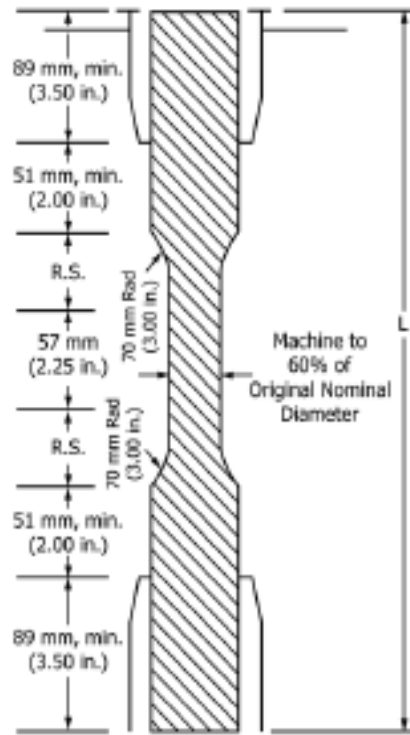
Nominal Wall Thickness	Length of Radial Sections, 2R.S. <sup>a</sup>	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, L, of Specimen to Be Used for 89-mm (3.5-in.) Jaws <sup>a</sup>
mm [in.]			
0.79 (1/16)	13.9 (0.547)	350 (13.80)	381 (15)
1.2 (1/8)	17.0 (0.670)	354 (13.92)	381 (15)
1.6 (1/4)	19.6 (0.773)	358 (14.09)	381 (15)
2.4 (3/8)	24.0 (0.940)	361 (14.20)	381 (15)
3.2 (1/2)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
4.8 (3/4)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
6.4 (1)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
7.9 (5/8)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
9.5 (3/4)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
11.1 (7/8)	51.3 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
12.7 (1/2)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)

<sup>a</sup> For other jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 2 Diagram Showing Location of Tube Tension Test Specimens in Testing Machine

separating and supporting them on a threaded metal rod. Details of plugs and test assembly are shown in Fig. 2.

6.3 Rigid Rods—The test specimen for rigid rods shall be as shown in Fig. 3. The length, L, shall be as shown in the table



DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diameter	Length of Radial Sections, 2R.S. <sup>a</sup>	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, L, of Specimen to Be Used for 89-mm (3.5-in.) Jaws <sup>a</sup>
mm [in.]			
3.2 (1/8)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
4.7 (1/4)	24.0 (0.940)	361 (14.20)	381 (15)
6.4 (1/2)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
9.5 (3/4)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
12.7 (1/2)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
15.9 (5/8)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
19.0 (3/4)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
22.2 (7/8)	51.3 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
25.4 (1)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)
31.8 (1 1/4)	60.9 (2.398)	398 (15.65)	419 (16.5)
38.1 (1 1/2)	66.4 (2.615)	403 (15.87)	419 (16.5)
42.5 (1 3/4)	71.4 (2.812)	408 (16.06)	419 (16.5)
50.8 (2)	76.0 (2.992)	412 (16.24)	432 (17)

<sup>a</sup> For other jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 3 Diagram Showing Location of Rod Tension Test Specimen in Testing Machine



in Fig. 3. A groove shall be machined around the specimen at the center of its length so that the diameter of the machined portion shall be 60 % of the original nominal diameter. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter.

6.4 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.

6.5 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gage marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

6.6 When testing materials that are suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared, having their long axes respectively parallel with, and normal to, the suspected direction of anisotropy.

**7. Number of Test Specimens**

7.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.

7.2 Test ten specimens, five normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy, for each sample in the case of anisotropic materials.

7.3 Discard specimens that break at some flaw, or that break outside of the narrow cross-sectional test section (Fig. 1, dimension "L"), and make retests, unless such flaws constitute a variable to be studied.

*Note:* 10—Before testing, all transparent specimens should be inspected in a polariscope. Those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected, unless the effects of these residual strains constitute a variable to be studied.

**8. Speed of Testing**

8.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. The rate of motion of the driven grip or fixture when the testing machine is running idle may be used, if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

8.2 Choose the speed of testing from Table 1. Determine this chosen speed of testing by the specification for the material being tested, or by agreement between those concerned. When the speed is not specified, use the lowest speed shown in Table 1 for the specimen geometry being used, which gives rupture within ½ to 5-min testing time.

8.3 Modulus determinations may be made at the speed selected for the other tensile properties when the recorder response and resolution are adequate.

TABLE 1 Designations for Speed of Testing<sup>a</sup>

Classification <sup>b</sup>	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Nominal Strain <sup>c</sup> Rate at Start of Test, mm/mm-min (in./in.-min)
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
	IV	500 (20) ± 10 %	10
		5 (0.2) ± 25 %	0.15
	V	50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
Nonrigid	III	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
		100 (5) ± 25 %	10
	IV	50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15

<sup>a</sup> Select the lowest speed that produces rupture in ½ to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).  
<sup>b</sup> See Terminology D683 for definitions.  
<sup>c</sup> The initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the fillets. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

**9. Conditioning**

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Conditioning time is specified as a minimum. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618 unless specified differently by contract or material specification.

9.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification.

**10. Procedure**

10.1 Measure the width and thickness of each specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) using the applicable test methods in D5947.

TABLE 2 Modulus, 10<sup>8</sup> psi, for Eight Laboratories, Five Materials

	Mean	S <sub>x</sub>	S <sub>y</sub>	l	l <sub>v</sub>
Polypropylene	0.210	0.0089	0.071	0.025	0.201
Cellulose acetate butyrate	0.246	0.0179	0.035	0.051	0.144
Acrylic	0.481	0.0179	0.063	0.051	0.144
Glass-reinforced nylon	1.17	0.0537	0.217	0.152	0.614
Glass-reinforced polyester	1.39	0.0694	0.266	0.253	0.753

10.1.1 Measure the width and thickness of flat specimens at the center of each specimen and within 5 mm of each end of the gage length.

10.1.2 Injection molded specimen dimensions may be determined by actual measurement of only one specimen from each sample when it has previously been demonstrated that the specimen-to-specimen variation in width and thickness is less than 1 %.

10.1.3 Take the width of specimens produced by a Type IV die as the distance between the cutting edges of the die in the narrow section.

10.1.4 Measure the diameter of rod specimens, and the inside and outside diameters of tube specimens, to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at a minimum of two points 90° apart; make these measurements along the groove for specimens so constructed. Use plugs in testing tube specimens, as shown in Fig. 2.

10.2 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. On tube and rod specimens, the location for the grips shall be as shown in Fig. 2 and Fig. 3. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test, but not to the point where the specimen would be crushed.

10.3 Attach the extension indicator. When modulus is being determined, a Class B-2 or better extensometer is required (see 5.2.1).

**NOTE 11**—Modulus of materials is determined from the slope of the linear portion of the stress-strain curve. For most plastics, this linear portion is very small, occurs very rapidly, and must be recorded automatically. The change in jaw separation is never to be used for calculating modulus or elongation.

10.4 Set the speed of testing at the proper rate as required in Section 8, and start the machine.

10.5 Record the load-extension curve of the specimen.

10.6 Record the load and extension at the yield point (if one exists) and the load and extension at the moment of rupture.

**NOTE 12**—If it is desired to measure both modulus and failure properties (yield or break, or both), it may be necessary, in the case of highly extensible materials, to run two independent tests. The high magnification extensometer normally used to determine properties up to the yield point may not be suitable for tests involving high extensibility. If allowed to remain attached to the specimen, the extensometer could be permanently damaged. A broad-range incremental extensometer or hand-rule technique may be needed when such materials are taken to rupture.

## II. Calculation

11.1 Toe compensation shall be made in accordance with Annex A1, unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the take-up of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

11.2 **Tensile Strength**—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load in newtons (pounds-force) by the average original cross-sectional area in the gage length segment of the specimen in square metres (square inches). Express the result in pascals (pounds-force per square inch) and report it to three significant figures as tensile strength at yield or tensile strength at break, whichever term is applicable. When a nominal yield or break load less than the maximum is present and applicable, it may be desirable also to calculate, in a

similar manner, the corresponding tensile stress at yield or tensile stress at break and report it to three significant figures (see Note A2.8).

11.3 Elongation values are valid and are reported in cases where uniformity of deformation within the specimen gage length is present. Elongation values are quantitatively relevant and appropriate for engineering design. When non-uniform deformation (such as necking) occurs within the specimen gage length nominal strain values are reported. Nominal strain values are of qualitative utility only.

11.3.1 **Percent Elongation**—Percent elongation is the change in gage length relative to the original specimen gage length, expressed as a percent. Percent elongation is calculated using the apparatus described in 5.2.

11.3.1.1 **Percent Elongation at Yield**—Calculate the percent elongation at yield by reading the extension (change in gage length) at the yield point. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.1.2 **Percent Elongation at Break**—Calculate the percent elongation at break by reading the extension (change in gage length) at the point of specimen rupture. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.2 **Nominal Strain**—Nominal strain is the change in grip separation relative to the original grip separation expressed as a percent. Nominal strain is calculated using the apparatus described in 5.1.7.

11.3.2.1 **Nominal strain at break**—Calculate the nominal strain at break by reading the extension (change in grip separation) at the point of rupture. Divide that extension by the original grip separation and multiply by 100.

11.4 **Modulus of Elasticity**—Calculate the modulus of elasticity by extending the initial linear portion of the load-extension curve and dividing the difference in stress corresponding to any segment of section on this straight line by the corresponding difference in strain. All elastic modulus values shall be computed using the average original cross-sectional area in the gage length segment of the specimen in the calculations. The result shall be expressed in pascals (pounds-force per square inch) and reported to three significant figures.

11.5 **Secant Modulus**—At a designated strain, this shall be calculated by dividing the corresponding stress (nominal) by the designated strain. Elastic modulus values are preferable and shall be calculated whenever possible. However, for materials where no proportionality is evident, the secant value shall be calculated. Draw the tangent as directed in A1.3 and Fig. A1.2, and mark off the designated strain from the yield point where the tangent line goes through zero stress. The stress to be used in the calculation is then determined by dividing the load-extension curve by the original average cross-sectional area of the specimen.

11.6 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all values obtained and report it as the “average value” for the particular property in question.

11.7 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n-1)} \quad (1)$$

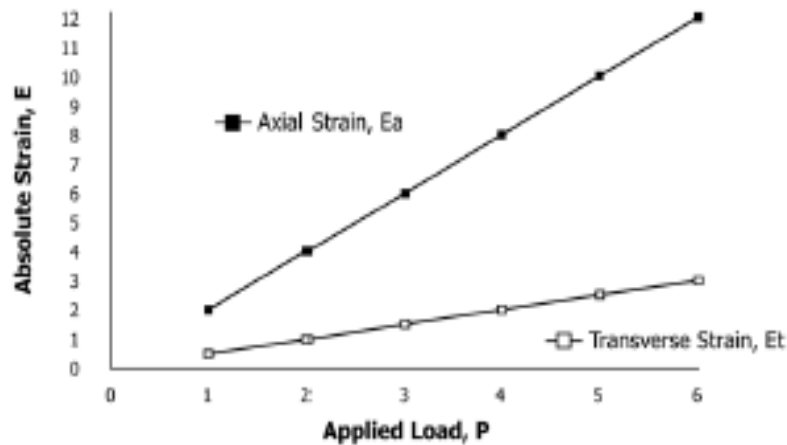


FIG. 4 Plot of Strains Versus Load for Determination of Poisson's Ratio

where:

- $s$  = estimated standard deviation,
- $X$  = value of single observation,
- $n$  = number of observations, and
- $\bar{X}$  = arithmetic mean of the set of observations.

11.8 See Annex A1 for information on toe compensation.

## 12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Classification of extensometers used. A description of measuring technique and calculations employed instead of a minimum Class-C extensometer system,

12.1.9 Tensile strength at yield or break, average value, and standard deviation,

12.1.10 Tensile stress at yield or break, if applicable, average value, and standard deviation,

12.1.11 Percent elongation at yield, or break, or nominal strain at break, or all three, as applicable, average value, and standard deviation,

12.1.12 Modulus of elasticity or secant modulus, average value, and standard deviation,

12.1.13 If measured, Poisson's ratio, average value, standard deviation, and statement of whether there was proportionality within the strain range,

12.1.14 Date of test, and

12.1.15 Revision date of Test Method D638.

## 13. Precision and Bias<sup>5</sup>

13.1 *Precision*—Tables 2-4 are based on a round-robin test conducted in 1984, involving five materials tested by eight laboratories using the Type I specimen, all of nominal 0.125-in. thickness. Each test result was based on five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

13.1.1 Tables 5-10 are based on a round-robin test conducted by the polyolefin subcommittee in 1988, involving eight polyethylene materials tested in ten laboratories. For each material, all samples were molded at one source, but the individual specimens were prepared at the laboratories that tested them. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained three test results for each material. Data from some laboratories could not be used for various reasons, and this is noted in each table.

13.1.2 Table 11 is based on a repeatability study involving a single laboratory. The two materials used were unfilled polypropylene types. Measurements were performed by a single technician on a single day. Each test result is an individual determination. Testing was run using two Type B-1 extensometers for transverse and axial measurements at a test speed of 5 mm/min.

13.1.3 In Tables 2-11, for the materials indicated, and for test results that derived from testing five specimens:

TABLE 3 Tensile Strength at Break, 10<sup>3</sup> psi, for Eight Laboratories, Five Materials<sup>a</sup>

	Mean	$S_x$	$S_{\bar{x}}$	$L_x$	$L_{\bar{x}}$
Polypropylene	2.97	1.54	1.65	4.37	4.66
Cellulose acetate butyrate	4.82	0.058	0.180	0.164	0.509
Acrylic	9.09	0.452	0.751	1.27	2.13
Glass-reinforced polyester	20.8	0.233	0.437	0.659	1.24
Glass-reinforced nylon	23.6	0.277	0.608	0.784	1.98

<sup>a</sup> Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced propylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

<sup>5</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR-D20-1125 for the 1984 round robin and RR-D20-1170 for the 1988 round robin.

TABLE 4 Elongation at Break, %, for Eight Laboratories, Five Materials<sup>a</sup>

	Mean	$S_w$	$S_B$	$I_w$	$I_B$
Glass-reinforced polyester	3.68	0.20	2.33	0.570	6.59
Glass-reinforced nylon	3.87	0.10	2.13	0.283	6.03
Acrylic	13.2	2.05	3.65	5.80	10.3
Cellulose acetate butyrate	14.1	1.87	6.62	5.29	18.7
Polypropylene	293.0	50.9	119.0	144.0	337.0

<sup>a</sup> Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced polypropylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

TABLE 5 Tensile Yield Strength, for Ten Laboratories, Eight Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	$S_w$	$S_B$	$R$	
LDPE	20	1544	52.4	64.0	146.6	179.3
LDPE	20	1894	53.1	61.2	148.7	171.3
LLDPE	20	1879	74.2	99.9	207.8	279.7
LLDPE	20	1791	49.2	75.8	137.9	212.3
LLDPE	20	2900	55.5	87.9	155.4	246.1
LLDPE	20	1730	63.9	96.0	178.9	268.7
HDPE	2	4101	196.1	371.9	549.1	1041.3
HDPE	2	3523	175.9	478.0	492.4	1338.5

TABLE 6 Tensile Stress at Yield, 10<sup>3</sup> psi, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	$S_w$	$S_B$	$I_w$	$I_B$
Polypropylene	3.63	0.022	0.161	0.062	0.456
Cellulose acetate butyrate	5.01	0.058	0.227	0.164	0.642
Acrylic	10.4	0.067	0.317	0.190	0.897

TABLE 7 Elongation at Yield, %, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	$S_w$	$S_B$	$I_w$	$I_B$
Cellulose acetate butyrate	3.85	0.27	0.62	0.76	1.75
Acrylic	4.89	0.21	0.55	0.59	1.56
Polypropylene	8.79	0.45	5.86	1.27	16.5

TABLE 8 Tensile Yield Elongation, for Eight Laboratories, Eight Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	$S_w$	$S_B$	$R$	
LDPE	20	17.0	1.26	3.16	3.52	8.84
LDPE	20	14.6	1.02	2.38	2.86	6.67
LLDPE	20	15.7	1.37	2.85	3.85	7.97
LLDPE	20	16.6	1.59	3.30	4.46	9.24
LLDPE	20	11.7	1.27	2.88	3.56	8.08
LLDPE	20	15.2	1.27	2.59	3.55	7.25
HDPE	2	9.27	1.40	2.84	3.91	7.94
HDPE	2	9.63	1.23	2.75	3.45	7.71

13.1.3.1  $S_w$  is the within-laboratory standard deviation of the average;  $I_w = 2.83 S_w$ . (See 13.1.3.3 for application of  $I_w$ .)

13.1.3.2  $S_B$  is the between-laboratory standard deviation of the average;  $I_B = 2.83 S_B$ . (See 13.1.3.4 for application of  $I_B$ .)

