

ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO POR UNA MATRIZ DE RESINA
POLIÉSTER Y FIBRA NATURAL DE COCO PARA SU CARACTERIZACIÓN
MECÁNICA A TENSIÓN Y FLEXIÓN.

HERNÁN CAMILO FONSECA BALLESTEROS

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

Director

OSCAR CHAMARRAVI GUERRA

Ingeniero Metalúrgico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.

2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrector Académico y de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano facultad de ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

PhD. María Angélica Acosta Pérez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por ser mi guía y mi fuente de sabiduría; ya que me permitió llevar a cabo este proyecto de grado y obtener el título de ingeniero mecánico.

De igual manera quiero dedicar esta meta cumplida a mis padres, José Edilberto Fonseca Quevedo y Nancy Ballesteros Corredor, por ser un apoyo incondicional y brindarme todo su amor, consejo, comprensión y cariño; ellos permitieron que tan anhelado sueño se hiciera realidad, su devoción hacia a mi logro que los esfuerzos y sacrificios valieran la pena por lo cual siempre estaré agradecido con ellos.

A mi hermana Anamaria Fonseca Ballesteros le agradezco por brindarme su comprensión y apoyo, por ser mi guía en todo momento.

A mi abuela María Ana Corredor de Ballesteros, la cual es como una segunda mamá para mí, por ser un apoyo, ser una fuente amor, sabiduría y otórgame paciencia para afrontar los momentos difíciles de la vida y con ello elaborar este proyecto.

A Johan Sebastián Fonseca Vanegas el cual siempre me brindó su mano amiga y colaboración en cada circunstancia que se presentaba.

Finalmente, a mi tía Nydian Elena Ballesteros Corredor que desde el cielo me brindó el valor de la perseverancia y disciplina, valores que me permitieron superar los obstáculos y culminar este proyecto con éxito.

Hernán Camilo Fonseca Ballesteros

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Fundación Universidad de América por proporcionar el docente Oscar Chamarravi ya que cumplió la función de orientador de la investigación.

Quiero agradecer a los ingenieros Juan Carlos Ramírez y José Armando Barragán por abrirme las puertas de Soldaduras West Arco SAS y brindarme toda su sabiduría; fueron un apoyo teórico-técnico en todo momento, por lo cual se pudo cumplir a cabalidad cada objetivo de este proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS	18
ESTADO DEL ARTE	19
1. BASES TEÓRICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTOS Y FIBRAS	24
1.1 Materiales compuestos	24
1.1.1 <i>Matriz</i>	25
1.1.2 <i>Refuerzo</i>	25
1.1.3 <i>Interfase</i>	25
1.2 Clasificación de los materiales compuestos	25
1.2.1 <i>Materiales compuestos por matriz metálica</i>	26
1.2.2 <i>Materiales compuestos por matriz cerámica</i>	27
1.2.3 <i>Materiales compuestos por matriz polimérica</i>	28
1.3 Polímeros	29
1.4 Resina poliéster	30
1.4.1 <i>Tipos de resina poliéster</i>	31
1.4.2 <i>Propiedades mecánicas de la resina poliéster</i>	32
1.4.3 <i>Propiedades físicas de la resina poliéster</i>	32
1.4.4 <i>Aplicaciones de la resina poliéster</i>	34
1.5 Materiales compuestos por fibras	35
1.5.1 <i>Fibras</i>	36
1.5.2 <i>Importancia de la longitud de la fibra en materiales compuestos</i>	36
1.5.3 <i>Orientación de las fibras</i>	39
1.5.4 <i>Ley de las mezclas para materiales compuestos por fibras</i>	40
1.5.5 <i>Clasificación de las fibras</i>	41
1.5.5.1 Fibras naturales	42
1.5.6 <i>Fibra del mesocarpio de coco</i>	44
1.5.6.1 <i>Propiedades físicas y mecánicas de la fibra de coco</i>	45
1.6 Propiedades mecánicas del material compuesto y ensayos destructivos	47
1.6.1 <i>Ensayo a tracción</i>	47
1.6.2 <i>Resistencia a fluencia</i>	48
1.6.3 <i>Resistencia a la Tensión</i>	49
1.6.4 <i>Módulo de elasticidad (módulo de Young)</i>	50

1.6.5	<i>Ensayo a flexión</i>	51
2.	DISEÑO EXPERIMENTAL	52
2.1	Muestra y geometría de las probetas de ensayos a tracción y flexión.	52
2.1.1	<i>Cantidad de muestras</i>	52
2.1.2	<i>Geometría</i>	52
2.2	Variables de estudio:	53
2.3	Materiales y equipos	56
2.3.1	Resina poliéster	56
2.3.2	<i>Catalizador para resina poliéster (MERK)</i>	57
2.3.3	<i>Fibra natural de coco</i>	57
2.3.4	<i>Desmoldante</i>	58
2.3.5	<i>Balanza analítica</i>	59
2.3.6	<i>Balanza convencional</i>	60
2.3.7	<i>Cabina extractora</i>	61
2.3.8	<i>Agitador</i>	61
2.3.9	<i>Horno</i>	62
2.3.10	<i>Plancha común</i>	63
2.3.11	<i>Máquina de ensayos universal</i>	63
2.3.12	<i>Termohigrómetro</i>	65
2.4	Técnica para elaboración material compuesto	65
2.4.1	<i>Moldeo abierto</i>	66
2.4.2	<i>Procedimiento en molde abierto manual</i>	67
2.5	<i>Cálculos</i>	68
2.5.1	<i>Longitud crítica</i>	68
2.5.2	<i>Probetas a tracción</i>	69
2.5.3	<i>Probetas a flexión</i>	71
2.5.4	<i>Parámetros de las probetas</i>	72
2.5.5	Probetas a tracción con refuerzo	76
2.5.6	Probetas a flexión con refuerzo	78
2.5.7	Tipos de falla	80
3.	MOLDES, PROBETAS Y ENSAYOS	81
3.1	Fabricación de moldes	81
3.2	Elaboración de probetas	83
3.3	Ensayos a tracción	94
3.3.1	<i>Resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PT)</i>	94

3.3.2	<i>Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 0°(T-0°)</i>	96
3.3.3	<i>Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 45°(T-45°)</i>	98
3.3.4	<i>Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 90°(T-90°)</i>	100
3.4	Ensayos a flexión	102
3.4.1	<i>Resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PF)</i>	103
3.4.2	<i>Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 0°(F-0°)</i>	105
3.4.3	<i>Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 45°(F-45°)</i>	107
3.4.4	<i>Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 90°(F-90°)</i>	109
4.	RESINA POLIESTER VS MATERIAL COMPUESTO	111
4.1	Ensayo a tracción	111
4.1.1	<i>Análisis de deformación tensión</i>	111
4.1.2	<i>Análisis de esfuerzo máximo a tensión</i>	113
4.1.3	<i>Análisis módulo de Young (elasticidad)</i>	115
4.2	Ensayo a flexión	116
4.2.1	<i>Análisis de deformación flexión</i>	117
4.2.2	<i>Análisis de esfuerzo máximo a flexión</i>	118
4.2.3	<i>Análisis de modulo elasticidad a flexión</i>	119
4.3	Posibles aplicaciones del material compuesto obtenido	120
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	121
5.1	Costo de Talento humano	121
5.2	Costos de materiales e insumos	122
5.3	Universidad Nacional Vs soldaduras West Arco	122
6.	CONCLUSIONES	125
7.	RECOMENDACIONES	126
	BIBLIOGRAFÍA	127
	ANEXOS	133

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Elementos de un material compuesto	24
Figura 2. Compuesto metálico	26
Figura 3. Compuesto cerámico	27
Figura 4. Compuesto polimérico	28
Figura 5. Clasificación de los materiales compuestos reforzados por fibras	35
Figura 6. Distribución de la carga en las fibras	37
Figura 7. Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra	39
Figura 8. Resistencia de la fibra en diferentes orientaciones	40
Figura 10. Clasificación de las fibras	41
Figura 10. Tipos de fibras naturales y artificiales	43
Figura 11. partes que conforman el coco	44
Figura 12. Ensayo de tensión	47
Figura 13. Cuello de botella en carga a tensión	49
Figura 14. Diagrama Esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril	50
Figura 15. Ensayo a flexión por 3 puntos	51
Figura 17. Diagrama Esfuerzo-Deformación	51
Figura 18. Geometría probetas a tracción	52
Figura 20. Diagrama de flujo tratamiento químico	54
Figura 21. Diagrama de flujo elaboración de probetas	55
Figura 22. Resina poliéster 856	56
Figura 23. Catalizador MERK para resina poliéster 8568	57
Figura 24. Fibra natural de coco	58
Figura 25. Cera desmoldante para materiales compuestos	58
Figura 26. Balanza analítica	59
Figura 27. Balanza convencional	60
Figura 28. Cabina extractora	61
Figura 29. Agitador (mezclador de laboratorio)	62
Figura 30. Horno	62
Figura 30. Plancha común	63
Figura 31. Máquina universal de ensayos	64
Figura 32. Especificaciones de la máquina de ensayos SWA	64
Figura 33. Termohigrómetro	65
Figura 35. Procedimiento manual en molde abierto	67
Figura 36. Probeta a tracción	69
Figura 37. Probeta a flexión	71
Figura 38. Nomenclatura de las probetas	73
Figura 39. Fallas a tensión	80
Figura 40. Fallas a flexión	80
Figura 41. Molde flexión en solid Edge	81
Figura 42. Molde tracción en Solid Edge	82

Figura 43. Moldes en madera de MDF	82
Figura 44. Tare	83
Figura 45. Adición de resina	84
Figura 46. Mezcla de la resina poliéster y catalizador Merk	84
Figura 47. Molde a flexión y tracción con desmoldante	85
Figura 48. Vaciado de la resina en el molde	85
Figura 49. Masa de la fibra de coco	86
Figura 50. Molde a tracción fibras 0°	86
Figura 51. Molde a flexión fibras a 0°	87
Figura 52. Molde a tracción fibras a 45°	87
Figura 53. Molde a flexión fibras a 45	88
Figura 54. Molde a tracción fibras a 90°	88
Figura 55. Molde a flexión fibras a 90°	89
Figura 56. Probetas a tracción terminadas	91
Figura 57. Probetas a flexión terminadas	92
Figura 58. Marcación de probetas	92
Figura 59. Acondicionamiento de las probetas	93
Figura 60. Soporte 3 puntos flexión	93
Figura 61. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) PT	95
Figura 62. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) PT	95
Figura 63. Probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco	96
Figura 64. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) T-0°	97
Figura 65. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-0°	97
Figura 66. Probetas a tracción con refuerzo de coco a 0°	98
Figura 67. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) T-45°	99
Figura 68. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-45°	99
Figura 69. Probetas a tracción con refuerzo de coco a 45°	100
Figura 70. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) T-90°	101
Figura 71. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-90°	101
Figura 72. Probetas a tracción con refuerzo de coco a 90°	102
Figura 73. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) PF	103
Figura 74. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) PF	104
Figura 75. Probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco)	104
Figura 76. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) F-0°	105
Figura 77. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-0°	106
Figura 78. Probetas a flexión con refuerzo de coco a 0°	106
Figura 79. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) F-45°	107
Figura 80. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) F-45°	108
Figura 81. Probetas a flexión con refuerzo de coco a 45°	108
Figura 82. Gráfica de Esfuerzo (MPa)Vs Deformación(mm) F-90°	109
Figura 83. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) F-0°	110
Figura 84. Probetas a flexión con refuerzo de coco a 90°	110
Figura 85. Diagrama de barras deformación promedio de los ensayos de tracción	112
Figura 86. Resistencia máxima promedio de las probetas de ensayo de tracción	113
Figura 87. Capacidad de carga promedio de las probetas ensayadas a tracción	114
Figura 87. Módulo de Young promedio ensayos a tracción	115

Figura 88. Deformación promedio de las probetas de ensayo flexión	117
Figura 89. Resistencia máxima promedio de las probetas de ensayo flexión	118
Figura 90. Capacidad de carga promedio de las probetas ensayadas a flexión	119
Figura 91. Módulo de flexión promedio	120

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipos de resina	30
Tabla 2. Propiedades mecánicas de la resina poliéster	32
Tabla 3. Propiedades físicas de los diferentes tipos resina poliéster	33
Tabla 4. propiedades mecánicas de los diferentes tipos de fibras	45
Tabla 5. Propiedades físicas de la fibra de coco	46
Tabla 6. Propiedades químicas de la fibra de coco	46
Tabla 7. Diámetro promedio fibra de coco	68
Tabla 8. Datos probetas a tracción sin refuerzo	71
Tabla 9. Datos probetas a flexión sin refuerzo	72
Tabla 10. Nomenclatura probetas ensayo tracción	74
Tabla 11. Nomenclatura probetas ensayo flexión	75
Tabla 12. Revisión dimensional probetas a tracción	90
Tabla 13. Revisión dimensional probetas a flexión	91
Tabla 14. Propiedades mecánicas de las probetas resina poliéster sin refuerzo (PT)	94
Tabla 15. Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 0°(T-0°)	96
Tabla 16. Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 45°(T-45°)	98
Tabla 17. Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 90°(T-90°)	100
Tabla 18. Propiedades mecánicas de las probetas resina poliéster sin refuerzo (PF)	103
Tabla 19. Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 0°(F-0°)	105
Tabla 20. Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 45°(F-45°)	107
Tabla 21. Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 90°(F-90)	109
Tabla 22. Valores promedio de las propiedades mecánicas -ensayos a tracción	111
Tabla 23. Valores promedio de las propiedades mecánicas de los ensayos a flexión	116
Tabla 24. Costo talento humano	121
Tabla 25. Costo de materiales e insumos	122
Tabla 26. Costo de ensayos mecánicos Universidad Nacional	123
Tabla 27. <i>Costo de ensayos mecánicos West Arco SAS</i>	123
Tabla 28. Total investigación U. Nacional y West Arco	124

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO 1. Norma ASTM D3039	134
ANEXO 2. Norma ASTM-D790	147
ANEXO 3. Ficha técnica resina poliéster	159
ANEXO 4. Ficha técnica fibra de coco	162
ANEXO 5. Cotización TyG	163
ANEXO 6. SWA Lab. Químico	164
ANEXO 7. SWA Lab. Mecánico	166
ANEXO 8. Cálculo soporte 3 puntos	168
ANEXO 9. Tratamiento Químico a las fibras de coco	168

RESUMEN

Este trabajo se basa en la elaboración de un material compuesto por una matriz de resina poliéster y fibra natural de coco, para su caracterización mecánica a tensión y flexión. Teniendo en cuenta la orientación del refuerzo; en tres direcciones a 0°, 45° y 90° (vertical, diagonal y horizontal) respectivamente. Se investigó basándose en diferentes fuentes bibliográficas. Por lo cual en la primera etapa del proyecto se encuentran las bases teóricas donde se explica la clasificación de los materiales compuestos y de las fibras naturales, así mismo se identificaron las propiedades físico-mecánicas de la resina poliéster y la fibra de coco.

Se realizó el diseño experimental haciendo uso de la información adquirida, una vez identificadas las propiedades físico-mecánicas de los materiales de estudio (resina poliéster y fibra natural de coco) se establecieron los parámetros y variables para la elaboración de los moldes y probetas con el fin de llevar a cabo los ensayos de tracción y flexión, según las normas ASTM D-3039 Y D-0790 respectivamente.

Se determinaron las propiedades mecánicas de las probetas, en la máquina de ensayos universal; por medio los ensayos a tracción y flexión. Se comparó el comportamiento mecánico de las probetas de material compuesto por resina poliéster y refuerzo de fibra de coco contra las probetas fabricadas por 100% resina poliéster sin refuerzo, para determinar la mejor orientación del refuerzo. Se realizó el análisis de costos para establecer cuánto dinero se invirtió para realizar este estudio.

Palabras clave: Material compuesto, resina poliéster, fibra de coco, caracterización, flexión, tensión, fibra natural.

Key Word: Composite material, polyester resin, coconut fiber, characterization, bending, tension, natural fiber.

INTRODUCCIÓN

Los materiales compuestos son aquellos que están constituidos por la combinación de dos o más materiales a partir de una unión química o no química. Los materiales compuestos por resina poliéster y fibra de vidrio han abarcado un gran campo de aplicación en la construcción, como material de refuerzo. Ya que tienen excelentes propiedades mecánicas y su peso es relativamente bajo a comparación a otros materiales. Sin embargo utilizar la fibra de vidrio resulta ser bastante costosa y puede generar un impacto negativo en el medio ambiente, debido a que pueden llegar a ser muy contaminantes y difíciles de procesar[1]. Teniendo en cuenta esto, se ve en la obligación de crear nuevos materiales compuestos que cumplan con las necesidades requeridas.

Las fibras naturales brindan la posibilidad a un país como Colombia utilizar sus propios recursos naturales, para que se han empleados en la industria de materiales compuestos. En concordancia con lo que ya se ha mencionado, la fibra de coco es amigable con el medio ambiente y se ha evidenciado su uso artesanal a lo largo de la historia. Debido a su abundancia, hoy en día se está apostando por implementarla en los materiales compuestos; ya que tiene diferentes usos y aplicaciones, por ejemplo, en la industria de la construcción se usa para reforzar el concreto y elementos estructurales, en la industria energética se utiliza como material de refuerzo de las palas de los aerogeneradores de pequeña potencia, en la industria de las autopartes, en la industria textil y en el campo como abono de otras plantas.

Por otra parte, la resina poliéster es un tipo de polímero termoestable que al calentarse permite darle una forma en específica y cuando se enfría se endurece, este tipo de material se caracteriza por tener buenas propiedades mecánicas: alta resistencia a la tracción, alta resistencia a la torsión, elevada relación resistencia/dureza. Entre sus usos se emplea como material de refuerzo para la elaboración de botes, sirve para la elaboración de las partes de la carrocería de vehículos, para la impermeabilización de azoteas, cubiertas y terrazas debido a su capacidad de elongación y así como para aportar rigidez a superficies que lo requieran.

Este proyecto es de carácter investigativo, ya que busca confrontar el componente teórico y práctico. La caracterización de un material compuesto por una matriz de resina poliéster y fibra natural coco teniendo en cuenta la orientación de las fibras a 0° , 45° y 90° (vertical, diagonal y horizontal), de tal manera estudiar las propiedades mecánicas de estos materiales en conjunto, aunque sean de diferentes naturalezas, por medio del ensayo a flexión y el ensayo a tracción (conocido también como tensión).

En concordancia esta investigación es relevante para la Fundación universidad de América debido a que puede ser un punto de partida para futuras investigaciones, enriqueciendo aún más el repositorio de la universidad y los estudios que se han realizado referente al tema de los materiales compuestos; promoviendo el uso de fibras naturales para reducir costos a nivel industrial y mitigar el daño ambiental ocasionado por el uso de materiales contaminantes.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un material compuesto por una matriz de resina poliéster y fibra natural de coco para su caracterización mecánica a tensión y flexión.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

1. Definir las características físico-mecánicas de la resina poliéster y la fibra natural de coco.
2. Desarrollar el diseño experimental para las pruebas mecánicas del material.
3. Fabricar moldes de probetas y ensayarlas según las normas ASTM para la realización de los ensayos de flexión y tensión.
4. Comparar el comportamiento mecánico de los materiales obtenidos contra las probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra natural coco.
5. Realizar el análisis de costos del desarrollo de material compuesto y diseño experimental.