13.1.3.3 *Repeatability*—In comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the

TABLE 9 Tensile Break Strength, for Nine Laboratories, Six Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	$S_w$	$S_B$	$R$	
LDPE	20	1592	52.3	74.9	146.4	209.7
LDPE	20	1750	66.6	102.9	186.4	288.1
LLDPE	20	4379	127.1	219.0	365.8	613.3
LLDPE	20	2840	78.6	143.5	220.2	401.8
LLDPE	20	1679	34.3	47.0	95.96	131.6
LLDPE	20	2660	119.1	166.3	333.6	465.6

TABLE 10 Tensile Break Elongation, for Nine Laboratories, Six Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	$S_w$	$S_B$	$R$	
LDPE	20	567	31.5	59.5	88.2	166.6
LDPE	20	569	61.5	89.2	172.3	249.7
LLDPE	20	890	25.7	113.8	71.9	318.7
LLDPE	20	64.4	6.68	11.7	18.7	32.6
LLDPE	20	803	25.7	104.4	71.9	292.5
LLDPE	20	782	41.6	96.7	116.6	270.8

TABLE 11 Poisson's Ratio Repeatability Data for One Laboratory and Two Polypropylene Materials

Materials	Values Expressed as a Dimensionless Ratio		
	Average	$S_w$	$r$
PP #1 Chord	0.412	0.009	0.026
PP #1 Laxat	0.413	0.011	0.032
Squares			
PP #2 Chord	0.391	0.008	0.026
PP #2 Laxat	0.392	0.010	0.028
Squares			

same equipment on the same day, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_w$  value for that material and condition.

13.1.3.4 *Reproducibility*—In comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the  $I_B$  value for that material and condition. (This applies between different laboratories or between different equipment within the same laboratory.)

13.1.3.5 Any judgment in accordance with 13.1.3.3 and 13.1.3.4 will have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.1.3.6 Other formulations may give somewhat different results.

13.1.3.7 For further information on the methodology used in this section, see Practice E691.

13.1.3.8 The precision of this test method is very dependent upon the uniformity of specimen preparation, standard practices for which are covered in other documents.

13.2 *Bias*—There are no recognized standards on which to base an estimate of bias for this test method.

## 14. Keywords

14.1 modulus of elasticity; percent elongation; plastics; tensile properties; tensile strength

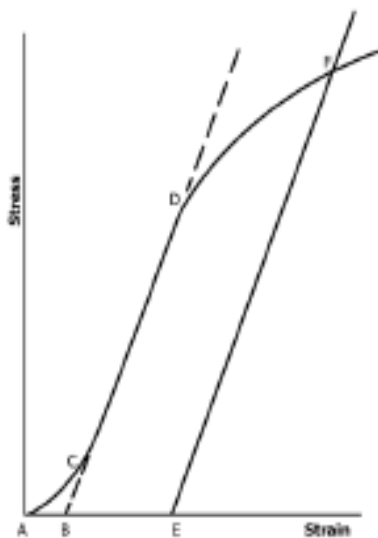
ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a

toe region, *AC*, that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.



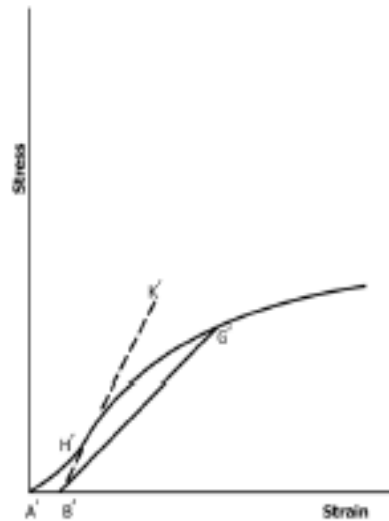
NOTE 1—

Some chart recorders plot the mirror image of this graph.

FIG. A1.1 Material with Hookean Region

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (*CD*) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (*B*) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (*BE*), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line *CD* (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point *B*, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (*H*). This is extended to intersect the strain axis at Point *B'*, the corrected zero-strain point. Using Point *B'* as zero strain, the stress at any point (*G*) on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of Line *B'G*). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.  
 FIG. A1.2 Material with No Hookean Region

A2. DEFINITIONS OF TERMS AND SYMBOLS RELATING TO TENSION TESTING OF PLASTICS

A2.1 *elastic limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any permanent strain remaining upon complete release of the stress. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

NOTE A2.1—Measured values of proportional limit and elastic limit vary greatly with the sensitivity and accuracy of the testing equipment, eccentricity of loading, the scale to which the stress-strain diagram is plotted, and other factors. Consequently, these values are usually replaced by yield strength.

A2.2 *elongation*—the increase in length produced in the gage length of the test specimen by a tensile load. It is expressed in units of length, usually millimetres (inches). (Also known as *extension*.)

NOTE A2.2—Elongation and strain values are valid only in cases where uniformity of specimen behavior within the gage length is present. In the case of materials exhibiting necking phenomena, such values are only of qualitative utility after attainment of yield point. This is due to inability to ensure that necking will encompass the entire length between the gage marks prior to specimen failure.

A2.3 *gage length*—the original length of that portion of the specimen over which strain or change in length is determined.

A2.4 *modulus of elasticity*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch). (Also known as *elastic modulus* or *Young's modulus*.)

NOTE A2.3—The stress-strain relations of many plastics do not conform to Hooke's law throughout the elastic range but deviate therefrom even at stresses well below the elastic limit. For such materials the slope of the tangent to the stress-strain curve at a low stress is usually taken as the

modulus of elasticity. Since the existence of a true proportional limit in plastics is debatable, the propriety of applying the term "modulus of elasticity" to describe the stiffness or rigidity of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are very dependent on such factors as rate of stressing, temperature, previous specimen history, etc. However, such a value is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and other factors are realized.

A2.5 *necking*—the localized reduction in cross section which may occur in a material under tensile stress.

A2.6 *offset yield strength*—the stress at which the strain exceeds by a specified amount (the offset) an extension of the initial proportional portion of the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

NOTE A2.4—This measurement is useful for materials whose stress-strain curve in the yield range is of gradual curvature. The offset yield strength can be derived from a stress-strain curve as follows (Fig. A2.1):

On the strain axis lay off *OM* equal to the specified offset.

Draw *OA* tangent to the initial straight-line portion of the stress-strain curve.

Through *M* draw a line *MN* parallel to *OA* and locate the intersection of *MN* with the stress-strain curve.

The stress at the point of intersection is the "offset yield strength." The specified value of the offset must be stated as a percent of the original gage length in conjunction with the strength value. Example: 0.1 % offset yield strength = ... MPa (psi), or yield strength at 0.1 % offset ... MPa (psi).

A2.7 *percent elongation*—the elongation of a test specimen expressed as a percent of the gage length.

A2.8 *percent elongation at break and yield*:

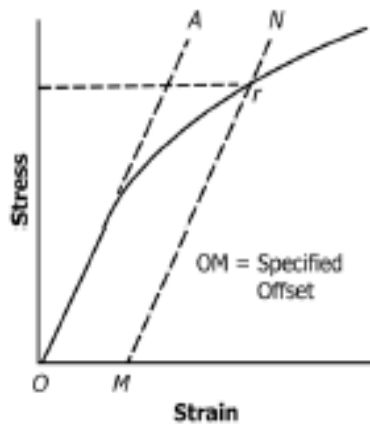


FIG. A2.1 Offset Yield Strength

A2.8.1 *percent elongation at break*—the percent elongation at the moment of rupture of the test specimen.

A2.8.2 *percent elongation at yield*—the percent elongation at the moment the yield point (A2.22) is attained in the test specimen.

A2.9 *percent reduction of area (nominal)*—the difference between the original cross-sectional area measured at the point of rupture after breaking and after all retraction has ceased, expressed as a percent of the original area.

A2.10 *percent reduction of area (true)*—the difference between the original cross-sectional area of the test specimen and the minimum cross-sectional area within the gage boundaries prevailing at the moment of rupture, expressed as a percentage of the original area.

A2.11 *Poisson's Ratio*—The absolute value of the ratio of transverse strain to the corresponding axial strain resulting from uniformly distributed axial stress below the proportional limit of the material.

A2.12 *proportional limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

A2.13 *rate of loading*—the change in tensile load carried by the specimen per unit time. It is expressed in force per unit time, usually newtons (pounds-force) per minute. The initial rate of loading can be calculated from the initial slope of the load versus time diagram.

A2.14 *rate of straining*—the change in tensile strain per unit time. It is expressed either as strain per unit time, usually metres per metre (inches per inch) per minute, or percent elongation per unit time, usually percent elongation per minute. The initial rate of straining can be calculated from the initial slope of the tensile strain versus time diagram.

NOTE A2.5—The initial rate of straining is synonymous with the rate of crosshead movement divided by the initial distance between crossheads

only in a machine with constant rate of crosshead movement and when the specimen has a uniform original cross section, does not "neck down," and does not slip in the jaws.

A2.15 *rate of stressing (nominal)*—the change in tensile stress (nominal) per unit time. It is expressed in force per unit area per unit time, usually megapascals (pounds-force per square inch) per minute. The initial rate of stressing can be calculated from the initial slope of the tensile stress (nominal) versus time diagram.

NOTE A2.6—The initial rate of stressing as determined in this manner has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which the initial stress (nominal) carried by the test specimen is applied. It is affected by the elasticity and flow characteristics of the materials being tested. At the yield point, the rate of stressing (true) may continue to have a positive value if the cross-sectional area is decreasing.

A2.16 *secant modulus*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch), and reported together with the specified stress or strain.

NOTE A2.7—This measurement is usually employed in place of modulus of elasticity in the case of materials whose stress-strain diagram does not demonstrate proportionality of stress to strain.

A2.17 *strain*—the ratio of the elongation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length. It is expressed as a dimensionless ratio.

A2.17.1 *nominal strain at break*—the strain at the moment of rupture relative to the original grip separation.

A2.18 *tensile strength (nominal)*—the maximum tensile stress (nominal) sustained by the specimen during a tension test. When the maximum stress occurs at the yield point (A2.22), it shall be designated tensile strength at yield. When the maximum stress occurs at break, it shall be designated tensile strength at break.

A2.19 *tensile stress (nominal)*—the tensile load per unit area of minimum original cross section, within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

NOTE A2.8—The expression of tensile properties in terms of the minimum original cross section is almost universally used in practice. In the case of materials exhibiting high extensibility or necking, or both (A2.16), nominal stress calculations may not be meaningful beyond the yield point (A2.22) due to the extensive reduction in cross-sectional area that ensues. Under some circumstances it may be desirable to express the tensile properties per unit of minimum prevailing cross section. These properties are called true tensile properties (that is, true tensile stress, etc.).

A2.20 *tensile stress-strain curve*—a diagram in which values of tensile stress are plotted as ordinates against corresponding values of tensile strain as abscissas.

A2.21 *true strain*(see Fig. A2.2) is defined by the following equation for  $\epsilon_T$ :

$$\epsilon_T = \int_{L_0}^L dL/L = \ln L/L_0 \quad (A2.1)$$



FIG. A2.2 Illustration of True Strain Equation

where:

- $dL$  = increment of elongation when the distance between the gage marks is  $L$ ,
- $L_0$  = original distance between gage marks, and
- $L$  = distance between gage marks at any time.

A2.22 *yield point*—the first point on the stress-strain curve at which an increase in strain occurs without an increase in stress (Fig. A2.2).

NOTE A2.9—Only materials whose stress-strain curves exhibit a point of zero slope may be considered as having a yield point.

NOTE A2.10—Some materials exhibit a distinct “break” or discontinuity in the stress-strain curve in the elastic region. This break is not a yield point by definition. However, this point may prove useful for material characterization in some cases.

A2.23 *yield strength*—the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. Unless otherwise specified, this stress will be the stress at the yield point and when expressed in relation to the tensile strength shall be designated either tensile strength at yield or tensile stress at yield as required in A2.18 (Fig. A2.3). (See *offset yield strength*.)

A2.24 *Symbols*—The following symbols may be used for the above terms:

Symbol	Term
$W$	Load
$\Delta W$	Increment of load
$L$	Distance between gage marks at any time
$L_0$	Original distance between gage marks
$L_b$	Distance between gage marks at moment of rupture
$\Delta L$	Increment of distance between gage marks = elongation
$A$	Minimum cross-sectional area at any time
$A_0$	Original cross-sectional area
$\Delta A$	Increment of cross-sectional area
$A_b$	Cross-sectional area at point of rupture measured after breaking specimen
$A_r$	Cross-sectional area at point of rupture, measured at the moment of rupture
$t$	Time
$\Delta t$	Increment of time
$\sigma$	Tensile stress
$\Delta \sigma$	Increment of stress
$\sigma_T$	True tensile stress
$\sigma_U$	Tensile strength at break (nominal)
$\sigma_{UT}$	Tensile strength at break (true)
$\epsilon$	Strain
$\Delta \epsilon$	Increment of strain
$\epsilon_U$	Total strain, at break
$\epsilon_T$	True strain
$\%E$	Percentage elongation
Y.P.	Yield point
$E$	Modulus of elasticity

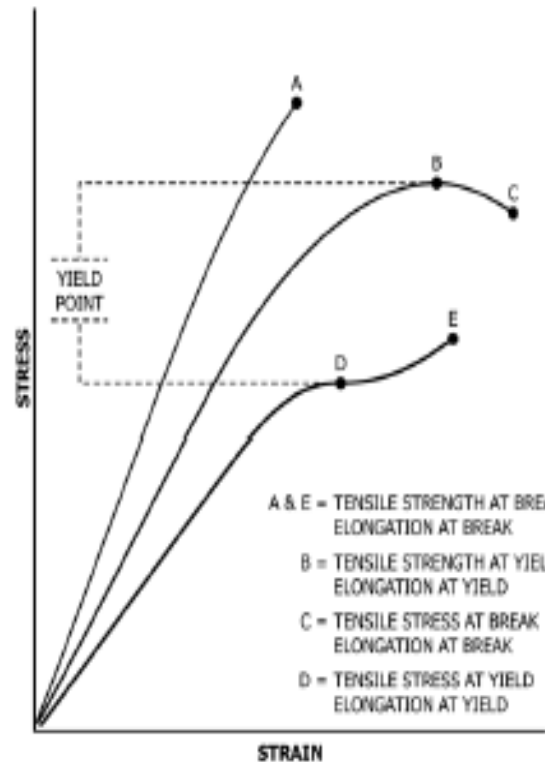


FIG. A2.3 Tensile Designations

- A & E = TENSILE STRENGTH AT BREAK  
ELONGATION AT BREAK
- B = TENSILE STRENGTH AT YIELD  
ELONGATION AT YIELD
- C = TENSILE STRESS AT BREAK  
ELONGATION AT BREAK
- D = TENSILE STRESS AT YIELD  
ELONGATION AT YIELD

A2.25 Relations between these various terms may be defined as follows:

$$\begin{aligned} \sigma &= W/A_0 \\ \sigma_T &= W/A \\ \sigma_U &= W/A_0 \text{ (where } W \text{ is breaking load)} \\ \sigma_{UT} &= W/A_r \text{ (where } W \text{ is breaking load)} \\ \epsilon &= \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0 \\ \epsilon_U &= (L_b - L_0)/L_0 \\ \epsilon_T &= \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln L/L_0 \\ \%E &= [(L_b - L_0)/L_0] \times 100 = \epsilon \times 100 \end{aligned}$$

- Percent reduction of area (nominal) =  $[(A_0 - A_b)/A_0] \times 100$
- Percent reduction of area (true) =  $[(A_0 - A_r)/A_0] \times 100$
- Rate of loading =  $\Delta W/\Delta t$
- Rate of stressing (nominal) =  $\Delta \sigma/\Delta t = (\Delta W)/A_0/\Delta t$
- Rate of straining =  $\Delta \epsilon/\Delta t = (\Delta L/A_0)/\Delta t$

For the case where the volume of the test specimen does not change during the test, the following three relations hold:

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \sigma(1 + \epsilon) = \sigma_U L/L_0 \quad (A2.2) \\ \sigma_{UT} &= \sigma_T(1 + \epsilon_U) = \sigma_U L_b/L_0 \\ A &= A_0/(1 + \epsilon) \end{aligned}$$



### A3. MEASUREMENT OF POISSON'S RATIO

#### A3.1. Scope

A3.1.1 This test method covers the determination of Poisson's ratio obtained from strains resulting from uniaxial stress only.

A3.1.2 Test data obtained by this test method are relevant and appropriate for use in engineering design.

A3.1.3 The values stated in SI units are regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

*Note:* A3.1—This standard is not equivalent to ISO 527-1.

#### A3.2. Referenced Documents

A3.2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D883 Terminology Relating to Plastics

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature

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

E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application

A3.2.2 *ISO Standard:*<sup>4</sup>

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties

#### A3.3. Terminology

A3.3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D883 and Annex A2 of this standard.

#### A3.4. Significance and Use

A3.4.1 When uniaxial tensile force is applied to a solid, the solid stretches in the direction of the applied force (axially), but it also contracts in both dimensions perpendicular to the applied force. If the solid is homogeneous and isotropic, and the material remains elastic under the action of the applied force, the transverse strain bears a constant relationship to the axial strain. This constant, called Poisson's ratio, is defined as the negative ratio of the transverse (negative) to axial strain under uniaxial stress.