ESTADO DEL ARTE

En esta sección se encuentran las fuentes bibliográficas e investigaciones realizadas que preceden a este proyecto titulado “elaboración de un material compuesto por una matriz de resina poliéster y fibra natural de coco para su caracterización mecánica a tensión y flexión.” Enfocando estas fuentes de información a los materiales compuestos y la intervención que han tenido las fibras naturales.

La búsqueda de nuevos materiales y procesos para su elaboración se remontan hace más de 3000 años. Desde los tiempos del antiguo Egipto se introdujo la paja como material de refuerzo para los ladrillos de arcilla, de igual manera los egipcios trabajaban con el oro (material maleable en su forma pura) para la elaboración de joyas preciosas, pero con el descubrimiento del cobre se vieron obligados a introducir un proceso de manufactura como la fundición[2]. Posteriormente en el año 1950 la compañía VEB elaboró un auto que tenía un precio relativamente bajo llamado TRABANT, el cual contaba con una carrocería constituida por una matriz de poliéster y recubierta por fibra natural de algodón obteniendo de esta manera un material compuesto reforzado[3]. En la actualidad se está optando por la búsqueda y uso de nuevas alternativas que sustituyan los materiales convencionales sintéticos por otros que sean de origen natural; permitiendo cumplir con las aplicaciones que se requieran, tanto para el campo de la ingeniería, como para la parte estética y decorativa, como arquitectónica.

En consecuencia, el tema de los materiales es un tema se abordado por años de una manera u otra por lo cual la problemática “es posible reforzar resina poliéster con fibra natural de coco para mejorar sus propiedades mecánicas” Es de suma importancia para la industria de los materiales ya que permite proyectarse a un futuro con el uso de fibras naturales como material de refuerzo y sea sustituto de otros materiales de alto costo y contaminantes como aquellos que son compuestos por fibras minerales como la fibra de vidrio o la fibra de carbono .

En el trabajo de grado elaborado por Carlos Martínez titulado “Propiedades mecánicas a tensión de las fibras del bagazo del Agave Angustifolia Haw, residuo proveniente de la producción artesanal del Instituto Politécnico Nacional” se concluye que la variación del

diámetro de 0,20mm a 0,79mm de las fibras se influye en la resistencia última a tensión (RUT) ,el módulo de elasticidad (ME)y la deformación unitaria a la rotura (DU)aumentan de 14,83MPa a 86,51MPa 0,20GPa a 1,26GPa y 0,24 a 0,26mm/mm respectivamente [4].

En la universidad Tecnológica de Pereira ,la investigación titulada “Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio” realizada por Juan Daniel Trejos Taborda ,en la cual plantea una matriz compuesta por la resina poliéster con concentraciones de volumen en 30%,35% y 40% de fibras de coco ,fibras que no se ubicaron en una posición específica ;Se pudo obtener un aumento en las propiedades en un 16% contemplando la posibilidad de emplear el material compuesto obtenido para la elaboración de palas de aerogeneradores de 30cm hasta 1 m de longitud, con la finalidad de tener una mayor rentabilidad económica, enriqueciendo la industria y disminuyendo el impacto ambiental[5].

En el trabajo de grado titulado “Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (*Guadua angustifolia*)” elaborada por Martin Estrada Mejía de la Universidad de los Andes en la cual para la extracción de la fibra de guadua se realizó mediante digestión química alcalina y un proceso Kraft con diferentes concentraciones de licor blanco (álcali efectivo AE, sulfidez S e hidro módulo HM) teniendo en cuenta el proceso de separación de las fibras de guadua más óptimo en términos de grado de lignificación y de propiedades mecánicas de las fibras; la finalidad de dicho tema era emplear la fibra como potencial refuerzo de materiales compuestos poliméricos[6].

En la Universidad de América el trabajo titulado “Caracterización de un material compuesto matriz termoestable reforzado con fibra de guadua” realizado por Jhon Ramírez y William Triana [7].Realizaron diferentes pruebas a el material compuesto mencionado, teniendo en cuenta que la guadua se sometió a diferentes procedimientos para la eliminación de la lignina con el propósito de observar su influencia en el comportamiento del material, los resultados obtenidos fueron tanto cuantitativamente

como cualitativamente ;a través de métodos y ensayos como el de Van Soest, pruebas de tensión y análisis SEM. El material fue elaborado por medio de un molde abierto y utilizando 10%, 15% y 20 % de fibra de guadua en el polímero. Gracias a que emplearon diferentes métodos para deslignificación de la fibra pudieron concluir que el más adecuado es la mezcla del ácido acético y clorito de sodio ,debido a que se pueden mantener o mejorar las propiedades ,las fibras fueron obtenidas en forma de tiras que posteriormente fueron molidas y tamizadas con el objetivo de obtener un tamaño apropiado, para la fabricación del material compuesto teniendo en cuenta la norma ASTM D638 para ensayos a tensión la cual permitió realizar el diseño de experimentos y determinar las propiedades del material compuesto.

En la Universidad Libre el trabajo titulado” obtención y caracterización mecánica de material compuesto resina poliéster - fibra de piña” realizado por Andrés Mauricio Alvarado empleo una matriz conformada por 5%, 10% y 15 % en volumen de fibras de piña, las cuales fueron tratadas termoquímicamente con la finalidad de mejorar la adherencia a la matriz, eliminar tanto la humedad como agentes orgánicos que con el tiempo degradan las fibras. Las probetas para realizar los ensayos de tensión y flexión fueron fabricadas por un moldeo manual a compresión; las fibras de piña fueron colocadas de manera unidireccional y al realizar los ensayos mencionados el autor pudo concluir que la matriz de resina poliéster y 15% en volumen de fibras de piña obtuvo los valores más alto en esfuerzo de tensión, flexión y módulo de elasticidad comparado los materiales con 10, 5 y 0% de refuerzo[8].

En el artículo científico tratado por Arrakhis *et.al* investigo sobre la influencia mecánica que tienen las fibras de coco tratadas químicamente como material de refuerzo de una matriz de polietileno de alta densidad (HDPE) para que fuera más compatible la matriz-fibra; se utilizaron tres tipos diferentes de tratamientos químicos, y estudiaron cómo se comporta mecánicamente el material obtenido: silano, hidróxido de sodio y do decano bromuro(C12)[9]. “El polietileno de alta densidad fue reforzado por 20% en masa de fibra de coco en cada uno de los materiales. Lo que se puede concluir es que el módulo de elasticidad de los materiales que fueron reforzados con las fibras tratadas con silano y

(C12) incrementaron considerablemente comparándolo con el HDPE sin refuerzo, correspondientes a 120% y 70 % respectivamente.”

Harish et al. comparo las propiedades mecánicas de dos tipos de materiales compuestos, uno por resina epóxica-fibra de coco y el otro con resina epóxica- fibra de vidrio. El material compuesto por resina epóxica-fibra de coco obtuvo una resistencia a tensión de 17,86 MPa, una resistencia ultima a flexión de 31,08 MPa y una resistencia de impacto de 11,49 kJ/m², por otra parte el material compuesto con resina epóxica- fibra de vidrio obtuvo una resistencia a tensión de 85,35 MPa, una resistencia ultima a flexión de 132,39 MPa y una resistencia de impacto de 52,66 kJ/m²; el autor pudo concluir que la fibra de coco puede ser utilizada como material de refuerzo para fabricar compuestos termoplásticos de baja exigencia mecánica ya que las propiedades mecánicas son significativamente más bajas que las obtenidas por el compuesto reforzado con fibra de vidrio[10].

los investigadores *Mominul et al.* de la india crearon un material compuesto por polipropileno y reforzado con fibra natural de coco, en la investigación comparan la matriz tanto con refuerzo de fibra de coco, como la misma matriz, pero con ausencia de fibra de coco. Ambas matrices fueron patentadas en una máquina de moldeo por inyección. Estudiaron el comportamiento de dichas matrices teniendo en cuenta si las fibras son tratadas químicamente o no, empleando (15, 20, 25, 30 y 35 % en masa) de la fibra de coco presente en la matriz. Se pudo establecer que la matriz de polipropileno reforzada con 30 % en masa por fibra de coco obtuvo una resistencia mecánica a tensión de 27MPa, una flexión de 57,5MPa y un impacto de 56,5 J/M, se determinaron las mismas propiedades mecánicas para la matriz sin refuerzo y se obtuvieron los siguientes valores de resistencia mecánica a tensión de 27MPa, una flexión de 43,5MPa y un impacto de 22KJ/M; de la investigación realizada pudieron concluir que las fibras de coco tratadas químicamente tienen un mejor rendimiento en comparación a las fibras no tratadas[11].

En el artículo” Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros” de la universidad

politécnica de Ecuador. Los autores proponen diferentes porcentajes en volumen en fibras de coco para reforzar la resina poliéster; sin embargo pudieron concluir que utilizar un 20% de volumen en fibras de coco es la opción más adecuada debido a que se obtienen buenas propiedades mecánicas y una buena densidad, razón por la cual se seleccionó esta configuración para los ensayos de impacto y la fabricación de tableros, de igual manera elaboraron un mueble hecho con este material compuesto con la finalidad de utilizarlo como mesa de TV[12].

En la Universidad Técnica del Norte, la investigación titulada “construcción de una estructura de soporte para una aeronave no tripulada aplicando ingeniería inversa, utilizando material de matriz de resina poliéster reforzado con fibra natural de coco o cabuya”. En este trabajo de grado hicieron uso del método de pre-impregnado; en el cual las fibras se emplean en forma de tejido el cual es impregnado por la resina poliéster. Teniendo en cuenta lo que se ha mencionado en la investigación pudieron concluir que con este método se poseen las mejores propiedades físicas y mecánicas aptas para la construcción de la estructura del dron[13].

1. BASES TEÓRICAS DE LOS MATERIALES COMPUESTOS Y FIBRAS

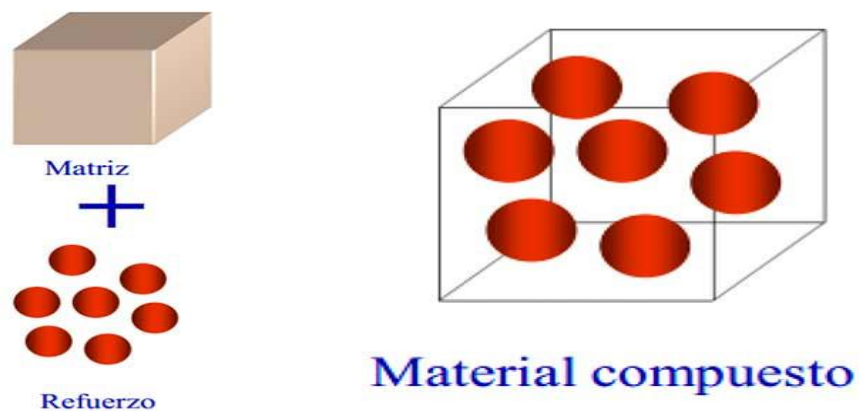
En este capítulo se establecen los fundamentos teóricos acerca de los materiales compuestos ya que es de vital importancia entender su origen y composición, de esta manera permite conocer de manera más clara las propiedades físico-mecánicas que caracterizan a la resina poliéster y la fibra natural de coco, tratando cada material por separado. Para posteriormente poder trabajarlos en conjunto.

1.1 Materiales compuestos

Los materiales compuestos son aquellos que surgen a partir de la combinación de dos más materiales; por este motivo son denominados como “multifase”. Constituidos por una fase principal continua llamada “matriz” que es la base y otra que lo rodea que es llamada “fase dispersa” o fibra que sirve de refuerzo. Ambos componentes son de diferente naturaleza por lo cual el objetivo es atribuir propiedades de uno y otro, para dar origen a un material mejorado con propiedades completamente nuevas[5].

Figura 1.

Elementos de un material compuesto



Nota. En la figura se puede observar los Elementos de un material compuesto los cuales son la matriz la cual es la fase continua a manera de contenedor y el refuerzo que es la fase dispersa que se puede apreciar a manera de círculos rojos. Tomado de Askeland, Ciencia e Ingeniería de materiales sexta edición, vol. 18, no. 9. 1963.

1.1.1 Matriz

Es conocida como la fase continua, en esencia es la base del material compuesto, en la cual su función principal es la adherencia y soporte del refuerzo(fibras) de esta manera se mantienen fijas en la posición deseada. No es tan rígida ni tan resistente como el material de refuerzo; por tal motivo sirve de recubrimiento de las fibras para que las proteja del deterioro mecánico y químico del ambiente exterior, así mismo le transmite la carga a el material de refuerzo y evita la propagación de grietas[14].

1.1.2 Refuerzo

Es conocido como la fase dispersa, son las fibras encargadas de aportarle rigidez al material compuesto y mejorar las propiedades de la matriz para poder soportar la carga; las características que aporta los refuerzos son: proporcionar el equilibrio térmico entre los dos componentes (matriz y refuerzo), establecer la conductividad eléctrica y/o aislamiento del material, estructurar la matriz para absorber tensiones. Los refuerzos pueden ser: fibras naturales o sintéticas, partículas o elementos estructurales[15].

1.1.3 Interfase

La superficie que se encuentra en medio de la matriz y el refuerzo se denomina interfaz. Este tipo de materiales por tener una composición tan variable permiten que se adicione diferentes rellenos, agentes de acoplamiento y revestimientos, de esta manera se garantiza que la superficie de la interfaz del material compuesto mejora y a su vez las propiedades aumentan favorablemente[16].

1.2 Clasificación de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se pueden clasificar de diferentes maneras; principalmente por su tipo de matriz la cual puede ser matriz metálica, matriz cerámica y matriz polimérica o según su tipo de refuerzo; el cual puede ser por partículas o por fibras, materiales compuestos estructurales o tipo sándwich son aquellos que son conformados por láminas de material homogéneas, de esta manera las propiedades dependen de los constituyentes y de la geometría de diseño establecida. En esta investigación se abarca según su tipo de matriz haciendo énfasis en el tipo de matriz y en los materiales compuestos por fibras.

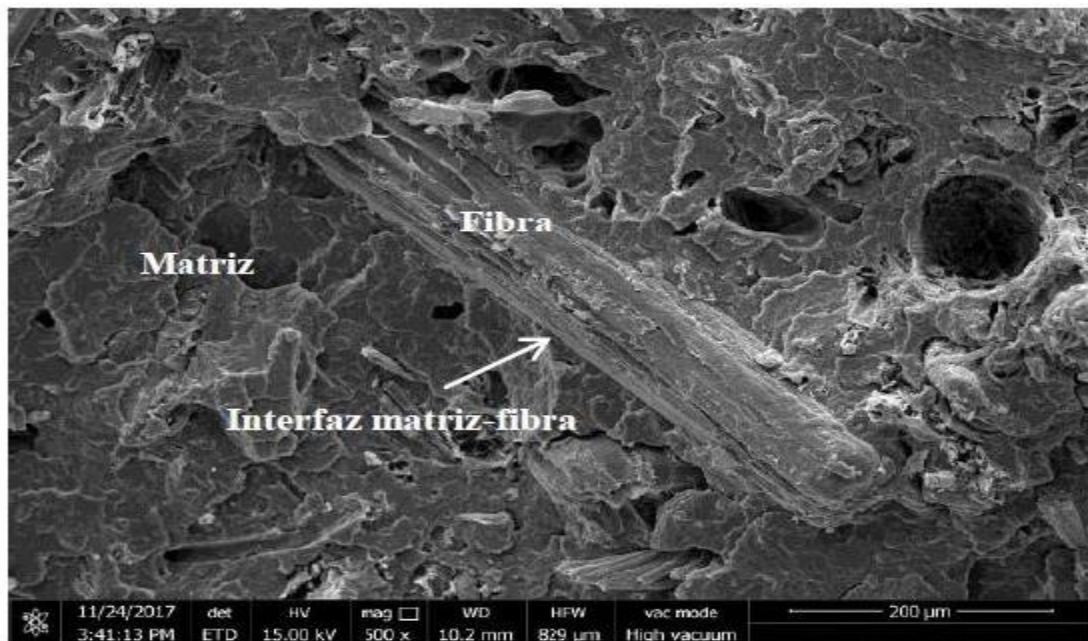
1.2.1 Materiales compuestos por matriz metálica

Los materiales compuestos por matriz metálica (MMC) dentro de este tipo de material se podrían dividir en dos grupos teniendo en cuenta sus aplicaciones; dado que hay unos empleados para corte y desgaste (aceros reforzados, carburos cementados, entre otros). Como aquellos que por sus propiedades mecánicas tales como: su módulo específico, resistencia y rigidez, tienen una gran auge en la industria aeronáutica y automotriz[17]. Las propiedades físicas y mecánicas que presentan este tipo de material compuesto son afectadas por tratamientos térmicos, influyendo así en su desempeño. El tipo de microconstituyente presente en la matriz metálica va a depender de la cinética cuando se enfríe y solidifique el material[18].

Dentro del uso más común de las fibras metálicas para la composición de la matriz están las fibras de aluminio, magnesio y titanio.

Figura 2.

Compuesto metálico



Nota. En la figura se puede apreciar un material compuesto por matriz metálica con su refuerzo, esta imagen es tomada de un microscopio electrónico de barrido; el cual permite observar en detalle la estructura de un material. Donde la parte más oscura es la matriz y en su interior embebido el refuerzo de color gris en la capa media conocida como interfase. [En línea] Tomado <https://es.slideshare.net/gonzalomartinezbarre/interfase-de-materiales-compuestos>

Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Alto módulo de elasticidad.
- Baja densidad.
- Compatibilidad mecánica (un coeficiente de expansión térmica bajo, pero que se adapte a las características de la matriz).
- Estabilidad térmica.
- Alta resistencia a la tracción y a la compresión.

1.2.2 **Materiales compuestos por matriz cerámica**

Los materiales compuestos por matriz cerámica (CMC), la cerámica aporta buenas propiedades térmicas al material elaborado ya que soporta elevadas temperaturas, presenta una baja densidad lo que lo hace bastante liviano; aunque con muy buenas propiedades mecánicas; por esta razón es que comúnmente se emplean en componentes de vehículos automotores [19]. Sin embargo, su principal desventaja es que es un material muy frágil; por lo cual la finalidad de combinar este tipo de material con otro es aumentar su tenacidad. Este tipo de matriz es reforzada habitualmente por fibras cortas y partículas que generalmente son metálicas o de otro tipo de cerámica; las cuales no interfieran en el proceso del moldeo y compactado del material, los refuerzos más comunes son: Vidrios cerámicos, nitruro de silicio (Si_3N_4), zirconio, carburo de silicio (SiC) y alúmina (Al_2O_3)

Figura 3.

Compuesto cerámico



Nota. En la figura se puede apreciar un material compuesto por matriz cerámica con su refuerzo, esta imagen es tomada de un microscopio electrónico de barrido; el cual permite observar en detalle la estructura de un material. Donde la parte más oscura es la matriz y en su interior embebido el refuerzo de color gris en la capa media conocida como interfase. [En línea] Tomado <https://es.slideshare.net/gonzalomartinezbarre/interfase-de-materiales-compuestos>.