A3.4.2 Poisson's ratio is used for the design of structures in which all dimensional changes resulting from the application of force need to be taken into account and in the application of the generalized theory of elasticity to structural analysis.

*Note:* A3.2—The accuracy of the determination of Poisson's ratio is usually limited by the accuracy of the transverse strain measurements because the percentage errors in these measurements are usually greater than in the axial strain measurements. Since a ratio rather than an absolute quantity is measured, it is only necessary to know accurately the relative value of the calibration factors of the extensometers. Also, in general, the value of the applied loads need not be known accurately.

#### A3.5. Apparatus

A3.5.1 Refer to 5.1 and 5.3 of this standard for the requirements of the testing machine and micrometers.

A3.5.2 For measurement of Poisson's Ratio use either a bi-axial extensometer or an axial extensometer in combination with a transverse extensometer. They must be capable of recording axial strain and transverse strain simultaneously. The extensometers shall be capable of measuring the change in strains with an accuracy of 1 % of the relevant value or better.

*Note:* A3.3—Strain gages are used as an alternative method to measure axial and transverse strain; however, proper techniques for mounting strain gages are crucial to obtaining accurate data. Consult strain gauge suppliers for instruction and training in these special techniques.

#### A3.6. Test Specimen

A3.6.1 *Specimen*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type I specimen is the preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 7 mm (0.28 in.) or less is available.

A3.6.2 *Preparation*—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form or be prepared by molding the material into the specimen shape to be tested.

*Note:* A3.4—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, care must be exercised in cutting the specimens parallel to the reinforcement, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

*Note:* A3.5—Specimens prepared by injection molding have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect is more pronounced in specimens with narrow sections.

A3.6.3 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.

A3.6.4 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gauge marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

A3.6.5 When testing materials that are suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared, having their long axes respectively parallel with, and normal to, the suspected direction of anisotropy.

#### A3.7. Number of Test Specimens

A3.7.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.

A3.7.2 Test ten specimens, five normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy, for each sample in the case of anisotropic materials.

### A3.8. Conditioning

A3.8.1 Specimens shall be conditioned and tested in accordance with the requirement shown in Section 9 of this standard.

### A3.9. Procedure

A3.9.1 Measure the width and thickness of each specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) using the applicable test methods in D5947. Follow the guidelines specified in 10.1.1 and 10.1.2 of this standard.

A3.9.2 Poisson's Ratio shall be determined at a speed of 5 mm/min.

A3.9.3 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test, but not to the point where the specimen would be crushed.

A3.9.4 Attach the biaxial extensometer or the axial and transverse extensometer combination to the specimen. The transverse extensometer should be attached to the width of the specimen.

A3.9.5 Apply a small preload (less than 5 N) to the specimen at a crosshead speed of 0.1 mm/min. This preload will eliminate any bending in the specimens.

A3.9.6 Rebalance the extensometers to zero.

A3.9.7 Run the test at 5 mm/min out to a minimum of 0.5 % strain before removing the extensometers, simultaneously recording the strain readings from the extensometers at the same applied force. The precision of the value of Poisson's Ratio will depend on the number of data points of axial and transverse strain taken. It is recommended that the data collection rate for the test be a minimum of 20 points per second (but preferably higher). This is particularly important for materials having a non linear stress to strain curve.

A3.9.8 Make the toe compensation in accordance with Annex A1. Determine the maximum strain (proportional limit) at which the curve is linear. If this strain is greater than 0.25 % the Poisson's Ratio is to be determined anywhere in this linear portion of the curve below the proportional limit. If the material does not exhibit a linear stress to strain relationship the Poisson's Ratio shall be determined within the axial strain range of 0.0005 to 0.0025 mm/mm (0.05 to 0.25 %). If the ratio is determined in this manner it shall be noted in the report that a region of proportionality of stress to strain was not evident.

NOTE A3.6—A suitable method for determination of linearity of the stress to strain curve is by making a series of tangent modulus measurements at different axial strain levels. Values equivalent at each strain level indicate linearity. Values showing a downward trend with increasing strain level indicate non linearity.

### A3.10. Calculation

A3.10.1 *Poisson's Ratio*—The axial strain,  $\epsilon_a$ , indicated by the axial extensometer, and the transverse strain,  $\epsilon_t$ , indicated by the transverse extensometers, are plotted against the applied load,  $P$ , as shown in Fig. 4.

A3.10.1.1 For those materials where there is proportionality of stress to strain and it is possible to determine a modulus of elasticity, a straight line is drawn through each set of points within the load range used for determination of modulus, and the slopes  $d\epsilon_a/dP$  and  $d\epsilon_t/dP$ , of those lines are determined. The use of a least squares method of calculation will reduce errors resulting from drawing lines. Poisson's Ratio,  $|\mu|$ , is then calculated as follows:

$$|\mu| = (d\epsilon_t/dP)/(d\epsilon_a/dP) \quad (A3.1)$$

where:

- $d\epsilon_t$  = change in transverse strain,
- $d\epsilon_a$  = change in axial strain, and
- $dP$  = change in applied load;

$$|\mu| = (d\epsilon_t)/(d\epsilon_a) \quad (A3.2)$$

A3.10.1.2 The errors that are introduced by drawing a straight line through the points are reduced by applying the least squares method.

A3.10.1.3 For those materials where there is no proportionality of stress to strain evident determine the ratio of  $d\epsilon_t/d\epsilon_a$  when  $d\epsilon_a = 0.002$  (based on axial strain range of 0.0005 to 0.0025 mm/mm) and after toe compensation has been made.

$$|\mu| = d\epsilon_t/0.002 \quad (A3.3)$$

### A3.11. Report

A3.11.1 Report the following information:

A3.11.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

A3.11.1.2 Method of preparing test specimens,

A3.11.1.3 Type of test specimen and dimensions,

A3.11.1.4 Conditioning procedure used,

A3.11.1.5 Atmospheric conditions in test room,

A3.11.1.6 Number of specimens tested,

A3.11.1.7 Speed of testing,

A3.11.1.8 Classification of extensometers used. A description of measuring technique and calculations employed,

A3.11.1.9 Poisson's ratio, average value, standard deviation, and statement of whether there was proportionality within the strain range,

A3.11.1.10 Date of test, and

A3.11.1.11 Revision date of Test Method D618.

### A3.12. Precision and Bias

A3.12.1 *Precision*—The repeatability standard deviation has been determined to be the following (see Table A3.1.) An attempt to develop a full precision and bias statement for this test method will be made at a later date. For this reason, data on precision and bias cannot be given. Because this test method does not contain a round-robin based numerical precision and bias statement, it shall not be used as a referee test method in

**TABLE A3.1 Poisson's Ratio Based on One Laboratory**

Material	Extensometer Type	Average	$V_1^2$	$V_2^2$	$r^2$	RP
PP Copolymer	2-point	0.408	0.011		0.031	
PP Copolymer	4-point	0.382	0.010		0.028	
PP Homopolymer with 20 % Glass	2-point	0.428	0.013		0.036	
PP Homopolymer with 20 % Glass	4-point	0.410	0.015		0.042	

<sup>a</sup> $S_1$  = within laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by first pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all the participating laboratories:

$$S_1 = \{[(S_1)^2 + (S_2)^2 + \dots + (S_n)^2] / n\}^{1/2}$$

<sup>b</sup> $S_{11}$  = between-laboratories reproducibility, expressed as standard deviation:  $S_{11} = [S_1^2 + S_2^2]^{1/2}$

<sup>c</sup> $r_1$  = within-laboratory critical interval between two test results =  $2.8 \times S_1$

<sup>d</sup> $r_2$  = between-laboratories critical interval between two test results =  $2.8 \times S_{11}$

case of dispute. Anyone wishing to participate in the development of precision and bias data should contact the Chairman, Subcommittee D20.10 Mechanical Properties, ASTM International, 100 Barr Harbor, West Conshohocken, PA 19428.

### A3.13 Keywords

A3.13.1 axial strain; Poisson's ratio; transverse strain

## SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D638 - 08) that may impact the use of this standard. (May 15, 2010)

(1) Edited conditioning and test condition clauses.

*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 revised 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 C7000, West Conshohocken, PA 19428-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9882 (phone), 610-832-9883 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 750-8400; http://www.copyright.com/*



Designation: D3039/D3039M – 14

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

This standard is issued under the fixed designation D3039/D3039M; 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 approval. 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 U.S. Department of Defense.*

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

- D792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
- D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
- D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials
- D3878 Terminology for Composite Materials
- D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Prop-

erties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
- E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gauges
- E456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- E1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D883 defines terms relating to plastics. Terminology E6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E456 and Practice E177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D3878 shall have precedence over the other standards.

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

3.2.1 *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 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.

<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 Laminas and Laminate Test Methods.

Current edition approved May 15, 2014. Published May 2014. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2008 as D3039 – 08. DOI: 10.1520/D3039\_D3039M-14.

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

3.2.2 *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.

3.2.3 *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.

3.2.4 *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.

3.2.4.1 *Discussion*—Many filamentary composite materials show essentially bilinear behavior during force application, 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 force application and ply delamination.

### 3.3 Symbols:

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

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

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

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

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

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

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

$h$ —coupon thickness.

$L_g$ —extensometer gage length.

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

$n$ —number of coupons per sample population.

$P$ —force carried by test coupon.

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

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

$s_{x,y}$ —standard deviation statistic of a sample population for a given property.

$w$ —coupon width.

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

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

$\delta$ —extensional displacement.

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

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

$\sigma$ —normal stress.

$\nu$ —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 the force. The ultimate strength of the material can be

determined from the maximum force 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 and Calipers*—A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball interface shall be used to measure the specimen thickness when at least one surface is irregular (such as the bag-side of a laminate). A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball interface or with a flat anvil interface shall be

used to measure the specimen thickness when both surfaces are smooth (such as tool surfaces). A micrometer or caliper, 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 dimensions. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 0.0025$  mm [ $\pm 0.0001$  in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 0.025$  mm [ $\pm 0.001$  in.] is adequate for width measurement.

**7.2 Testing Machine**—The testing machine shall be in conformance with Practices E4 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 Force Indicator**—The testing machine force-sensing device shall be capable of indicating the total force 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 force with an accuracy over the force range(s) of interest of within  $\pm 1\%$  of the indicated value. The force range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

*Note 1*—Obtaining precision force data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate force 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 force 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 E1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E1012, 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 ( $B_x$ ) 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 and Eq 2 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. 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 force 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

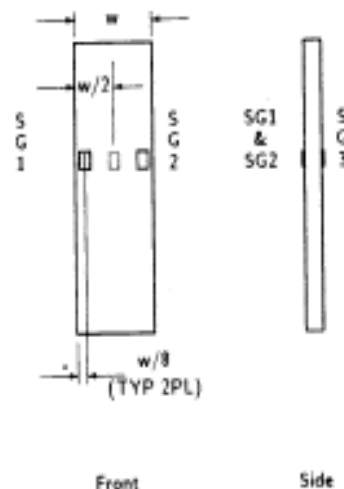


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

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

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

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

**NOTE 3**—Experimental error may be introduced by sources such as poor system alignment, specimen preparation and strain gage precision and calibration. These sources of error may result in an average calculated strain ( $\epsilon_{ave}$ ) of 0, causing  $B_y$  and  $B_z$  (Eq 1 and Eq 2) to approach infinity as the average calculated strain is the denominator. To minimize the potential for this occurrence during system alignment evaluation, it is recommended that force be applied to the alignment coupon until all three strain gages measure positive strain of no less than 500  $\mu\epsilon$  with an  $\epsilon_{ave}$  of no less than 1000  $\mu\epsilon$ . If these conditions can not be met, the test configuration should be adjusted prior to performing further system alignment evaluation.

**7.3 Strain-Indicating Device**—Force-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>3</sup> Gage calibration certification shall comply with Test Methods E251. 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>4</sup>

**7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites** in accordance with Practice E1237 can penetrate the matrix

material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

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

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

**7.3.1.4 Consideration** should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 13.

**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 E83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E83. 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 4**—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/vapor-level-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required relative vapor level to within  $\pm 3\%$ . Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

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

<sup>3</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>4</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.

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 E122 should be consulted. Report the method of sampling.

*NOTE 5*—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 labbed 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 force 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.

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 tolerated 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 force 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 must be able to withstand significant compressive forces. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

<sup>4</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, <sup>b</sup>
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	50 [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 asymmetric	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 as long as the requirements of Table 1 are met.

**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 force 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:

$$L_{\min} = F^{\text{ts}}h/2F^{\text{sa}} \quad (3)$$

where:

- $L_{\min}$  = minimum required bonded tab length, mm [in.];
- $F^{\text{ts}}$  = ultimate tensile strength of coupon material, MPa [psi];
- $h$  = coupon thickness, mm [in.]; and
- $F^{\text{sa}}$  = 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 them from 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 The recommended pre-test condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D5229/D5229M; however, if the test requestor does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, no conditioning is required and the test specimens may be tested as prepared.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the test data.

**NOTE 6**—The term moisture, as used in Test Method D5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.3 If no explicit conditioning process is performed, the specimen conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

## 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 7**—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:

- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M (REF. SUBJECT TO THE FOLLOWING:
  2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

30 DECIMAL	± 0.1	OR	± 0.3
± 0.3	± 1	OR	± 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√R (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
  6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
  7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

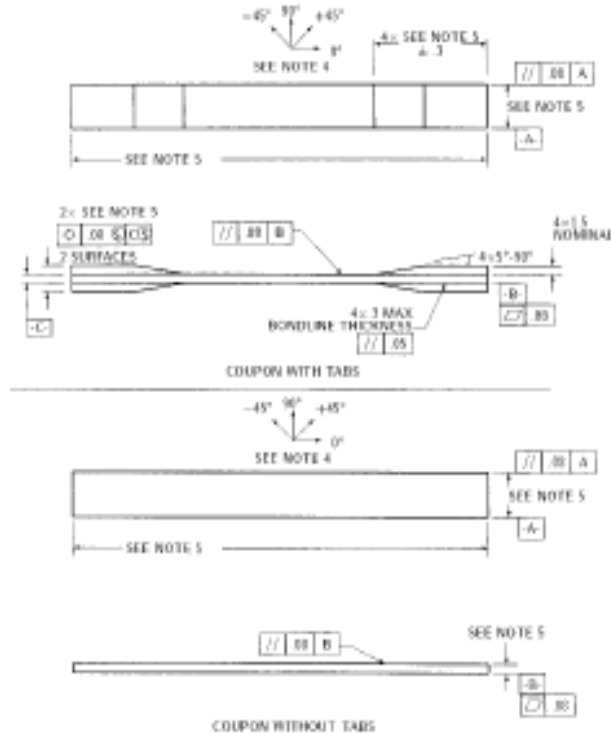


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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 D792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D2584. The void content equations of Test Methods D2734 are applicable to both Test Method D2584 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 force application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

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

11.3.2 Constant Head-Speed Tests—A standard head displacement rate of  $2 \text{ mm/min}$  [ $0.05 \text{ in./min}$ ].

NOTE 8—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.

- 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	±.01	±.001
  3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
  4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO  $\overline{A-A}$  WITHIN ±.5°.
  5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64 $\sqrt{R}$  (SYMBOLICALLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICRONS).
  6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO  $\overline{A-A}$ , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB REVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
  7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

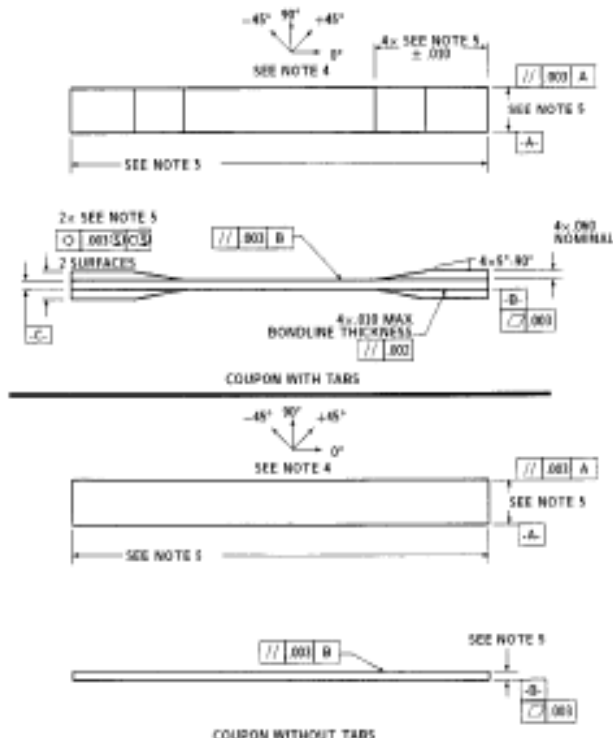


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

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 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. In the case where there is no fluid exposure control, the percentage moisture loss of the specimen prior to test completion may be estimated by placing a conditioned traveler coupon of known weight within the test chamber at the same time as the specimen is placed in the chamber. Upon completion of the test, the traveler coupon is removed from the chamber, weighed, and the percentage weight calculated and reported.