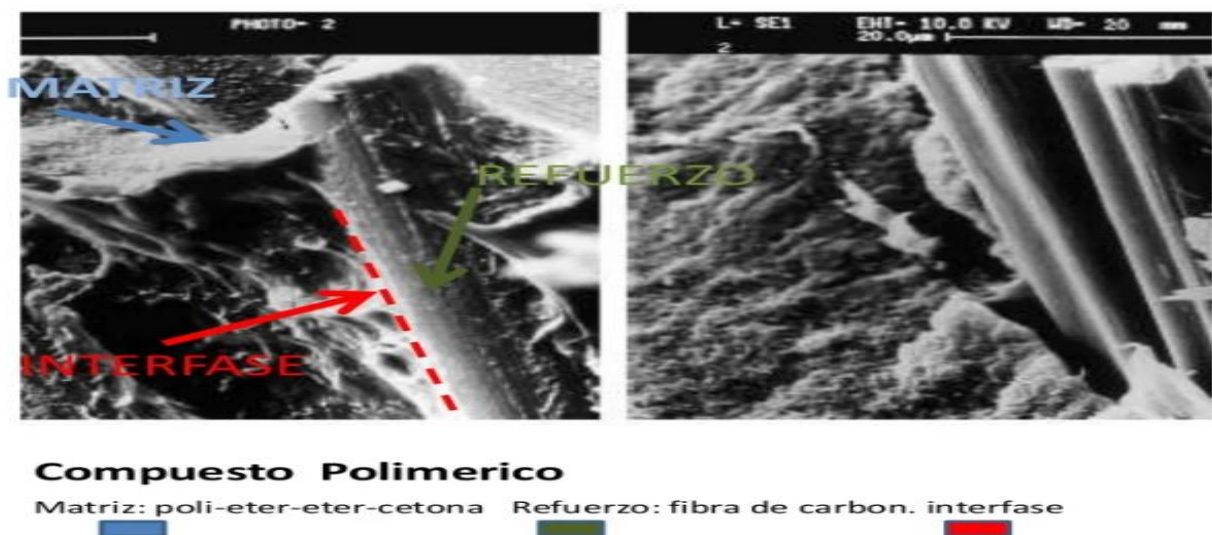
1.2.3 Materiales compuestos por matriz polimérica

Los materiales compuestos por matriz polimérica (CMP) son aquellos que están constituidos por un polímero y son reforzados por fibras o polvos; los cuales se utilizan para brindar refuerzo a la matriz[20]. Es tipo de matriz es la más utilizada; ya que tanto los polímeros termoplásticos, termoestables y elastómeros; son económicos a comparación a los materiales compuestos metálicos, y se destacan por su uso en aplicaciones tanto industriales como cotidianas; ya que presentan buenas propiedades mecánicas lo que los hace adecuados por su fácil adaptabilidad. Se emplean diferentes tipos de refuerzos, pueden usarse en forma de fibras o partículas.

Los materiales termoplásticos tienen la particularidad que una vez son calentados pueden derretirse [21]. Es un proceso reversible el cual no afecta sus propiedades mecánicas. Por otra parte, los materiales elastómeros se pueden deformar considerablemente una vez se está realizando el ensayo a tensión; sin embargo, una vez terminada la prueba, este tipo de polímero es capaz de recuperar su forma inicial.

Figura 4.

Compuesto polimérico



Nota. En la figura se puede apreciar un material compuesto por matriz polimérica con su refuerzo, esta imagen es tomada de un microscopio electrónico de barrido; el cual permite observar en detalle la estructura de un material. Donde la parte más oscura es la matriz y en su interior embebido el refuerzo de color gris en la capa media conocida como interfase. [En línea] Tomado <https://es.slideshare.net/gonzalomartinezbarre/interfase-de-materiales-compuestos>

1.3 Polímeros

Los polímeros se pueden dividir en tres tipos: termoplásticos, elastómeros y termoestables. Los cuales se diferencian por su composición química, influyendo de esta manera en su comportamiento físico y mecánico.

- Termoplásticos: Este tipo de polímeros es el producto de largas cadenas de monómeros (moléculas pequeñas) por medio de fuertes enlaces atómicos; este polímero se emplea en aplicaciones de bajos requisitos; debido a que tiene un comportamiento muy dúctil y plástico lo que lo hace fácil de reciclar para poderlo reprocesar [22].

- Elastómeros: Este tipo de polímero posee una estructura intermedia, por lo cual permite crear enlaces cruzados entre las cadenas ocasionando que se deforme elásticamente. Uno de los principales exponentes de los polímeros elastómeros, son los hules debido a que se refuerzan con negro de humo[23].

- Termoestables: Reciben este nombre debido a que una vez que han tomado una forma, ésta no puede ser modificada , este tipo de polímeros está conformado por enlaces químicos cruzados que unen fuertemente largas cadenas de moléculas que forman redes tridimensionales .Estos polímeros carecen de temperatura fija de fusión; razón por la cual dificulta su reutilización, son más resistentes comparación a los termoestables sin embargo son mucho más frágiles [24].Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Bajo peso
- Alta estabilidad dimensional
- Buenas propiedades como aislante eléctrico y térmico
- Alta resistencia a la fluencia y a la deformación bajo carga
- Alta rigidez.

Las resinas son el exponente más común e importante de los polímeros termoestables debido a su gran campo de aplicación y fácil acceso debido a que su costo es relativamente bajo, entre ellas se encuentra la resina epóxica, las polimidas, poliéster no saturado y el formaldehído; la resina líquida requiere del adición de un

catalizador para que de esta manera se cura (endurece). El material obtenido es duro y puede soportar temperaturas hasta de 75 °C lo que lo hace frágil pero resistente[25].

Tabla 1.

Tipos de resina

Termoestables	Características de las principales aplicaciones	Aplicaciones típicas
Fenólicas	Excelente estabilidad térmica hasta los 150°C, Susceptible de formar muchos materiales compuestos con varias resinas material de relleno, barato, etc.	Teléfonos, carcasa de motores, elementos eléctricos
Siliconas	Es económico y posee excelentes propiedades eléctrica, se puede utilizar a temperaturas ambiente o elevadas, se refuerza con fibras	Laminas y cinta aislante.
Epoxis	Excelente combinación de propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión, dimensionalmente estables, buena adherencia, precio asequible y buenas propiedades eléctricas	Laminas reforzadas con fibra de vidrio, enchufes, adhesivos, recubrimientos.
Poliéster	Es económico y posee excelentes propiedades eléctrica, se puede utilizar a temperaturas ambiente o elevadas, se refuerza con fibras	Ventiladores, sillas, barcos pequeños, etc.

Nota. Esta tabla muestra los tipos de resina las cuales pertenecen al grupo de polímeros termoestables, se evidencian sus principales características y aplicaciones. Tomado de: G. E. Mazón Ortiz, "caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales," universidad técnica de Ambato facultad, 2017.

Los polímeros fenólicos se refuerzan principalmente con materiales particulados, mientras que en el caso de los poliésteres y epóxicos son reforzados por fibras.

1.4 Resina poliéster

En el mercado la resina poliéster insaturada se puede adquirir en forma de líquido espeso; la cual puede encontrarse en diferentes colores que varían según sus características, usos, tipo y grado de preparación. pueden ser, azul o café, transparente, amarillo y rosado. La resina poliéster es de la más comerciales debido a su fácil uso, permite que sea incorporada a diferentes productos los cuales requieren calidad y duración; por lo cual existe una gran variedad de tipos en el comercio según la aplicación que se requiera [26].

La resina poliéster es un tipo de polímero termo endurecible insaturado que se forma mediante la reacción de ácidos orgánicos y alcoholes poli hídricos posee entre 30% y 50% de estireno (hidrocarburo compuesto químico liquido incoloro, se emplea para la preparación de polímeros). Sus propiedades dependen directamente del ácido y el alcohol que componen la resina. Sus aplicaciones son tanto de uso doméstico como industrial, comercialmente se puede encontrar resina poliéster en estado líquido a temperatura ambiente, sin embargo este tipo de resina son Pre aceleradas o aceleradas las cuales usan un catalizador para poder convertirla en estado sólido[27].

1.4.1 Tipos de resina poliéster

- Poliéster Isoftalico :Este tipo de poliéster posee un buen desempeño mecánico mayor resistencia química que otro tipo de resinas poliéster; las isoftalicas se emplean para la elaboración productos que requieren estar expuestos al medio ambiente lo que los hace resistentes al agua y agentes químicos, se caracteriza por ser fuerte y flexible[28].
- Poliéster Isoftalico con neopentilglicol (ISO-NPG): Este tipo de resina como su nombre lo dice pertenece a la familia de las isoftalicas, el neopentilglicol por su composición química permite que sea resistente en contacto con el agua por lo cual es muy común se emplee para la elaboración de tinas de hidromasajes, piscinas y toboganes. Además, evita que microorganismos como hongos se adhieran a la superficie del producto que es elaborado con este tipo resina; por tal motivo es la que más se emplea en tanques de la industria alimenticia [26].
- Poliéster ortoftalico: Este tipo de resina es la más convencional y se emplea de manera general en diferentes industrias. Posee una buena resistencia mecánica, su composición química es 35% ácido ortoláftico y 45% estireno; comúnmente se puede utilizar en la fabricación de tejas, autopartes, sillas, artesanías, entre otras[26].
- Poliéster tereftalico: Este tipo de resinas en comparación a las resinas ortoftalicas; posee una muy buena aceptación de cargas minerales, una resistencia química superior, teniendo una mejor capacidad para soportar altas temperaturas y baja absorción de agua [29].

1.4.2 *Propiedades mecánicas de la resina poliéster*

En la tabla que se presenta a continuación se pueden apreciar las propiedades mecánicas de la resina poliéster que se han obtenido experimental, junto con su determinado valor. El poliéster es un material que tiene propiedades sobresalientes, sin embargo al reforzarlo sus propiedades mecánicas mejoran dependiendo la naturaleza y composición del refuerzo [26].

Tabla 2.

Propiedades mecánicas de la resina poliéster

Propiedad	Valor
Resistencia a la tracción	55 MN/m ²
Resistencia a la compresión	140 MN/m ²
Resistencia al impacto	2KJ/m ²
Módulo de Young	3,55 GN/m ²
Alargamiento a la rotura	2%
Conductividad térmica	0,2 W /m°C
Coefficiente de dilatación lineal	100 ⁻⁶ °C
Absorción de agua 24hr, 20°C	0,15%
Densidad (<i>peso específico</i>)	1,28 g/cm ³
Dureza	110 Rockwell M

Nota. Esta tabla muestra las propiedades mecánicas de la resina poliéster. Tomado de: J. G. Paredes, “Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses,” Universidad Técnica de Ambato-Ecuador, 2012.

1.4.3 *Propiedades físicas de la resina poliéster*

En la tabla que se presenta a continuación se pueden apreciar las propiedades físicas de los diferentes tipos de resina, estas propiedades varían según la concentración de catalizador y otros factores de la composición de este tipo de material; por lo cual se pueden obtener comerciales diferentes referencias para un mismo tipo de resina [22].

Tabla 3.*Propiedades físicas de los diferentes tipos resina poliéster*

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado UP	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina vinilíster	Resina poliimida
Densidad (gr/cm ³)	1,17-1,26	1,17-1,25	1,25-1,3	1,17-1,25	1,27-1,42
Alargamiento a la rotura (%)	<3	6-8	<3	3,5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo(°C)	Temp ambiente hasta 180°	Temp ambiente hasta 170	150-190	Temp ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento(°C)	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas	Muy buenas				Depende del fabricante
Calor de la reacción	Reacción exotérmica dependiendo de la geometría				
Contracción del fraguado (%)	6-10 lineal entre 1,8 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

Nota. Esta tabla 3 muestra los tipos de resina y principales características físicas. Tomado de: A. D. Jácome León, "estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas," universidad técnica de Ambato, 2017.

Las propiedades de la resina poliéster se ven afectadas si se altera cualquiera de las siguientes características:

- Peso molecular del poliéster base: El índice del ácido influye sustancialmente en la relación que existe entre el monómero y poliéster, controlando el peso molecular. El índice puede tomar valores dentro del rango de 20 a 40; entre menor sea el valor del índice su peso molecular será mayor, alterando de esta manera propiedades como lo son la viscosidad y el peso específico.

- Catalizadores, acelerantes, inhibidores: Las resinas poliéster se pueden encontrar comercialmente en un estado líquido poco viscoso, para iniciar el proceso de endurecimiento de este material; para ello se hace uso de la polimerización empleando peróxidos orgánicos. Para conseguir un proceso de endurecimiento acelerado, hay que tener en cuenta que la relación acelerante-indicador sea la más adecuada. Los catalizadores más comunes son: para temperaturas ambiente peróxido ciclohexano y metil-etil-cetona, para altas temperaturas peróxido de benzolio y como catalizador naftenado de cobalto.
- Tipo y porcentaje de ácido no saturado: Depende del tipo de resina, la rigidez mecánica y la reactividad de la resina afectan directamente en proporción la cantidad de ácido no saturado.
- Tipo y porcentaje de ácido saturado: Se emplean comúnmente los aromáticos, ácidos bibásicos y alifáticos; los cuales atribuyen a las resinas buena tenacidad, mayor flexibilidad y menor temperatura de distorsión.
- Tipo y porcentaje del monómero vinílico: El estireno posee una polimerización sencilla y es económico, por este motivo es de los monómeros vinílicos que mejor se comercializa debido a su uso tan frecuente. El estireno crea una reacción exotérmica la cual ocasiona que aumente el tiempo de curado y la elongación de este material, su resistencia mecánica a tracción también disminuye considerablemente; por esta razón es que solo se debe utilizar máximo el 40% en proporción de estireno.

Todos los aspectos mencionados anteriormente influyen directamente en el comportamiento mecánico de las resinas por lo cual sus propiedades cambian[30].

1.4.4 Aplicaciones de la resina poliéster

La resina poliéster tiene diversos usos lo cual la hace un material bastante versátil gracias a su adherencia y resistencia mecánica, dentro de sus aplicaciones más destacadas están: en pinturas y vinilos, pintura de vehículos, en la industria eléctrica como aislante para el revestimiento de cableados, en la industria de la construcción de viviendas para recubrir goteras azoteas, entre muchos otros campos.

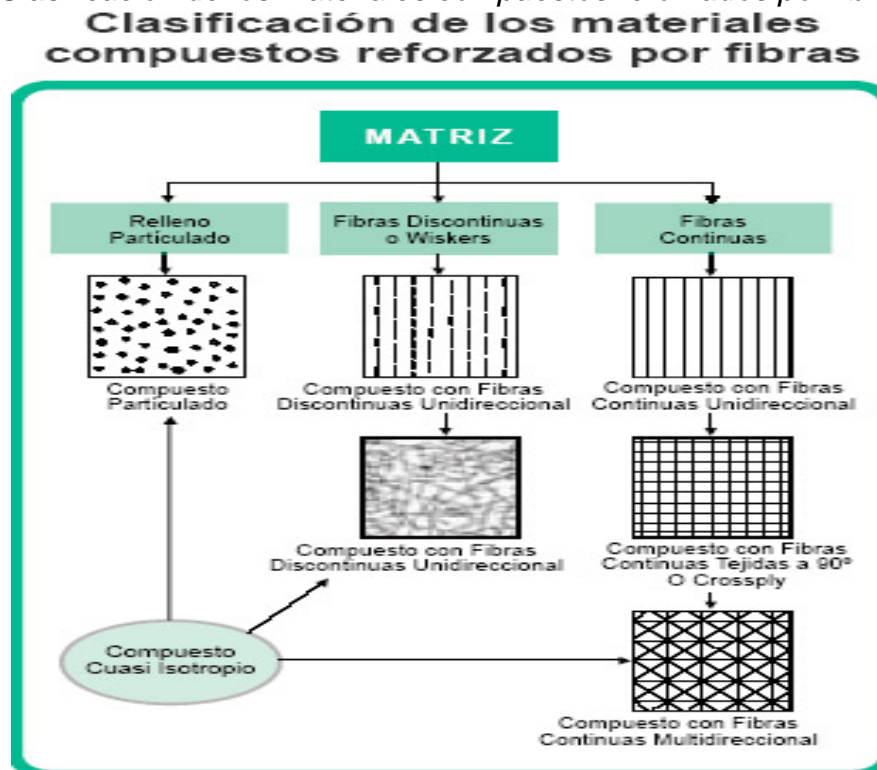
1.5 Materiales compuestos por fibras

Los materiales compuestos que son reforzados por fibras producen una mejor relación entre la resistencia y el peso, mejor módulo de Young y mayor resistencia a la fatiga. Incorporando fibras resistentes, aunque frágiles en una matriz más blanda y más dúctil permitiendo soportar mejor las cargas[31].

La matriz se encarga de brindar protección, forma y sostenibilidad, al igual que cuidar de factores externos como el oxígeno y humedad; que puedan degradar las propiedades mecánicas de las fibras; mientras que las fibras se encargan de soportar la mayor parte de la fuerza [32].

Figura 5.

Clasificación de los materiales compuestos reforzados por fibras.



Nota. En la figura se puede apreciar un mapa conceptual de la matriz; la cual se puede reforzar por diferentes tipos de materiales, que pueden ser: compuesto por relleno particulado, fibras discontinuas unidireccionales, compuesto por fibras continuas unidireccionales. A su vez se muestra la orientación del refuerzo en la matriz. [En línea] Tomado de: <https://www.plastico.com/temas/Las-fibras-naturales-en-los-materiales-plasticos-compuestos+3057872>

1.5.1 Fibras

Las fibras de un material pueden tener la forma de un cilindro muy delgado, aparentemente se ven muy similares; pero al observarlas de una manera más detallada se puede evidenciar que son heterogéneas, encontrando de esta manera diferentes longitudes y diámetros, la variación del diámetro puede estar entre $10\mu\text{m}$ y $150\mu\text{m}$, esto se debe a las condiciones ambientales bajo a las cuales están expuestas las fibras en su desarrollo[32].

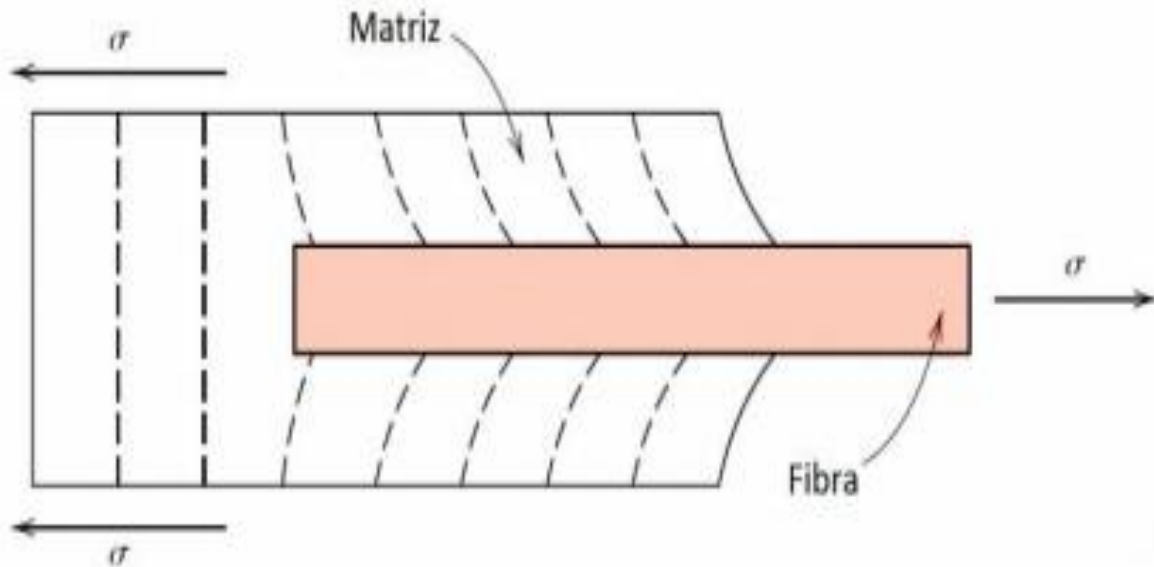
Los materiales compuestos pueden poseer diferentes tipos de matriz, ya se han poliméricas, metálicas o cerámicas. Al reforzar estas matrices con fibras, se busca que el desempeño del material mejore; en cuanto su resistencia, rigidez y/o tenacidad. Las propiedades mecánicas dependen los dos componentes: matriz y fibras, por tal motivo hay que tener en cuenta: Orientación y ordenamiento de las fibras en la matriz el diámetro y la longitud. Son características que influye considerablemente en sus propiedades mecánicas.