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 9**—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 (grip-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 4, 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 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.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (4)$$

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 force to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record force versus crosshead displacement (and force versus strain, if extensometers are utilized) continuously or at frequent regular intervals. For this test method, a sampling rate of 2 to 3 data recordings per second, and a target minimum of 100 data points per test are recommended. If a transition region or initial ply failures are noted, record the force, strain, and mode of damage at such points. Record the method used to determine the initial failure (visual, acoustic emission, etc.). If the specimen is to be failed, record the maximum force, the failure force, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 10—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes force versus head displacement data and force 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.

## 12. Validation

12.1 Values for ultimate properties shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious flaw, unless such

flaw constitutes a variable being studied. Retests shall be performed for any specimen on which values are not calculated.

12.2 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of force 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.

## 13. Calculation

13.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 5 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 6.

$$F^{tu} = P^{max}/A \quad (5)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (6)$$

where:

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

13.2 *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 7 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (7)$$

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.].

### 13.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 11—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.

13.3.1 *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 8. 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.

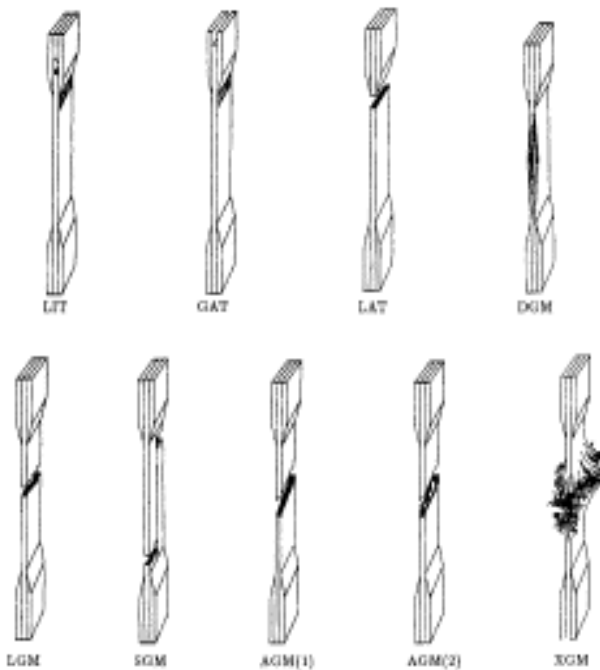
13.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range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

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 curves. For materials that fail below 6000  $\mu\epsilon$ , a strain range of 25 to 50% of ultimate is recommended.



First Character		Second Character		Third Character	
Failure Type	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Angled	A	Inside grip/tab	I	Bottom	B
edge Delamination	D	At grip/tab	A	Top	T
Grip/tab	G	< 1W from grip/tab	W	Left	L
Lateral	L	Gage	G	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Multiple areas	M	Middle	M
long. Splitting	S	Various	V	Various	V
explosive	X	Unknown	U	Unknown	U
Other	O				

FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

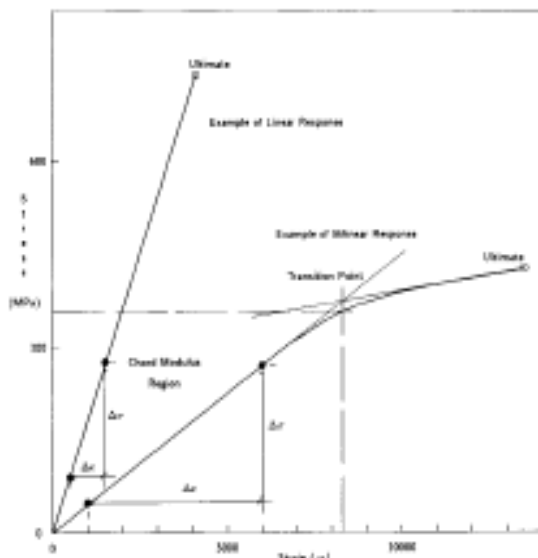


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma/\Delta\varepsilon \quad (8)$$

where:

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

**13.3.2 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, and the results to three significant figures. Test Method E111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

**NOTE 12**—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.

**13.4 Poisson's Ratio:**

**NOTE 13**—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.

**13.4.1 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 force),  $\epsilon_y$ , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied force),  $\epsilon_x$ , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by **Eq 9** and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$v = -\Delta\epsilon_y/\Delta\epsilon_x \quad (9)$$

where:

$v$  = Poisson's ratio;

$\Delta\epsilon_x$  = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of **Table 3**,  $\mu\epsilon$ ; and

$\Delta\epsilon_y$  = difference between the two longitudinal strain points of **Table 3** (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

**13.4.2 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 **E132** provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

**13.5 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**.

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

$$\bar{x} = \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (10)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) / (n-1)} \quad (11)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1} / \bar{x} \quad (12)$$

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.

## 14. Report

**14.1** 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):

**14.1.1** The revision level or date of issue of this test method.

**14.1.2** The date(s) and location(s) of the test.

**14.1.3** The name(s) of the test operator(s).

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

**14.1.5** 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.

**14.1.6** 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.

**14.1.7** Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

**14.1.9** Average ply thickness of the material.

**14.1.10** Results of any nondestructive evaluation tests.

**14.1.11** 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.

**14.1.12** Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

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

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

**14.1.15** Dimensions of each test specimen.

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

**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** Speed of testing.

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

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

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

**14.1.24** Percent bending results for each specimen so evaluated.

**TABLE 4 Precision Statistics**

Material	$\bar{x}$	$s_x$	$S_x$	$S_{xx}$	$S_x/\bar{x}$ %	$S_{xx}/\bar{x}$ %
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.76	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	158.37	3.94	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	0.66	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

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

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

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

14.1.28 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.

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

14.1.30 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.

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

14.1.32 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.

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

14.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

## 15. Precision and Bias<sup>5</sup>

### 15.1 Precision:

15.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test

Method D3039/D3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

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

15.1.3 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).

15.1.4 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 D3039/D3039M. This result suggests that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

15.1.5 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.

15.1.6 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.

15.1.7 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>6</sup> Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E691 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 4 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]-wrap aligned
- G Carbon/epoxy fabric [66108 carbon/Ciba R 6376]

15.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_x/\bar{x}$  and  $S_{xx}/\bar{x}$  represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively.

<sup>5</sup> A research report is available from ASTM International Headquarters. Request RR-D30-1003.

<sup>6</sup> International Harmonization of Composite Materials—Phase I: Harmonization of ASTM D3039/D3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

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

Parameter	Average of $S/J, \%$	Average of $S_e/J_e, \%$
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

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.

15.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

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

## 16. Keywords

16.1 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 Bar 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 610-832-9885 (phone), 610-832-9855 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy this standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).*





Designation: D7264/D7264M - 07

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

This standard is issued under the fixed designation D7264/D7264M; 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 approval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

### 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 D6272, 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>

D790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced

and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D2344/D2344M Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D3878 Terminology for Composite Materials

D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D5687/D5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced "Textile" Composite Materials

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E18 Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials

E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E1434 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 D3878 defines the terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology E6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E456 and Practice E177 define terms relating to statistics.

<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 Laminas and Laminated Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D7264/D7264M - 06. DOI: 10.1520/D7264\_D7264M-07.

<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.

In the event of a conflict between terms, Terminology D3878 shall have precedence over the other documents.

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
- $s_{e,1}$  = sample standard deviation
- $x_i$  = measured or derived property
- $\bar{x}$  = sample mean
- $\delta$  = mid-span deflection of the specimen
- $c$  = 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

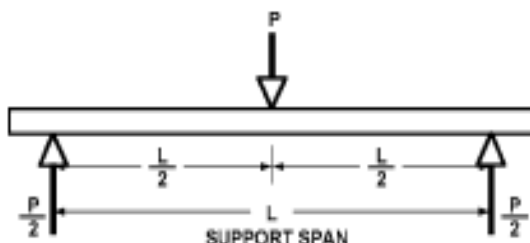


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

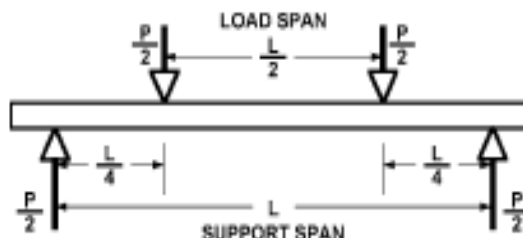


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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 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 D2344/D2344M.

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 D790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D6272 (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 D2344/D2344M.

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

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

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

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended);

such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should be equivalent for all data in the comparison.

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

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

6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

## 7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed  $\pm 1\%$  of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E4.

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 E18, and shall have finely 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 D5229/D5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

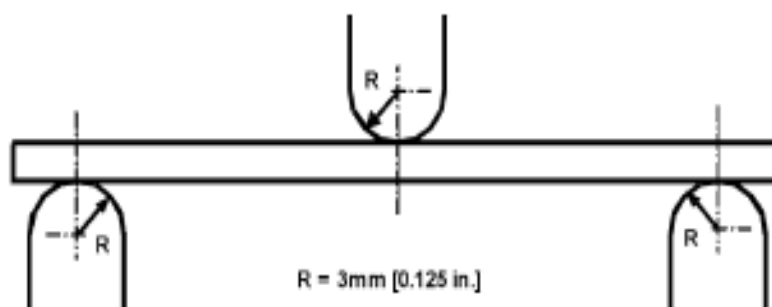
7.6 *Environmental Test Chamber*—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature within  $\pm 3^\circ\text{C}$  [ $\pm 5^\circ\text{F}$ ] and the required vapor level to within  $\pm 5\%$  relative humidity.

## 8. Test Specimens

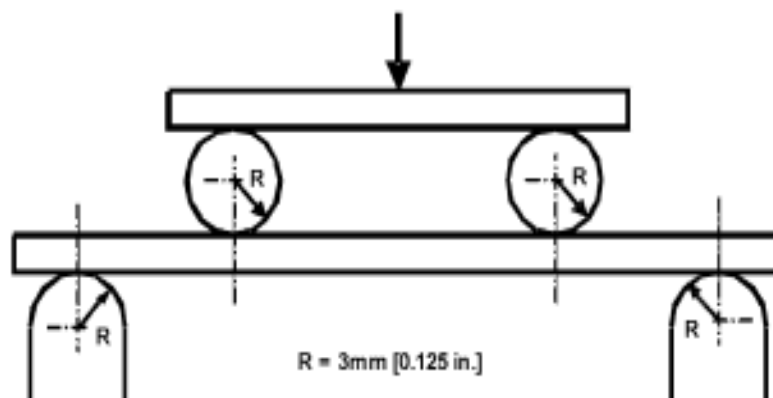
8.1 *Specimen Preparation*—Guide D5687/D5687M provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

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 D6856. 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



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)

flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

**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 E122 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 D5229/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 D5229/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.



Note 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.  
 Note 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



Note 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.  
 Note 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

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 D790 for Procedure A and Test Method D6272 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**

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

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

maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

$\sigma$  = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],

$P$  = applied force, N [lbf],

$L$  = support span, mm [in.],

$b$  = width of beam, mm [in.], and

$h$  = 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:

<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.

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

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

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

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.

#### 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 E1309 and E1434. 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

**ANNEXES**

(Mandatory Information)

**A1. MEASURING AND SETTING SPAN**

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

*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.

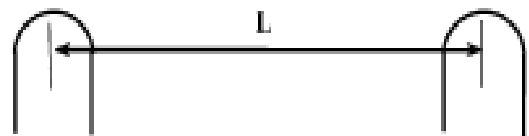


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

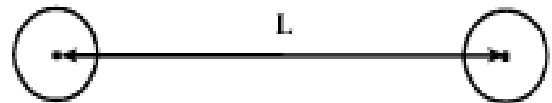


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

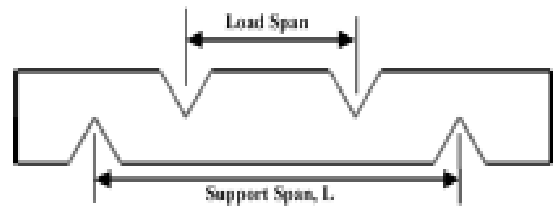


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

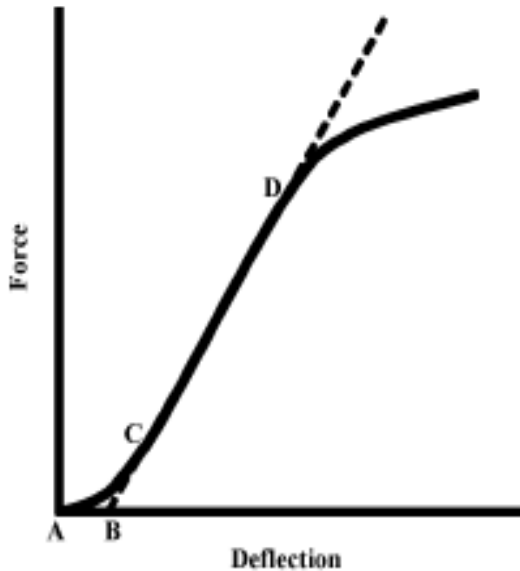


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

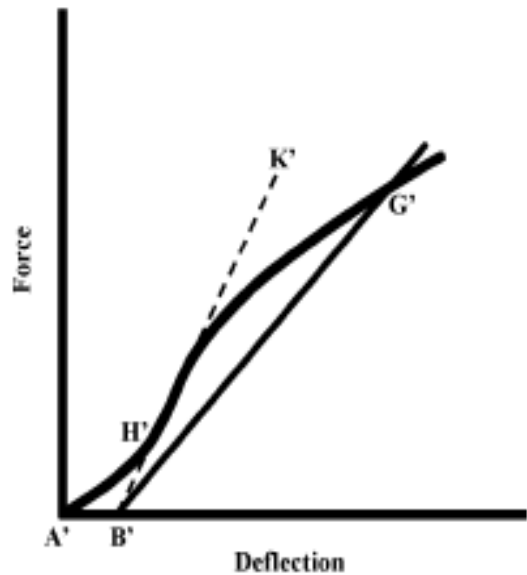


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

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

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either approved 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 19380-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9885 (phone), 610-832-9855 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).*

Anexo 5: Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción – flexión), de los materiales tradicionales para la fabricación de butacas deportivas (polietileno de alta densidad – material compuesto de matriz poliéster + 4 capas de fibra de vidrio).



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES

*Análisis, procesamiento y evaluación de materiales*



### INFORME TÉCNICO

Quito, 6 de abril de 2015

**ORDEN DE TRABAJO: 000002280**

**Trabajo solicitado por:** Sr. Álex Jácome  
Universidad Técnica de Ambato

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos de caracterización mecánica de tres muestras de material compuesto de matriz resina poliéster reforzada con fibra de vidrio y tres muestras de polietileno con pigmento color verde.

#### Caracterización Mecánica

Se ejecutaron los siguientes ensayos de caracterización mecánica según normas ASTM

- Ensayo de tracción en materiales plásticos: ASTM D638-10.
- Ensayo de tracción en materiales compuestos de matriz polimérica: ASTM D3039-14
- Ensayo de flexión en materiales compuestos de matriz polimérica: ASTM D7264-07

#### 1. Ensayo de resistencia a tracción en materiales plásticos según norma ASTM D638-10

##### 1.1. Equipo utilizado

- Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25K-S; capacidad máxima 25 kN; precisión utilizada: 0,1 MPa
- Calibrador de vernier SCALA; precisión: 0,01 mm
- Micrómetro Mitutoyo; precisión: 0,01 mm

##### 1.2. Condiciones del ensayo:

- Al menos 5 especímenes
- Velocidad de ensayo: 50 mm/min
- El extensómetro debe ser colocado con una separación de 50 mm

Por pedido del solicitante solamente se reportan los resultados de tres ensayos.



### 1.3. Resultados

*Probetas de polietileno inyectado con pigmento color verde:* En la tabla 1 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 1. Ensayo de tracción según ASTM D638-10 para muestras de polietileno inyectado.

Probetas de polietileno							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente de elasticidad (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	11,60	5,11	59,28	1420	23,9	2910	123
2	12,00	5,08	60,96	1450	24,0	3030	112
3	11,60	5,04	58,46	1450	25,0	2900	151
Promedio			$\bar{x}$	1440	24,3	2947	128
Desviación estándar			$S_{n-1}$	17	0,6	72	20
Coeficiente de variación			CV	1	2,5	2	15

En la figura 1 se pueden observar las condiciones de las probetas de polietileno después de los ensayos de tracción.



Figura 1. Probetas de polietileno inyectado después de las pruebas de tracción.

## 2. Ensayo de resistencia a tracción en materiales compuestos de matriz polimérica según norma ASTM D3039-14

### 2.1. Equipo utilizado:

- Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25K-S; capacidad máxima 25 kN; precisión utilizada: 0,1 MPa
- Calibrador de vernier SCALA; precisión: 0,01 mm
- Micrómetro Mitutoyo; precisión: 0,01 mm

### 2.2. Condiciones del ensayo:

- Al menos 5 especímenes
- Velocidad de ensayo: 2 mm/min
- Dimensiones de las probetas:  
Longitud: 250 mm  
Ancho: 25 +/- 1% mm  
Espesor 2,5 +/- 4% mm
- El extensómetro debe ser colocado con una separación en el rango de 10 a 50 mm

Por pedido del solicitante solamente se reportan los resultados de tres ensayos.

### 2.3. Resultados

*Probetas de matriz poliéster con refuerzo de fibra de vidrio:* En la tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 2. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras de material compuesto de matriz poliéster con refuerzo de fibra de vidrio.

<i>Probetas de material compuesto con matriz poliéster y refuerzo de fibra de vidrio</i>							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente de elasticidad (MPa)	Deformación a la rotura (%)
1	15,40	5,47	84,24	4150	49,1	9340	0,543
2	15,60	5,61	87,52	5390	61,5	11200	0,558
3	15,50	5,66	87,73	5240	59,7	10900	0,588
		Promedio	$\bar{x}$	4927	56,8	10480	0,563
		Desviación estándar	$S_{n-1}$	677	6,7	999	0,023
		Coficiente de variación	CV	14	11,8	10	4,070

En la figura 2 se pueden observar las condiciones de las probetas de material compuesto con matriz poliéster y refuerzo de fibra de vidrio después de los ensayos de tracción.





Figura 2. Probetas de matriz poliéster con refuerzo de fibra de vidrio después de las pruebas de tracción.

### 3. Ensayo de resistencia a flexión en materiales compuestos de matriz polimérica según norma ASTM D7264-07

#### 3.1. Equipo utilizado

- Máquina universal de ensayos Tinius Olsen H25K-S; capacidad máxima 25 kN; precisión utilizada: 0,1 MPa
- Calibrador de vernier SCALA; precisión: 0,01 mm
- Micrómetro Mitutoyo; precisión: 0,01 mm

#### 3.2. Condiciones del ensayo:

- Método de flexión por tres puntos
- Al menos 5 especímenes
- Velocidad de ensayo: 1 mm/min
- La relación espesor distancia entre apoyos que se considera es 1:16

Por pedido del solicitante solamente se reportan los resultados de tres ensayos.

#### 3.3. Resultados

A. *Probetas de polietileno inyectado*: En la tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

HT



Tabla 3. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras de polietileno inyectado.

Probetas de polietileno inyectado								
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Distancia entre apoyos (mm)	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo tangente de flexión (MPa)	Deformación final (%)
1	13,22	4,93	65,17	78,80	60,83	22,4	553	11,30
2	13,20	4,99	65,87	79,76	56,67	20,7	762	9,37
3	13,30	4,92	65,44	78,72	69,17	25,4	851	10,30
		Promedio	$\bar{x}$		62,22	22,8	722	10,32
		Desviación estándar	$S_{n-1}$		6	2,4	153	0,97
		Coefficiente de variación	CV		10	10,4	21	9,35

En la figura 3 se pueden observar las condiciones de las probetas de polietileno después de los ensayos de flexión.

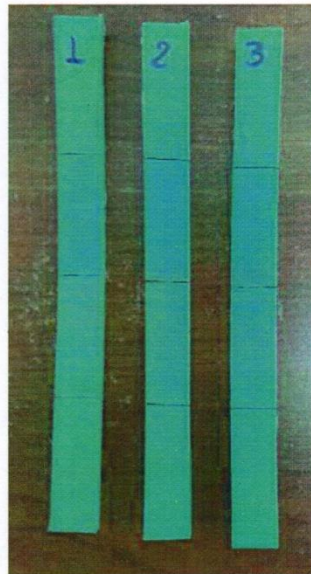


Figura 3. Probetas de polietileno inyectado después de las pruebas de flexión.

B. Probetas de material compuesto con matriz poliéster y refuerzo de fibra de vidrio: En la tabla 4 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.



Tabla 4. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras de material compuesto con matriz poliéster y refuerzo de fibra de vidrio.

<i>Probetas de material compuesto con matriz poliéster y refuerzo de fibra de vidrio</i>								
<i>Muestra No.</i>	<i>Ancho (mm)</i>	<i>Espesor (mm)</i>	<i>Área (mm<sup>2</sup>)</i>	<i>Distancia entre apoyos (mm)</i>	<i>Carga última (N)</i>	<i>Resistencia última (MPa)</i>	<i>Módulo tangente de flexión (MPa)</i>	<i>Deformación final (%)</i>
1	12,96	5,38	69,72	86,08	317,5	109,2	4460	3,41
2	12,96	5,38	69,72	86,08	300,83	103,6	4810	3,11
3	12,82	5,32	68,20	85,12	352,5	123,9	4600	3,21
<i>Promedio</i>			$\bar{x}$		323,61	112,2	4623	3,24
<i>Desviación estándar</i>			$S_{n-1}$		26	10,5	176	0,15
<i>Coefficiente de variación</i>			CV		8	9,4	4	4,71

En la figura 4 se pueden observar las condiciones de las probetas de material compuesto con matriz poliéster y refuerzo de fibra de vidrio después de los ensayos de flexión.

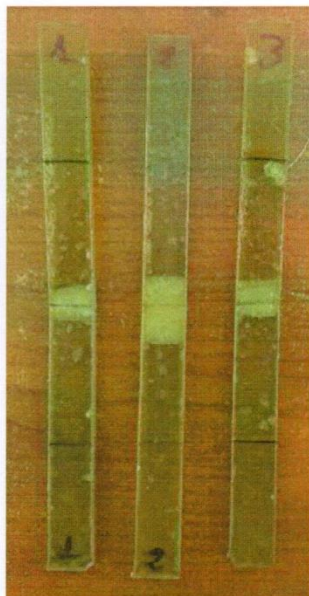


Figura 4. Probetas de matriz poliéster con refuerzo de fibra de vidrio después de las pruebas de flexión.

  
 Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.  
**JEFE DEL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES**




Anexo 6: Informe técnico de ensayos mecánicos (tracción – flexión), del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de piña.



## ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES

*Análisis, procesamiento y evaluación de materiales*



### INFORME TÉCNICO

Quito, 18 de marzo de 2015

Los resultados contenidos en el presente informe corresponden a ensayos de caracterización mecánica de muestras de material compuesto de matriz resina epóxica reforzada con fibra de piña.

Se ensayaron 8 grupos de probetas con diferentes porcentajes de refuerzo tanto a tracción como a flexión.

#### Caracterización Mecánica

Se ejecutaron los siguientes ensayos de caracterización mecánica según normas ASTM

- Ensayo de tracción en materiales compuestos de matriz polimérica ASTM D3039-14
- Ensayo de flexión en materiales compuestos de matriz polimérica ASTM D7264-07

#### 1. Ensayo de resistencia a tracción según norma ASTM D3039-14

##### 1.1. Equipo utilizado

- Máquina Universal de Ensayos Tinius Olsen H25K-S; capacidad máxima 25 KN; precisión utilizada: 0,1 MPa
- Calibrador de vernier SCALA; precisión: 0,01 mm
- Micrómetro Mitutoyo; precisión: 0,01 mm

##### 1.2. Condiciones del ensayo:

- Al menos 5 especímenes
- Velocidad de ensayo: 2 mm/min
- El extensómetro debe ser colocado con una separación de 50 mm

En la Fig. 1, se observa el equipo utilizado en el ensayo a tracción para una muestra de material compuesto.

Debido a problemas de sujeción para las muestras con fibra longitudinal 25%, 30% de refuerzo respectivamente y con fibra transversal 30% de refuerzo, se utilizó una máquina universal de ensayos Tinius Olsen de 50 toneladas de capacidad máxima sin extensómetro, la misma que se la puede observar en la Fig. 2.



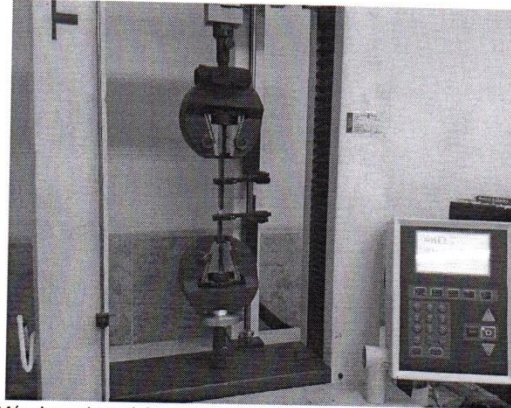


Fig. 1. Máquina universal de ensayos utilizada para realizar las pruebas de tracción.

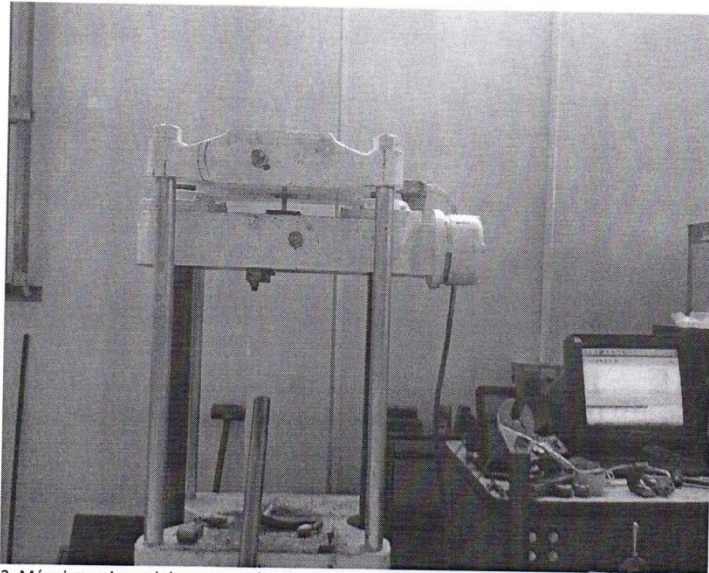


Fig. 2. Máquina universal de ensayos de 50 toneladas utilizada para realizar las pruebas de tracción en muestras con fibra longitudinal 25%, 30% y fibra transversal 30%



### 1.3. Resultados:

A. *Probetas con 25% de refuerzo 5 mm:* En la tabla 1 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 1. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 25% 5 mm de refuerzo.

TRACCIÓN 25% 5 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de trabajo (MPa)	Deformación última (%)
1	14,95	6,20	92,69	2660	28,70	1776,39	1,06
2	14,80	6,67	98,79	2160	21,80	1330,09	0,99
3	14,90	6,35	94,62	2680	28,00	2151,39	0,56
4	14,90	6,60	98,34	2470	25,10	2222,22	0,18
5	14,90	6,60	98,34	2050	21,20	2750,00	0,61
6	14,85	6,45	95,78	2680	28,00	2272,72	0,56
Promedio			$\bar{x}$	2450,00	25,46	2083,802	0,660
Desviación estándar			$S_{n-1}$	280,85	3,31	482,871	0,323
Coeficiente de variación			CV	11,46	13,03	23,173	48,947

B. *Probetas con 30% de refuerzo 5 mm:* En la tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 2. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 30% 5 mm de refuerzo.

TRACCIÓN 30% 5 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de trabajo (MPa)	Deformación última (%)
1	14,90	6,85	102,07	3250	31,80	2912,58	1,14
2	14,98	6,85	102,58	3350	33,10	2128,21	1,27
3	14,73	6,65	97,92	3350	34,20	3329,28	0,573
4	14,93	6,80	101,49	3090	30,40	3349,00	0,287
5	14,90	6,78	100,95	1740	17,20	5370,37	0,313
6	14,90	6,73	100,20	3220	32,20	4184,00	0,45
Promedio			$\bar{x}$	3000,00	29,81	3545,57	0,67
Desviación estándar			$S_{n-1}$	624,75	6,31	1116,46	0,42
Coeficiente de variación			CV	20,82	21,16	31,48	63,56



C. *Probetas con 25% de refuerzo 10 mm:* En la tabla 3 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 3. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 25% 10 mm de refuerzo.

TRACCIÓN 25% 10 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de trabajo (MPa)	Deformación última (%)
1	14,95	6,68	99,79	3090	30,90	4180,00	0,728
2	14,90	6,60	98,34	3240	32,90	2832,62	0,489
3	14,90	6,60	98,34	3140	32,00	2290,00	2,030
4	14,85	6,65	98,75	2720	27,50	1425,62	1,210
5	14,88	6,75	100,41	2720	27,10	4720,50	0,469
6	14,85	6,65	98,75	2980	30,20	2795,03	0,870
	Promedio		$\bar{x}$	2981,66	30,10	3040,628	0,966
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	219,31	2,36	1216,18	0,59
	Coeficiente de variación		CV	7,35	7,84	40,00	60,93

D. *Probetas con 30% de refuerzo 10 mm:* En la tabla 4 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 4. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 30% 10 mm de refuerzo.

TRACCIÓN 30% 10 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de trabajo (MPa)	Deformación última (%)
1	14,83	7,48	110,82	2260	20,4	3790	0,57
2	14,90	7,50	111,75	2990	26,7	3980	0,69
3	14,75	6,50	95,88	2100	21,9	4610	0,46
4	14,98	7,00	104,83	2560	24,4	4860	0,64
5	14,93	7,28	108,58	2590	23,9	4040	0,55
6	14,98	7,43	111,19	2920	26,20	3860	0,70
	Promedio		$\bar{x}$	2570,00	23,92	4190,00	0,61
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	351,11	2,43	438,36	0,093
	Coeficiente de variación		CV	13,66	10,18	10,46	15,34



E. *Probetas con fibra longitudinal de refuerzo 25%*: En la tabla 5 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 5. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 25% de refuerzo de fibra longitudinal.

TRACCIÓN 25% FIBRA LONGITUDINAL						
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	*Deformación última (%)
1	14,65	5,30	77,65	8030	102,4	16,47
2	14,68	5,48	80,35	7820	97,3	14,43
3	14,75	5,55	81,86	8030	98,1	18,37
4	14,70	5,70	83,79	8460	100,9	16,27
5	14,70	5,88	86,36	9730	112,7	18,22
6	14,70	5,75	84,53	9100	107,70	7,19
	<i>Promedio</i>		$\bar{x}$	8528,33	103,18	15,15
	<i>Desviación estándar</i>		$S_{n-1}$	744,83	5,95	4,16
	<i>Coefficiente de variación</i>		CV	8,73	5,77	27,46

\* Se considera a la deformación que sufre la probeta entre mordazas ya que se realizó el ensayo sin extensómetro.

F. *Probetas con fibra longitudinal de refuerzo 30%*: En la tabla 6 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 6. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 30% de refuerzo de fibra longitudinal.

TRACCIÓN 30% FIBRA LONGITUDINAL						
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	*Deformación última (%)
1	14,80	6,25	92,50	10640	114,50	25,60
2	14,85	6,15	91,33	9360	95,20	8,79
3	14,88	6,05	89,99	8620	98,90	10,99
4	14,65	5,95	87,17	9990	99,50	12,30
5	14,63	6,60	96,53	11130	112,70	10,48
6	14,75	6,60	97,35	10640	114,60	10,50
	<i>Promedio</i>		$\bar{x}$	10063,33	105,90	13,1
	<i>Desviación estándar</i>		$S_{n-1}$	936,60	8,94	6,22
	<i>Coefficiente de variación</i>		CV	9,30	8,45	47,45

\* Se considera a la deformación que sufre la probeta entre mordazas ya que se realizó el ensayo sin extensómetro.



G. *Probetas con fibra transversal de refuerzo 25%*: En la tabla 7 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 7. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 25% de refuerzo de fibra transversal.

TRACCIÓN FIBRA TRANSVERSAL 25%							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo de trabajo (MPa)	Deformación última (%)
1	25,90	5,75	148,93	1300	8,74	1690	0,68
2	25,78	5,50	141,76	859	6,06	1600	0,27
3	25,85	5,50	142,18	1140	8,01	2970	0,33
4	25,90	5,60	145,04	918	6,33	2080	0,33
5	25,90	5,65	146,34	1050	7,15	2490	0,37
6	25,75	5,50	141,63	872	6,15	1580	0,39
<i>Promedio</i>			$\bar{x}$	1023,16	7,07	2068,33	0,39
<i>Desviación estándar</i>			$S_{n-1}$	174,28	1,10	564,25	0,14
<i>Coefficiente de variación</i>			CV	17,03	15,61	27,28	35,96

H. *Probetas con fibra transversal de refuerzo 30%*: En la tabla 8 se presentan los resultados de los ensayos de tracción realizados en las probetas.

Tabla 7. Ensayo de tracción según ASTM D3039-14 para muestras con 30% de refuerzo de fibra transversal.

TRACCIÓN FIBRA TRANSVERSAL 30%						
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	*Deformación última (%)
1	25,88	5,90	152,66	1340	8,23	23,44
2	25,83	5,85	151,08	1450	9,48	22,30
3	25,85	5,90	152,52	1180	7,81	19,50
4	25,90	5,93	153,46	1120	7,33	18,10
5	25,85	5,73	147,99	1040	6,75	24,20
6	25,60	5,68	145,28	1120	7,53	44,40
<i>Promedio</i>			$\bar{x}$	1208,33	7,85	25,323
<i>Desviación estándar</i>			$S_{n-1}$	155,23	0,93	9,633
<i>Coefficiente de variación</i>			CV	12,85	11,92	38,039

\* Se considera a la deformación que sufre la probeta entre mordazas ya que se realizó el ensayo sin extensómetro.