1.5.2 Importancia de la longitud de la fibra en materiales compuestos

La influencia que tiene la longitud de las fibras utilizadas como refuerzo en un material es de vital importancia debido a que no se puede dar por hecho que las características mecánicas que posee el material compuesto dependerán únicamente de las propiedades de la fibra. La matriz se encarga de brindar protección, forma y sostenibilidad, al igual que cuidar de factores externos como el oxígeno y humedad; que puedan degradar las propiedades mecánicas de las fibras; mientras que las fibras se encargan de soportar la mayor parte de la fuerza [32]. Cuando el conjunto matriz-fibra es sometido a un esfuerzo a tracción, la unión entre estos dos componentes se ve afectada, ya que se genera una deformación en la matriz haciendo que se propague por todo el materia ocasionando extremos de la fibra no soporten la carga.

Figura 6.

Distribución de la carga en las fibras



Nota. En la figura se puede apreciar la matriz de un material compuesto; el cual es reforzado por fibras y como se distribuyen los esfuerzos por toda su longitud. Tomado de: Tomado de: Askeland, *Ciencia e Ingeniería de materiales séptima edición*, 2017

Las fibras pueden tener la longitud deseada; de esta manera se pueden cortar estableciendo un tamaño o en su defecto pueden ser largas y continuas. Comúnmente las dimensiones de las fibras son caracterizadas mediante la relación: (L/d) .

Donde (L) es la longitud de las fibras y (d) es el diámetro; las fibras presentan diámetros que varían en el rango de 10 micras y 150 micras[33]. Con fines prácticos es conveniente seleccionar una longitud crítica (L_c) para la fibra; con la finalidad de darle al material compuesto el mejor comportamiento mecánico buscando mejorar su resistencia y rigidez; la longitud crítica depende del diámetro de la fibra; así mismo como como el esfuerzo cortante que existe entre la unión (interface) de la fibra y la matriz y la resistencia atracción de la fibra.

longitud crítica está dada por la ecuación 1 como se muestra a continuación.

$$L_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{\tau_c} \quad (1)$$

Donde:

L_c = Longitud crítica de la fibra (mm)

σ_f = Resistencia a la tracción de la fibra (MPa)

d = Diámetro de la fibra (μ)

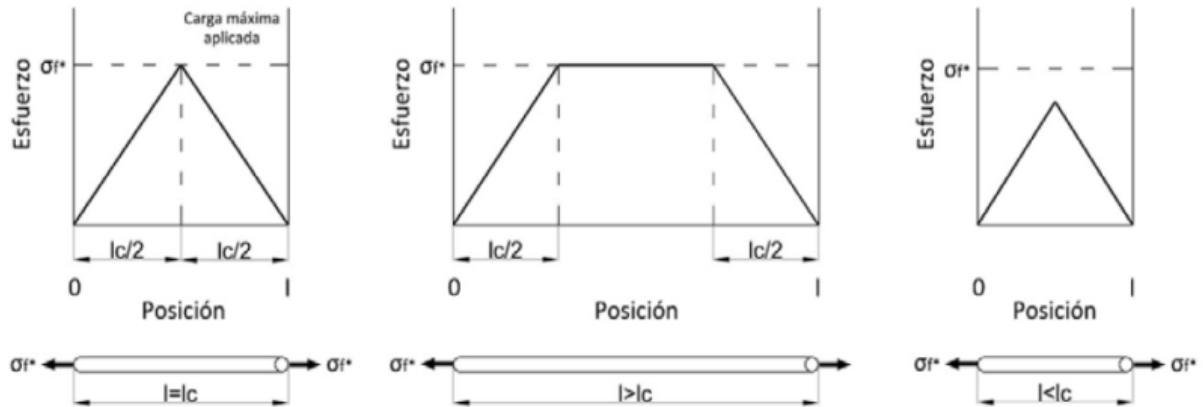
τ_c = Resistencia a esfuerzo cortante de la matriz (MPa)

Existen tres posibles situaciones, en donde la longitud de la fibra se encuentra relacionada con la longitud crítica. De esta manera se influye en el comportamiento mecánico de material compuesto; teniendo en cuenta lo anterior pueden ser:

- $L=L_c$ para este caso se obtendrá que el esfuerzo máximo estará situado en el punto medio de la fibra.
- $L>L_c$ para este caso la longitud de la fibra es mayor a la longitud crítica por lo cual se alcanza el valor de esfuerzo máximo y se les conoce como fibras continuas.
- $L<L_c$ para este caso la longitud de la fibra es menor a la longitud crítica en consecuencia el valor de esfuerzo que incide sobre la fibra es menor al que es capaz de soportar; ocasionando que la matriz falle antes que se alcance el esfuerzo máximo, a este tipo de fibra se les conoce como fibras discontinuas o cortas.

Figura 7.

Efecto de la longitud en la resistencia de la fibra



Nota. En la figura se puede apreciar los 3 posibles casos en los que la longitud de la fibra influye en el esfuerzo del material Tomado de: William D.; Callister J, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 1st ed. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-México: Editorial Reverté, S.A, 1995.

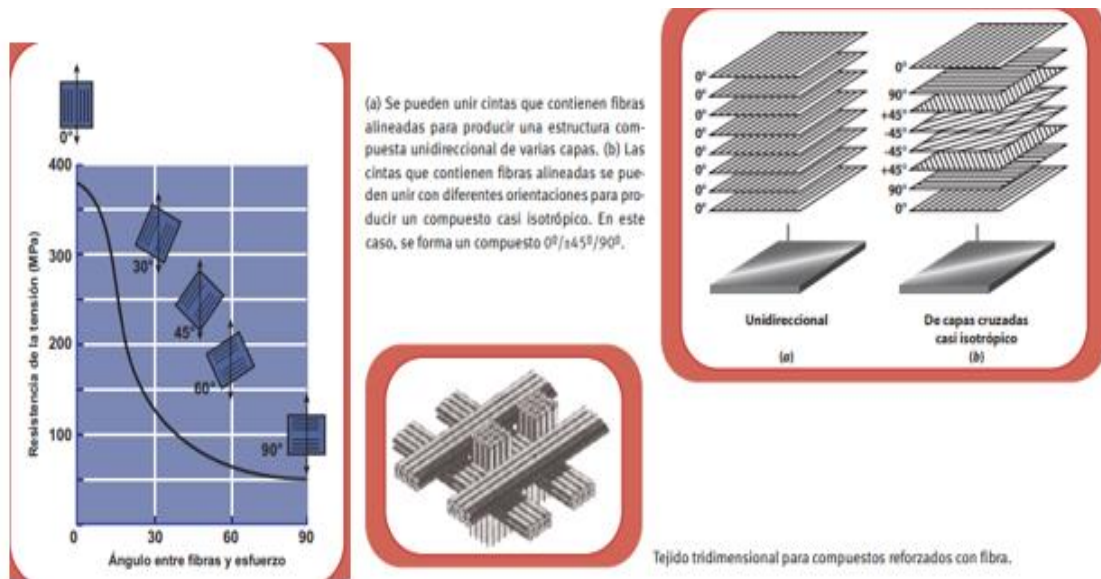
Se ha evidenciado que la resistencia mecánica del compuesto mejora cuando la relación (L/d) de la forma de la fibra es grande. Frecuentemente las fibras se pueden fracturar ya que la superficie que presentan no es la más óptima. Se puede tener en cuenta como factor de diseño fabricar con un diámetro pequeño las fibras; ya que de esta manera se maneja menos área superficial ocasionando que se presenten menos defectos cuando se sometan bajo una carga. Otra condición recomendable es que las fibras sean lo más largas posible ya que al ser más uniforme; se aumenta la capacidad de soportar más carga[33].

1.5.3 Orientación de las fibras

Las fibras de refuerzo se pueden ubicar en la matriz en diferentes direcciones. Las fibras que tienen una longitud corta se pueden ubicar de manera aleatoria; En la matriz se pueden orientar las fibras largas y continuas en diferentes posiciones, haciendo uso de arreglos ortogonales en capas de $0^\circ/90^\circ$; teniendo en cuenta esta relación se obtienen resistencias en dos direcciones perpendiculares de manera aceptable. La disposición de las fibras teniendo capas de $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$ brindan un refuerzo en diferentes direcciones mejorando aún más su desempeño mecánico.

Figura 8.