En la Fig. A1 del ANEXO 1 se muestra las condiciones de las probetas después del ensayo de tracción según ASTM D3039-14



## 2. Ensayo de resistencia a flexión según norma ASTM D7264-07

### 2.1. Equipo utilizado

- Máquina Universal de Ensayos Tinius Olsen H25K-S; capacidad máxima 25 KN; precisión utilizada: 0,1 MPa
- Calibrador de vernier SCALA; precisión: 0,01 mm
- Micrómetro Mitutoyo; precisión: 0,01 mm

### 2.2. Condiciones del ensayo:

- Método de flexión por tres puntos
- Al menos 5 especímenes
- Velocidad de ensayo: 1 mm/min
- La relación espesor- distancia entre apoyos que se considera es 1:16

En la Fig. 3, se observa el equipo utilizado en el ensayo de flexión por tres puntos utilizado para probar una muestra de material compuesto.

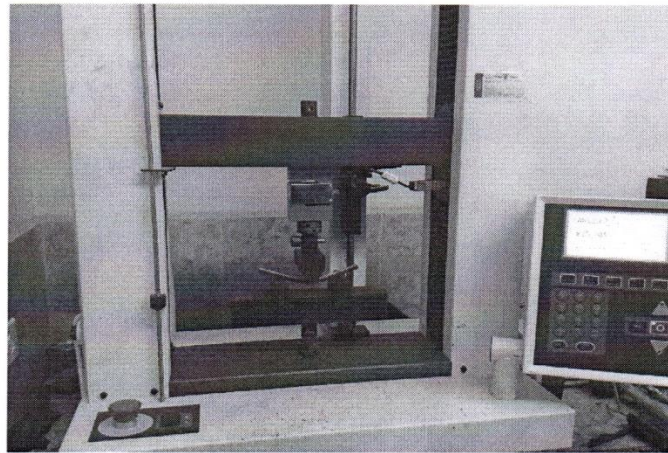


Fig. 3. Máquina universal de ensayos utilizada para realizar las pruebas de flexión por tres puntos.

### 2.3. Resultados:

- A. *Probetas con 25% de refuerzo 5 mm*: En la tabla 9 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.



Tabla 9. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 25% 5 mm de refuerzo.

FLEXIÓN 25% 5 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,75	5,90	75,23	184,17	58,76	2530	5,14
2	12,88	5,9	75,99	158,33	50,02	2470	4,71
3	12,85	5,90	75,82	165,83	52,50	2620	4,72
4	12,85	5,90	75,82	160,00	50,65	2870	3,73
5	12,83	5,80	74,41	170,00	55,80	2190	5,71
6	12,88	5,88	75,73	159,82	50,71	2560	3,61
Promedio			$\bar{x}$	166,35	53,07	2540,00	4,60
Desviación estándar			$S_{n-1}$	9,78	3,49	220,54	0,81
Coeficiente de variación			CV	5,88	6,57	8,68	17,61

B. Probetas con 30% de refuerzo 5 mm: En la tabla 10 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

Tabla 10. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 30% 5 mm de refuerzo.

FLEXIÓN 30% 5 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,93	7,00	90,51	192,5	51,06	2150	3,80
2	12,80	6,58	84,22	213,90	61,93	3070	3,56
3	12,85	6,70	86,10	197,5	55,06	3110	3,48
4	12,95	6,95	90,00	197,50	62,67	2760	4,29
5	12,88	6,75	86,94	205,83	56,84	3210	3,64
6	12,90	6,80	87,72	180,00	49,25	2890	2,92
Promedio			$\bar{x}$	197,87	56,13	2865,00	3,61
Desviación estándar			$S_{n-1}$	11,56	5,49	385,73	0,44
Coeficiente de variación			CV	5,84	9,79	13,46	12,34





C. *Probetas con 25% de refuerzo 10 mm:* En la tabla 11 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

Tabla 11. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 25% 10 mm de refuerzo.

FLEXIÓN 25% 10 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,85	5,78	74,27	172,5	55,79	2260	6,06
2	12,90	5,75	74,18	148,33	47,99	2090	5,09
3	12,78	5,78	73,87	156,67	50,97	2350	5,82
4	12,88	5,78	74,45	147,50	47,61	2000	5,33
5	12,78	5,78	73,87	163,33	53,13	2260	5,39
6	12,88	5,78	74,45	145,83	47,07	2350	4,52
	Promedio		$\bar{x}$	155,69	50,42	2218,33	5,37
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	10,58	3,51	143,03	0,54
	Coefficiente de variación		CV	6,80	6,95	6,45	10,14

D. *Probetas con 30% de refuerzo 10 mm:* En la tabla 12 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

Tabla 12. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 30% 10 mm de refuerzo.

FLEXIÓN 30% 10 mm							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,85	6,30	80,96	187,50	55,59	3270	4,79
2	12,80	6,20	79,36	161,67	48,89	2980	3,29
3	12,85	6,53	83,91	172,50	49,38	2630	3,60
4	12,85	6,40	82,24	193,33	56,42	3030	4,86
5	12,80	6,13	78,46	160,08	49,00	2390	3,67
	Promedio		$\bar{x}$	175,02	51,86	2860,00	4,04
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	14,99	3,80	348,28	0,73
	Coefficiente de variación		CV	8,56	7,33	12,17	18,04



E. *Probetas con 25% de fibra longitudinal de refuerzo:* En la tabla 13 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

Tabla 13. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 25% de fibra longitudinal de refuerzo.

FLEXIÓN FIBRA LONGITUDINAL 25%							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,75	5,25	66,94	285,00	102,18	6270	4,25
2	12,73	5,28	67,21	310,83	111,14	7030	4,29
3	12,75	5,30	67,58	282,50	100,33	4300	4,96
4	12,73	5,30	67,47	286,67	102,01	5840	4,64
5	12,60	5,25	66,15	297,50	107,94	7320	4,15
6	12,70	5,28	67,06	300,83	107,77	6410	4,75
Promedio			$\bar{x}$	293,89	105,23	6195,00	4,51
Desviación estándar			$S_{n-1}$	11,04	4,29	1070,67	0,32
Coeficiente de variación			CV	3,75	4,08	17,28	7,17

F. *Probetas con 30% de fibra longitudinal de refuerzo:* En la tabla 14 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

Tabla 14. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 30% de fibra longitudinal de refuerzo.

FLEXIÓN FIBRA LONGITUDINAL 30%							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,80	5,40	69,12	320,83	111,40	7300	4,62
2	12,75	5,43	69,23	305,00	105,83	6820	3,71
3	12,70	5,48	69,60	315,83	109,01	7840	4,74
4	12,70	5,45	69,22	340,00	117,89	7490	5,29
5	12,80	5,48	70,14	315,83	108,16	7930	5,58
6	12,78	5,40	69,01	311,67	108,43	7020	4,09
Promedio			$\bar{x}$	318,19	110,12	7400,00	4,67
Desviación estándar			$S_{n-1}$	11,92	4,20	441,22	0,70
Coeficiente de variación			CV	3,74	3,82	5,96	15,067



G. *Probetas con 25% de fibra transversal de refuerzo:* En la tabla 15 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

Tabla 15. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 25% de fibra transversal de refuerzo.

FLEXIÓN FIBRA TRANSVERSAL 25%							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,80	5,30	67,84	52,50	18,57	1670	1,46
2	12,80	5,00	64,00	50,83	19,06	1450	1,68
3	12,85	5,10	65,54	55,00	20,14	1390	1,91
4	12,93	5,20	67,24	59,17	21,13	1650	1,56
5	12,95	5,13	66,43	53,22	19,15	1360	1,69
6	12,85	5,15	66,18	59,17	21,46	1560	1,79
	Promedio		$\bar{x}$	54,98	19,92	1513,33	1,68
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	3,51	1,18	132,76	0,16
	Coeficiente de variación		CV	6,38	5,96	8,77	9,51

H. *Probetas con 30% de fibra transversal de refuerzo:* En la tabla 16 se presentan los resultados de los ensayos de flexión realizados en las probetas.

Tabla 16. Ensayo de flexión según ASTM D7264-07 para muestras con 30% de fibra transversal de refuerzo.

FLEXIÓN FIBRA TRANSVERSAL 30%							
Muestra No.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Carga última (N)	Resistencia última (MPa)	Módulo (MPa)	Deformación última (%)
1	12,95	6,08	78,74	73,33	22,37	1450	2,12
2	12,85	5,80	74,53	59,17	19,05	1370	1,80
3	13,00	6,33	82,29	65,83	19,22	1380	1,74
4	12,90	6,28	81,01	71,59	21,23	1390	2,05
5	12,85	5,95	76,46	62,50	19,62	1380	1,90
6	12,83	6,63	85,06	69,17	16,59	875	2,50
	Promedio		$\bar{x}$	66,93	19,68	1307,50	2,01
	Desviación estándar		$S_{n-1}$	5,45	1,99	213,81	0,27
	Coeficiente de variación		CV	8,15	10,11	16,35	13,70



En la Fig. A2 del ANEXO 2 se muestra las condiciones de las probetas después del ensayo de flexión según ASTM D7264-07

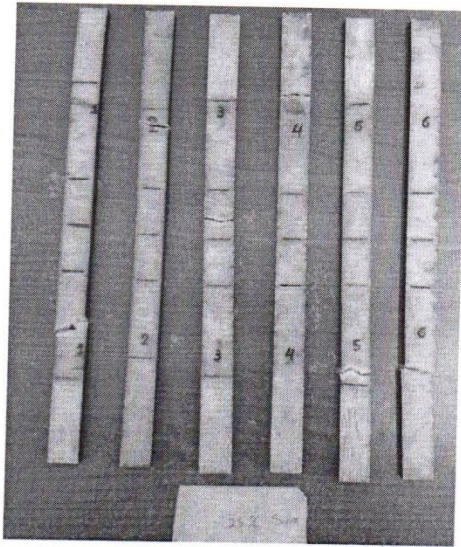
X 

Víctor Hugo Guerrero, Ph.D.

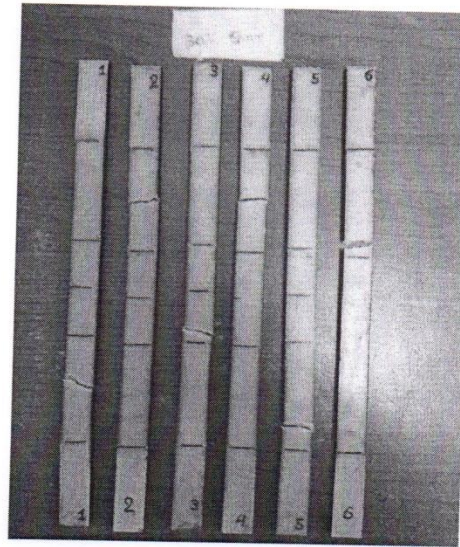
**JEFE DEL LABORATORIO DE NUEVOS MATERIALES**



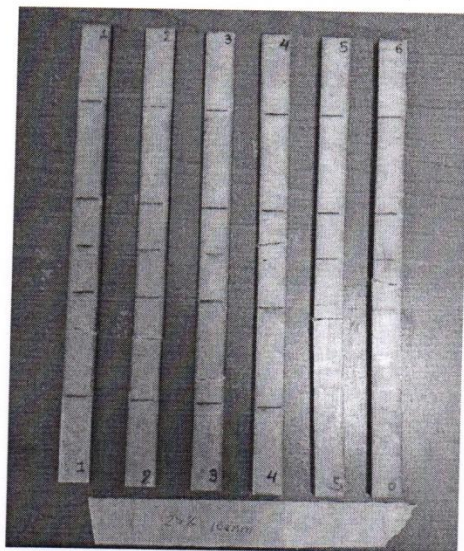
ANEXO 1. PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO DESPUÉS DEL ENSAYO DE TRACCIÓN



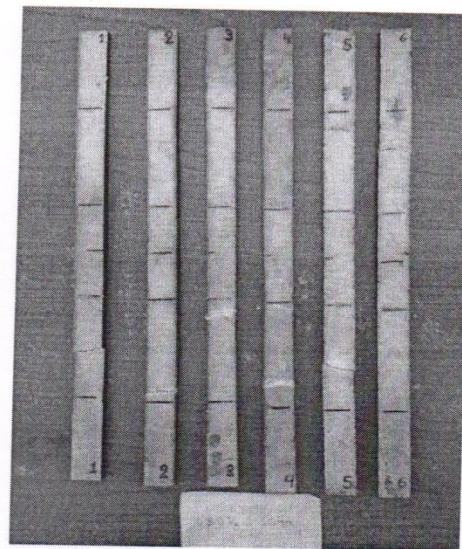
(a)



(b)

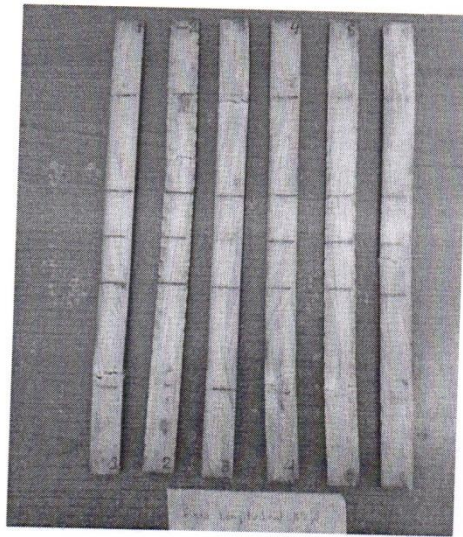


(c)

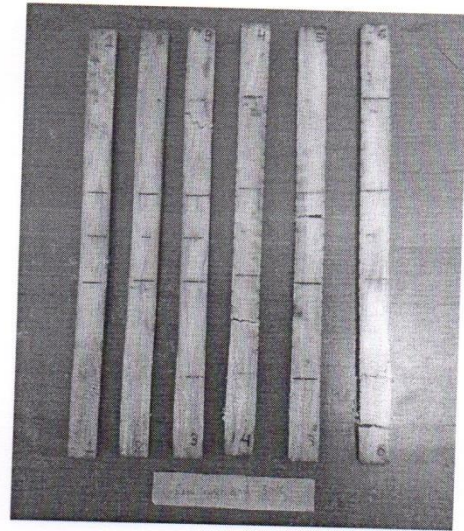


(d)

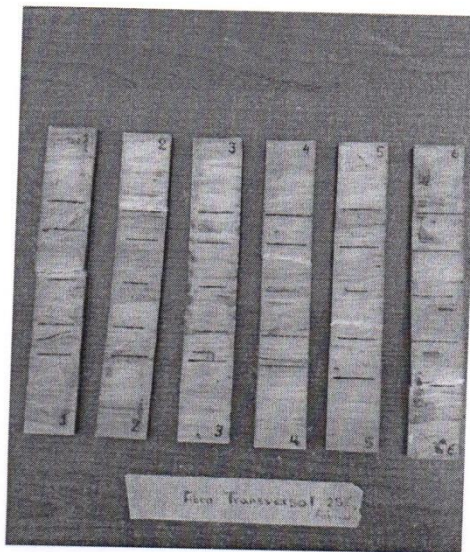




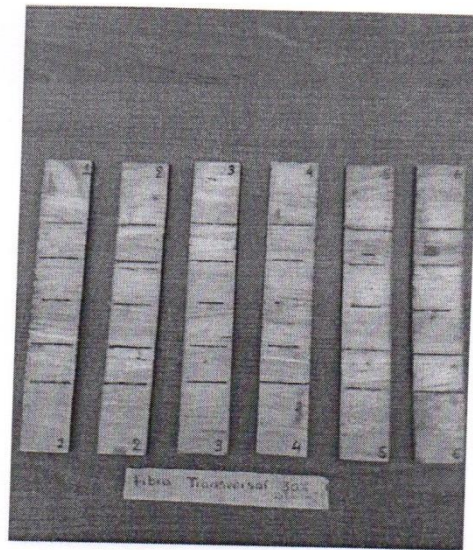
(e)



(f)



(g)

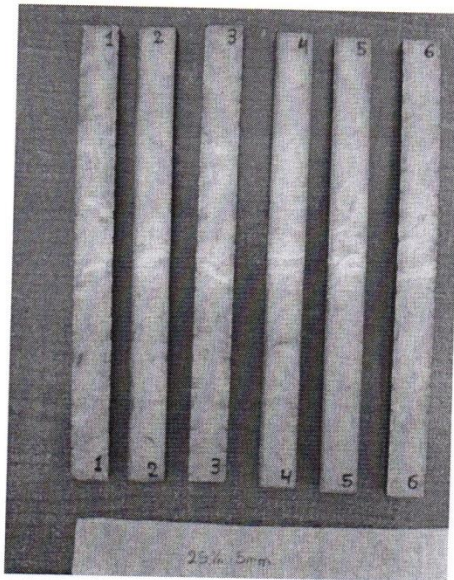


(h)

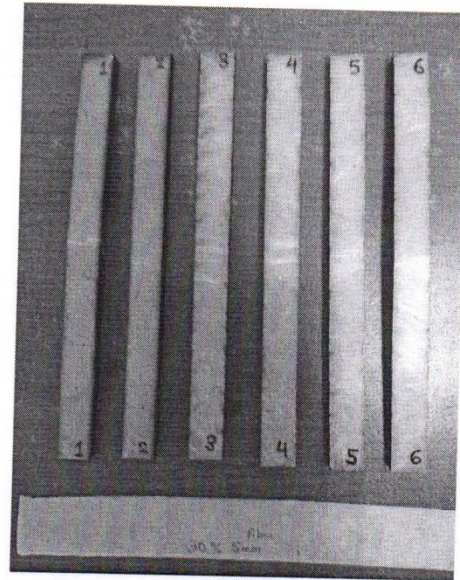
Fig. A1. Probetas de resina epóxica con refuerzo de fibra de piña ensayadas a tracción según ASTM D3039-14. (a) 25% 5 mm de refuerzo, (b) 30 % 5mm de refuerzo, (c) 25% 10 mm de refuerzo, (d) 30% 10 mm de refuerzo, (e) 25% fibra longitudinal de refuerzo, (f) 30% fibra longitudinal de refuerzo, (g) 25% fibra transversal de refuerzo, (h) 30% fibra transversal de refuerzo.



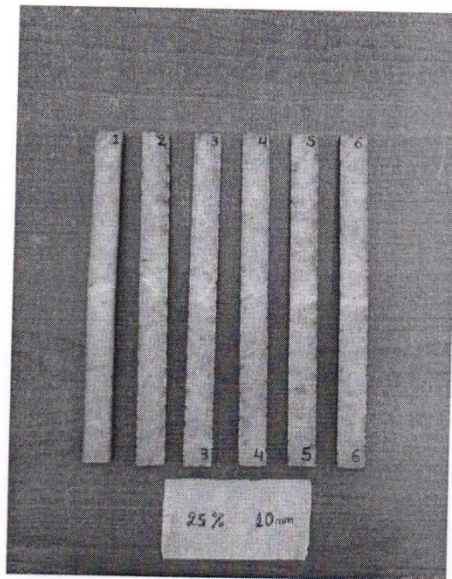
ANEXO 2. PROBETAS DE MATERIAL COMPUESTO DESPUÉS DEL ENSAYO DE FLEXIÓN



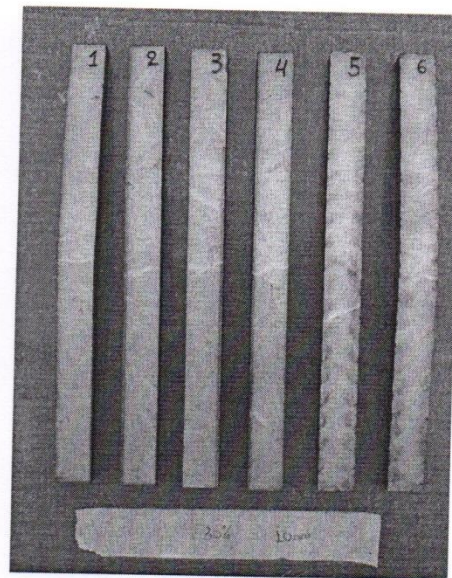
(a)



(b)



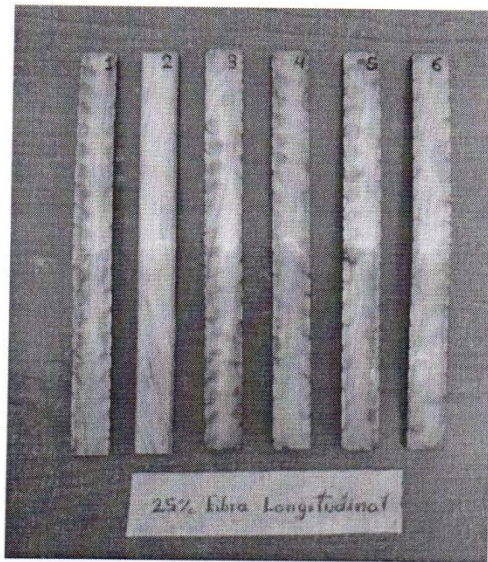
(c)



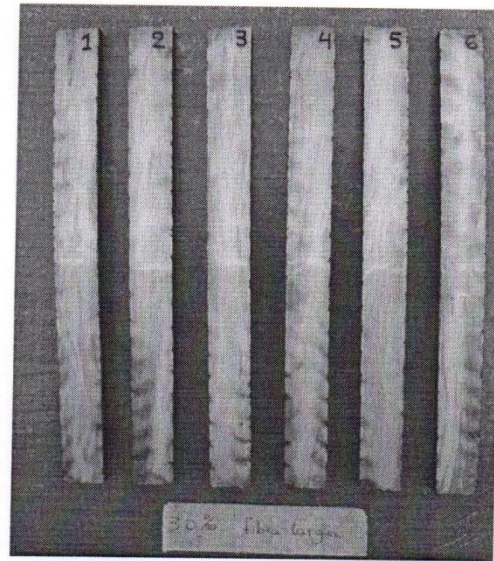
(d)



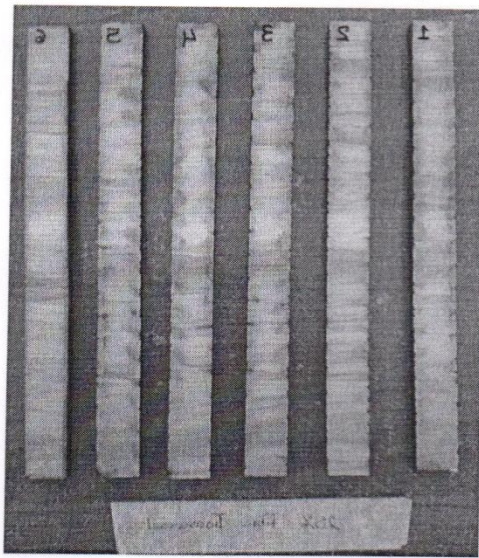
ci



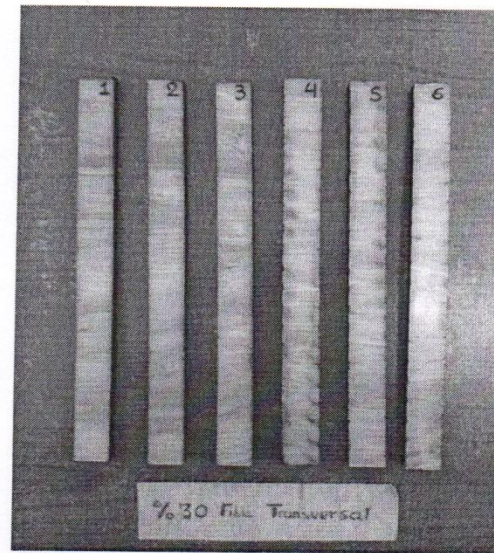
(e)



(f)



(g)



(h)

Fig. A2. Probetas de resina epóxica con refuerzo de fibra de piña ensayadas a flexión según ASTM D7264-07. (a) 25% 5 mm de refuerzo, (b) 30 % 5mm de refuerzo, (c) 25% 10 mm de refuerzo, (d) 30% 10 mm de refuerzo, (e) 25% fibra longitudinal de refuerzo, (f) 30% fibra longitudinal de refuerzo, (g) 25% fibra transversal de refuerzo, (h) 30% fibra transversal de refuerzo.

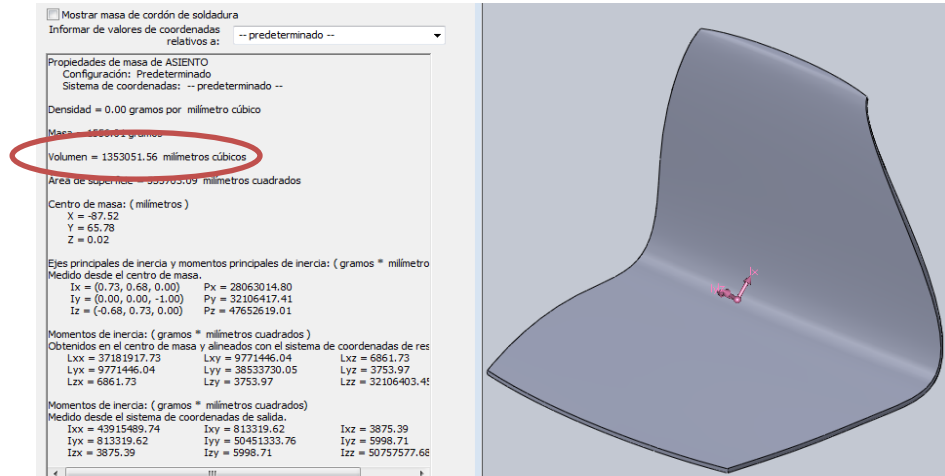




Anexo 7: Resumen de actividades para la fabricación de una butaca deportiva.

**Actividad 1.**

Determinación del volumen total requerido para la fabricación de la butaca deportiva  $v=1368,5 \text{ cm}^3$ .



Volumen requerido en la butaca deportiva.

**Actividad 2.**

Verificación del molde se verifica que esté libre de impurezas (basuras, rebabas), Luego se añade una fina capa de cera desmoldante la cera (cera desmoldante SIMONIZ).



Preparación del molde.

### Actividad 3.

Preparación del material de matriz (resina epoxi).

- Para una fracción volumétrica del 70% se utiliza un volumen de:  $958 \text{ cm}^3$  de resina epoxi.



Volumen de resina requerida.

- Volumen de endurecedor requerido:  $191,6 \text{ cm}^3$ .



Volumen de endurecedor requerido.

Se mezclan los componentes (resina epoxi + endurecedor), hasta lograr tener una mezcla homogénea.

#### **Actividad 4.**

Preparación del material de refuerzo.



Fibra de piña libre de impurezas.

#### **Actividad 5.**

**Proceso de esterificación manual.**

Aplicación de material compuesto (resina epoxi + fibra de piña).



Primera capa de resina epoxi.



Aplicación de la fibra sobre el molde.



Humectación de fibra.



Molde macho-hembra.



Molde a compresión.

## Actividad 6.

### Verificación del prototipo fabricado y almacenamiento.

Desmolde del material compuesto (resina epoxi + fibra de piña)

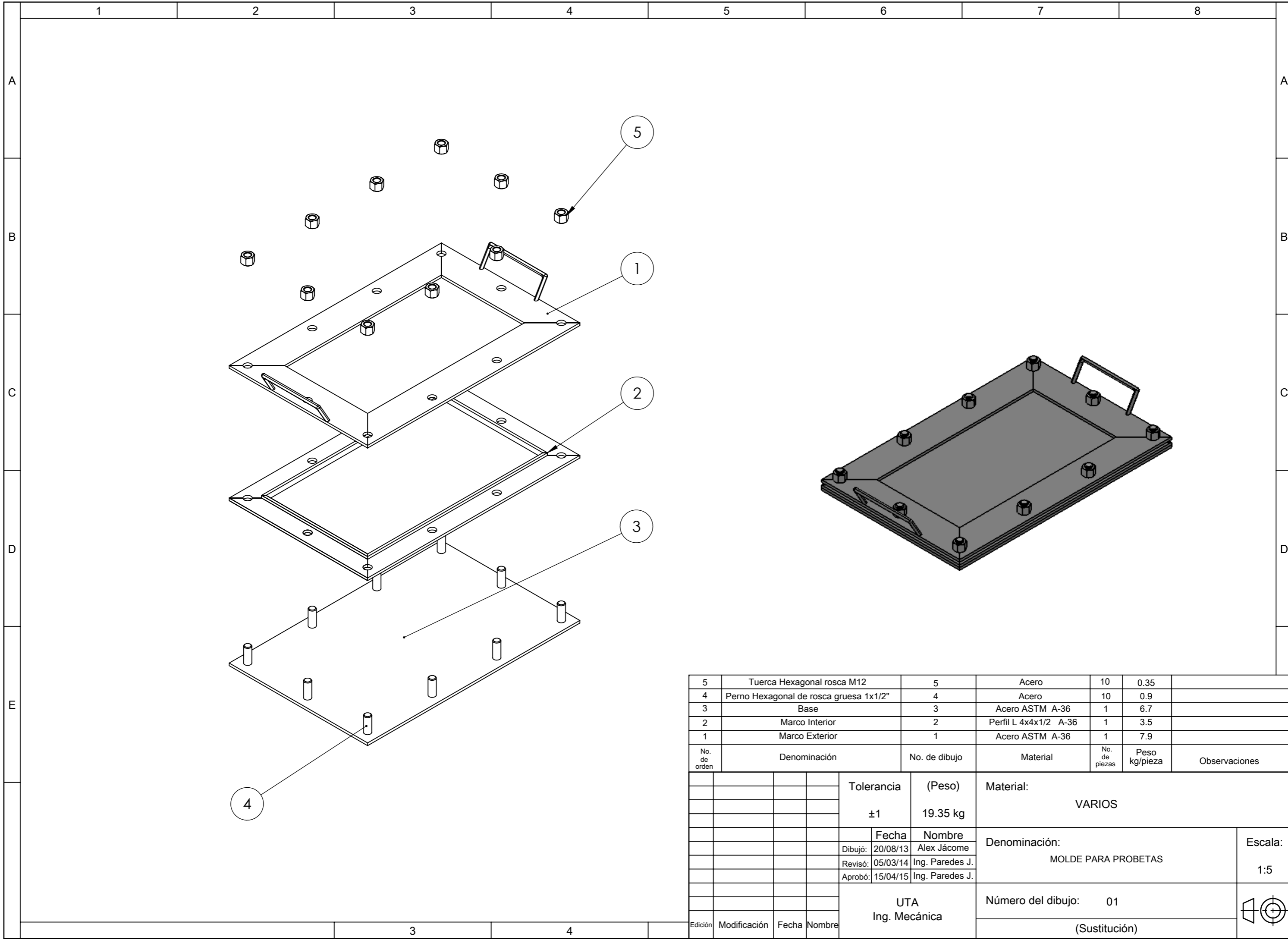


Desmolde prototipo de butaca deportiva.

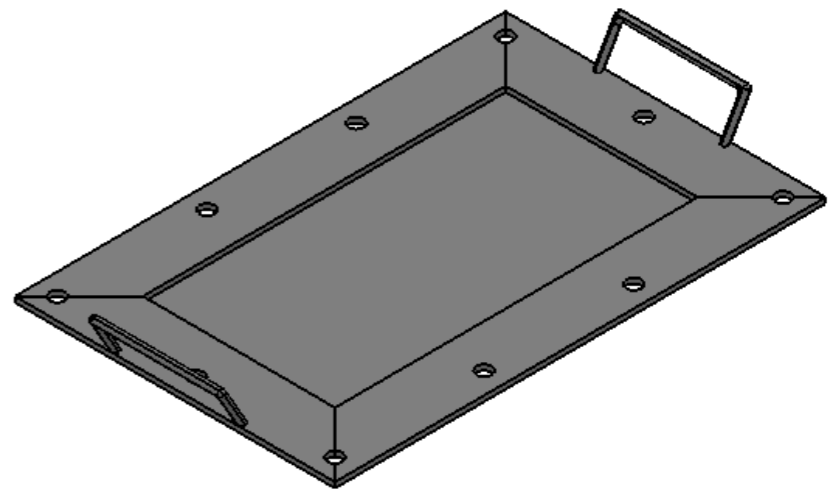
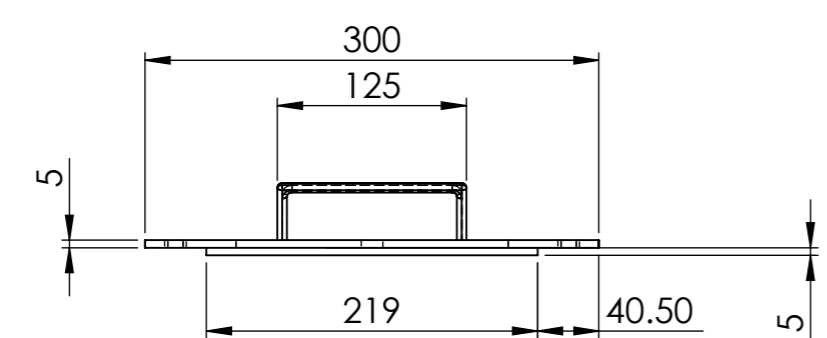
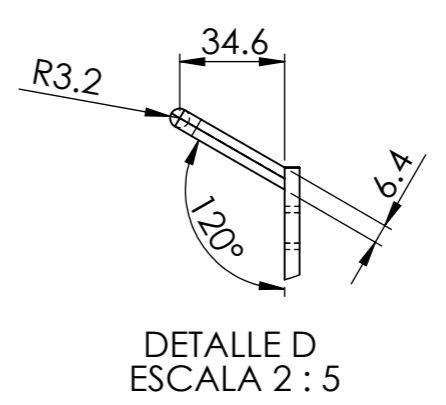
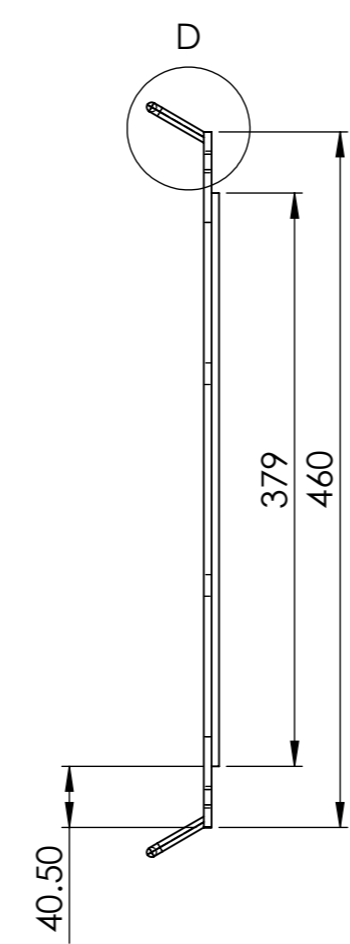
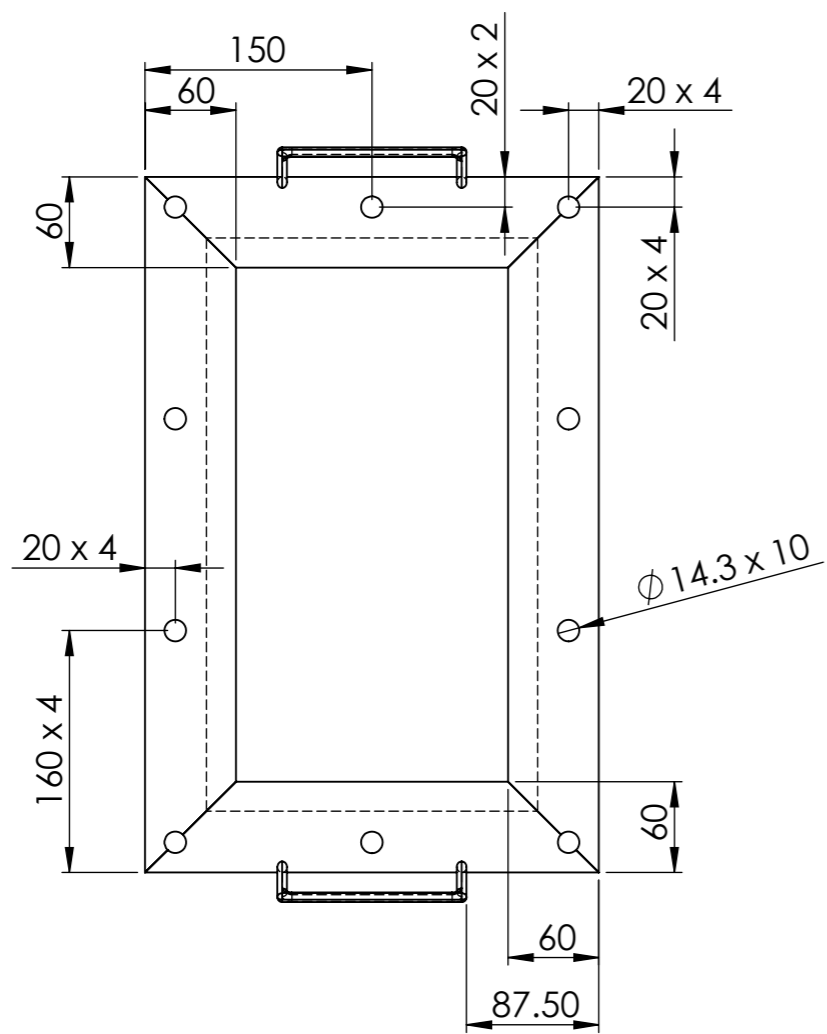