Resistencia de la fibra en diferentes orientaciones



Nota. En la figura se muestra la orientación del refuerzo en la matriz. Tomado de: Askeland, *Ciencia e Ingeniería de materiales séptima edición*, 2017

1.5.4 Ley de las mezclas para materiales compuestos por fibras

La ley de las mezclas permite determinar las propiedades de un material compuesto reforzado por fibras[34].se puede expresar como :

$$P_C = fV_m \cdot P_m + fV_r \cdot P_r \quad (2)$$

Tenga en cuenta que $fV_m + fV_r = 1$

Donde:

P_C =Propiedad del material compuesto

fV_m =Fracción volumétrica de la matriz

P_m =Propiedad de la matriz

fV_r = Fracción volumétrica del refuerzo

P_r =Propiedad del refuerzo

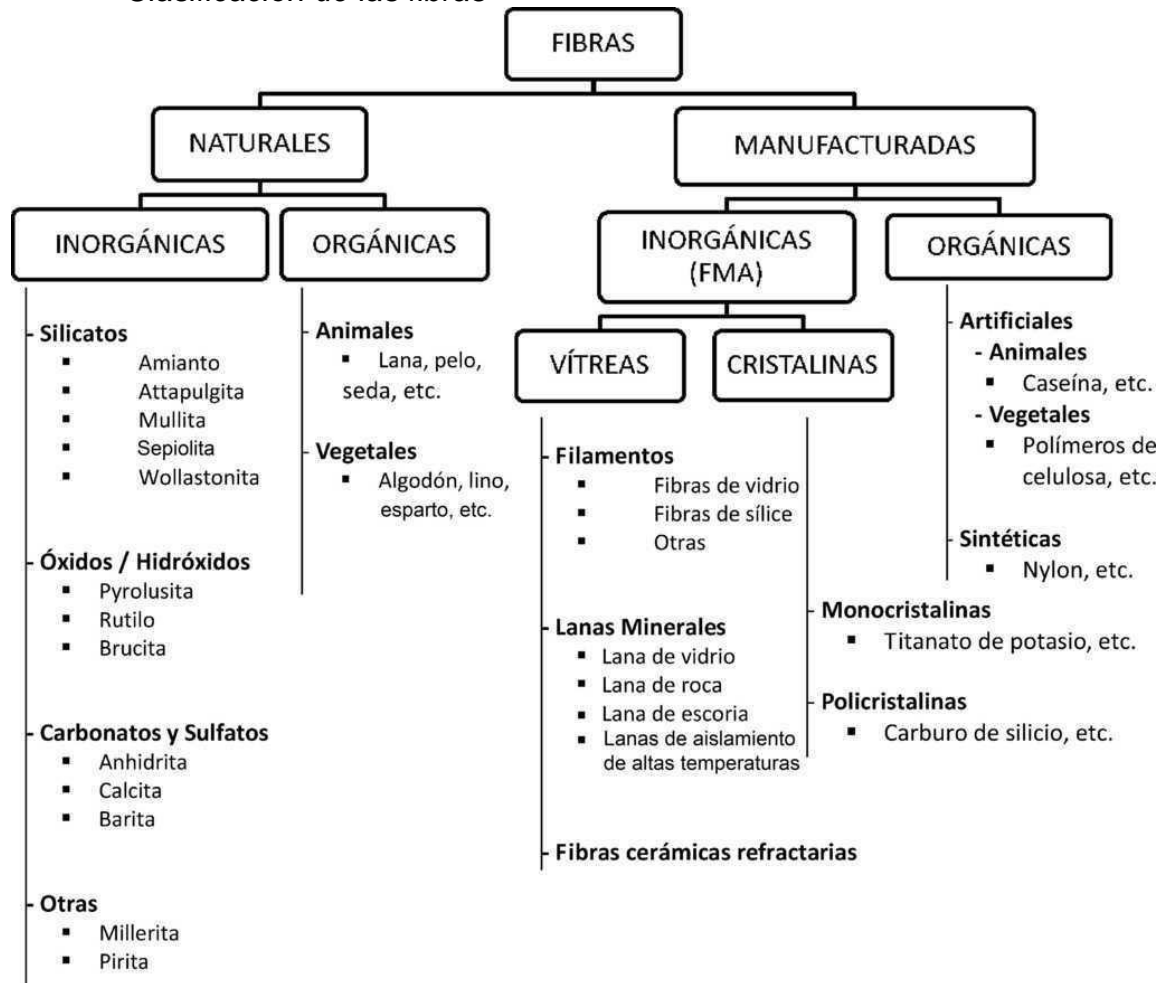
1.5.5 Clasificación de las fibras

Las fibras se emplean como refuerzo por tal motivo se pueden clasificar como fibras convencionales es decir las de uso frecuente en aplicaciones industriales también son conocidas bajo el nombre de fibras manufacturada (artificiales) y fibras naturales.

En la siguiente figura se puede evidenciar la clasificación y los tipos de fibras más frecuentes.

Figura 9.

Clasificación de las fibras



Nota. En la figura se puede apreciar un mapa conceptual de la matriz; de los diferentes tipos de fibras, tanto naturales como manufacturadas o sintéticas. [En línea] Tomado de: <https://www.archbronconeumol.org/es-fibras-minerales-artificiales-aparato-respiratorio-articulo-S0300289612001202>

1.5.5.1 Fibras naturales

Las fibras naturales se pueden extraer por medio de diferentes procedimientos mecánicos o físicos. se pueden encontrar en la naturaleza en 3 tipos:

- Fibras minerales
- Fibras Vegetales
- Fibras animales

Las fibras naturales son una buena alternativa; ya que poseen un conjunto de células de gran resistencia mecánica, cuyo contenido es esencialmente lignina y celulosa por este motivo es que se les atribuye el nombre de lignocelulósicas, que permiten darles sostén “estabilidad” a las plantas. Su composición química tiene un alto porcentaje de celulosa que asegura su durabilidad, mientras que el elevado contenido de lignina, permite que estas fibras puedan soportar la acción mecánica a las que se someten durante los procesos de tensión natural que sufre la planta cotidianamente; estas fibras pueden proceder árboles, plantas, cultivos por lo cual son abundantes y de fácil acceso a ellas [35].

Ventajas

- Biodegradables
- Resistentes
- Bajo peso específico
- Renovables
- Económicas

Desventajas

- Naturaleza Polar
- Baja estabilidad dimensional
- Baja resistencia a microorganismos
- Temperatura de procesado baja

Figura 10.

Tipos de fibras naturales y artificiales

FIBRAS NATURALES	ANIMALES	de glándulas sedosas	Seda Seda salvaje
		de folículos pilosos	Pelo de alpaca, de angora, de buey, de caballo, conejo, castor, camello, cachemira, cabra, guanaco, llama, nutria, vicuña, yak
	VEGETALES	de la semilla	Algodón
		del tallo	Lino, cáñamo, yute, ramio, kenaf
		de la hoja	Abacá, sisal
		del fruto	Coco
		otras	Esparto, banano, dunn, hennequén, formio, maguey, ananá
	MINERALES	asbestos	Productos aislantes constituidos por un entrelazado de filamentos de materiales pétreos que forman un fieltro que mantiene entre ellos aire en estado inmóvil. Prohibida en muchos países por cancerígena.
FIBRAS ARTIFICIALES	MANUFACTURA FÍSICA	del papel de metal del vidrio de otras materias	
	MANUFACTURA QUÍMICA	de polímeros naturales	Conocidas como fibras artificiales
		de polímeros sintéticos	Conocidas como fibras sintéticas

Nota. En la figura se puede apreciar una tabla con las fibras naturales que abarcan tres grupos (animales, vegetales y minerales). De igual manera las fibras artificiales están divididas en otros dos subgrupos en (manufactura física y manufactura química) [En línea] Tomado de: <https://programadetextilizacion.blogspot.com/2015/01/capitulo-1-las-fibras-textiles.html>

1.5.6 Fibra del mesocarpio de coco

El coco se encuentra conformado por tres partes: el epicarpio es el que recubre al fruto externamente, posteriormente se encuentra el mesocarpio; el cual es la fibra natural que envuelve el endocarpio que a su vez contiene en su interior la pulpa comestible de tonalidad blanca, la cual alberga el agua de coco y tiene un espesor de 5 milímetros aproximadamente [36]

Figura 11.

partes que conforman el coco



Nota. En la figura se puede apreciar las partes que conforman el fruto de un coco, así mismo como es la planta queda origen a este tipo de fibra natural y su aplicación habitual. [En línea] Tomado de: <https://construinnova.net/2017/03/23/de-cocos-y-estructuras/>

La fibra de coco se obtiene de la masa fibrosa del fruto, se encuentra entre la cubierta exterior y la cascara de coco. Su extracción es de manera mecánica; ya que la cascara debe estar madura y seca luego de remojarla. Es un tipo de fibra fuerte, dura y alargada, posee baja conductividad al calor, es un poco suave lo cual le permite muy poca absorción de agua, debido a sus porcentajes de lignina y celulosa; es una fibra la cual posee una alta durabilidad debido a que se descompone luego de pasar 4-6 años[37].

Este tipo de fibra es recomendada debido a sus características de origen renovables y que puede ser reciclada, posee excelentes propiedades mecánicas, físicas y químicas, por lo cual es un material adecuado para el uso de rellenos y acojinamientos. Sin embargo sus principales aplicaciones están en el uso textil, en el hogar, industria automovilística[38].

1.5.6.1 Propiedades físicas y mecánicas de la fibra de coco

Las propiedades que se tienen cuenta en las fibras naturales son:

- Durabilidad al uso y al mantenimiento
- Resistencia a la tensión(tracción) y fatiga
- Protección frente agentes externos

Tabla 4.

propiedades mecánicas de los diferentes tipos de fibras

Propiedad	Densidad (g/cm^3)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación Fractura (%)	Absorción de humedad (%)
Vidrio—E	2,5