Prototipo de una butaca deportiva terminada.

## Anexo 8: Planos.

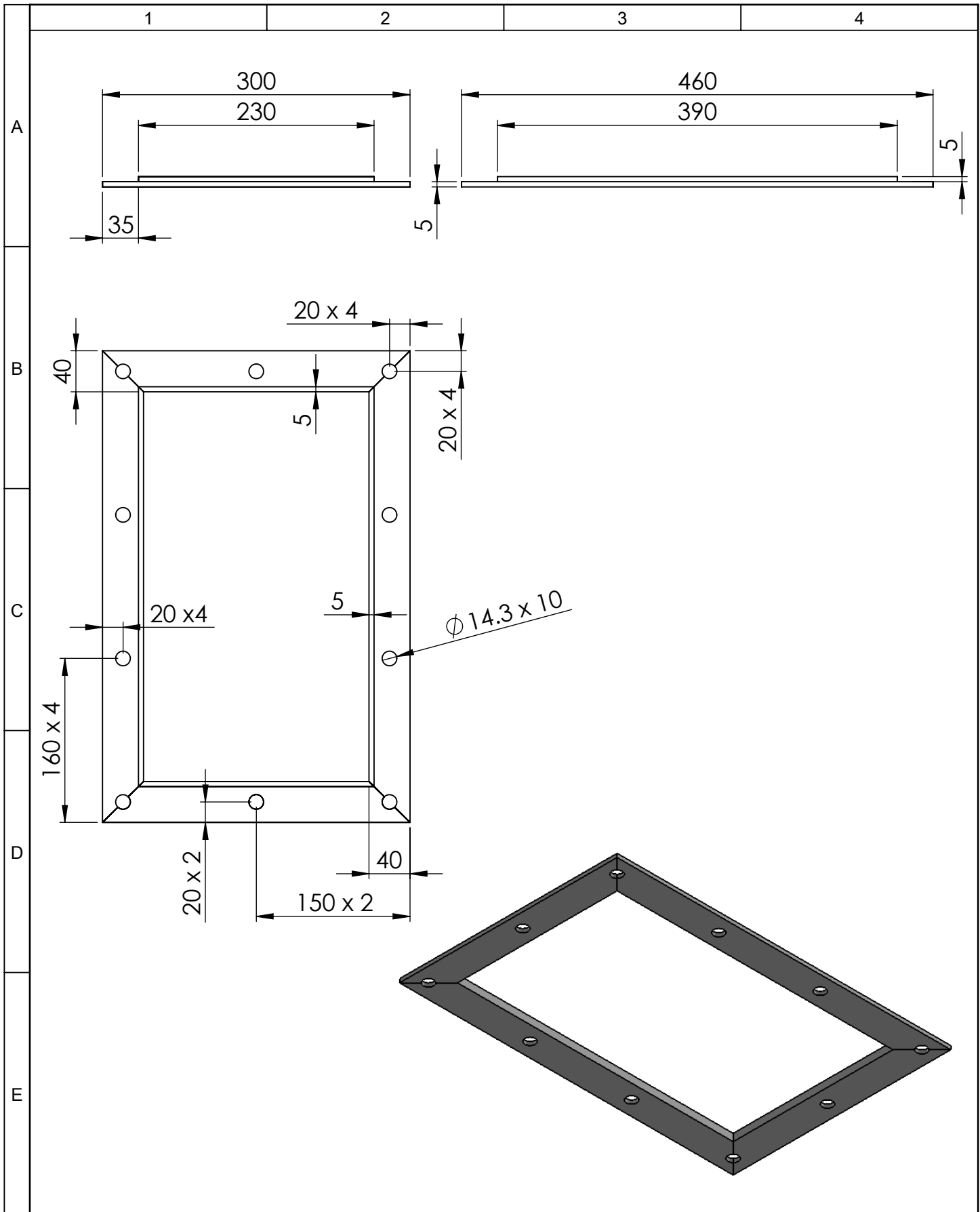


5	Tuerca Hexagonal rosca M12	5	Acero	10	0.35	
4	Perno Hexagonal de rosca gruesa 1x1/2"	4	Acero	10	0.9	
3	Base	3	Acero ASTM A-36	1	6.7	
2	Marco Interior	2	Perfil L 4x4x1/2 A-36	1	3.5	
1	Marco Exterior	1	Acero ASTM A-36	1	7.9	
No. de orden	Denominación	No. de dibujo	Material	No. de piezas	Peso kg/pieza	Observaciones
			Tolerancia	(Peso)	Material: VARIOS	
			±1	19.35 kg		
			Fecha	Nombre	Denominación: MOLDE PARA PROBETAS	
			Dibujó: 20/08/13	Alex Jácome	Escala: 1:5	
			Revisó: 05/03/14	Ing. Paredes J.		
			Aprobó: 15/04/15	Ing. Paredes J.		
			UTA		Número del dibujo: 01	
			Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			

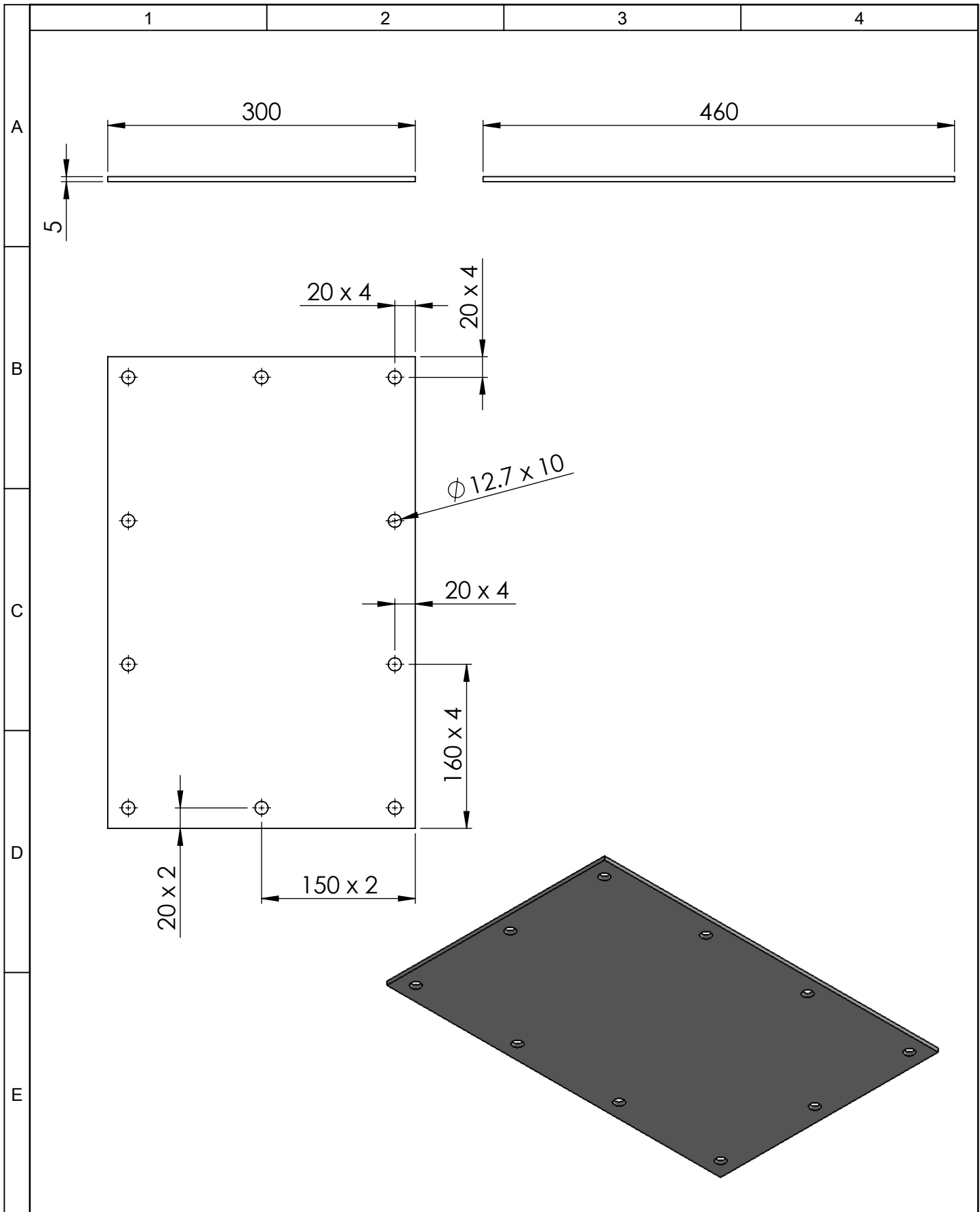


				Tolerancia	(Peso)	Material:	
				±1	7.9 kg	ACERO ASTM A-36	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	20/08/13	Alex Jácome	
				Revisó:	05/03/14	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	15/04/15	Ing. Paredes J.	MARCOS EXTERIOR
				UTA		Número del dibujo:	Escala:
				Ing. Mecánica		02	
						(Sustitución)	1:5
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

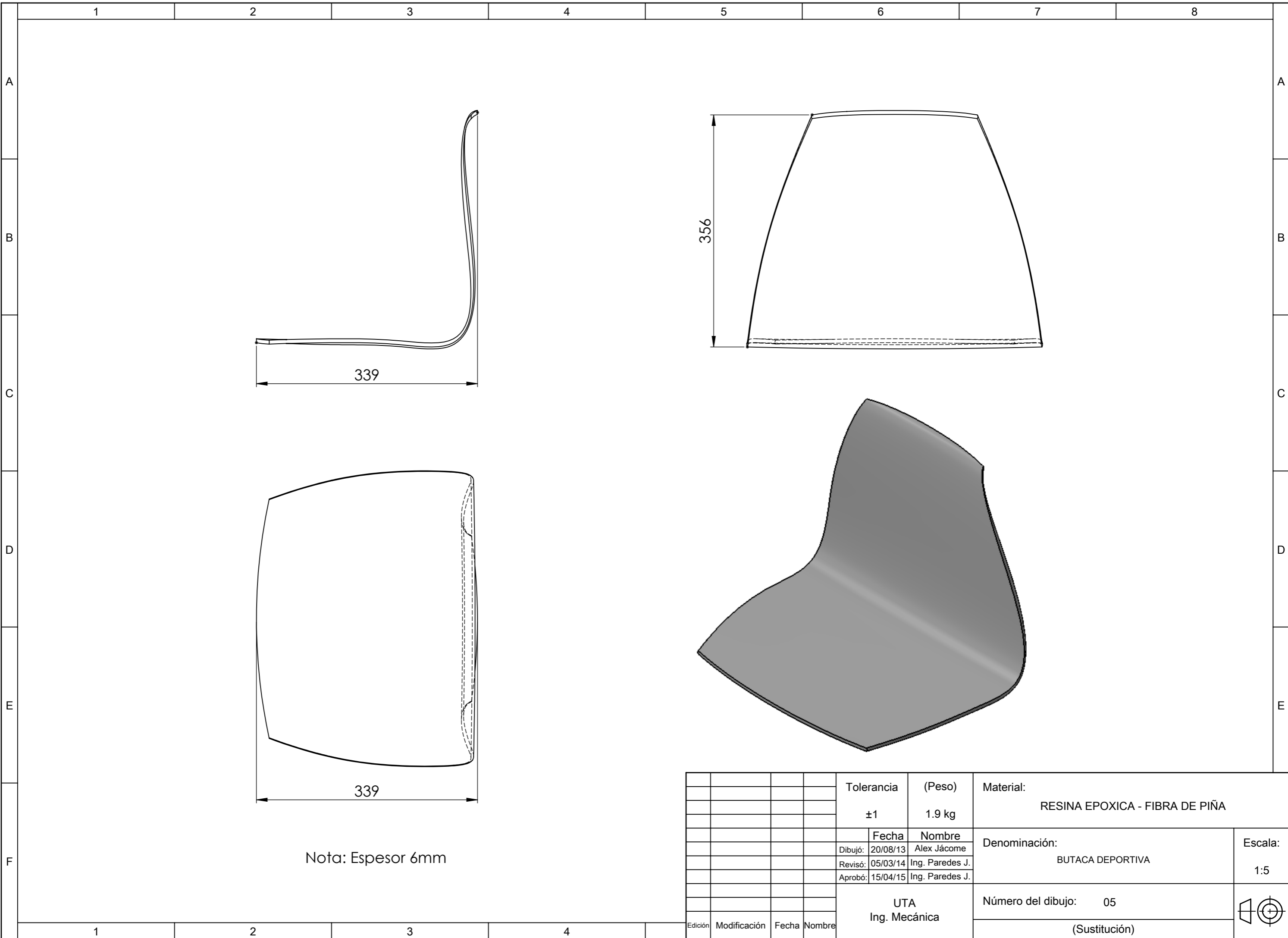




				Tolerancia	(Peso)	Materiales: Perfil, L 4 x 4 x 1/2 - ACERO ASTM A-36	
				±1	3.5 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: MARCO INTERIOR	Escala: 1:5
			Dib.	20/08/13	Alex Jácome		
			Rev.	05/03/14	Ing. Paredes J.		
			Apro.	15/04/15	Ing. Paredes J.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 03	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO ASTM A-36	
				±1	6.7 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: <b>BASE</b>	Escala: 1:5
			Dib.	20/08/13	Alex Jácome		
			Rev.	05/03/14	Ing. Paredes J.		
			Apro.	15/04/15	Ing. Paredes J.		
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 04	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



Nota: Espesor 6mm

					Tolerancia	(Peso)	Material:			
					±1	1.9 kg	RESINA EPOXICA - FIBRA DE PIÑA			
					Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:		
				Dibujó:	20/08/13	Alex Jácome			BUTACA DEPORTIVA	1:5
				Revisó:	05/03/14	Ing. Paredes J.				
					Aprobó:	15/04/15	Ing. Paredes J.			
					UTA		Número del dibujo: 05			
					Ing. Mecánica				(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre							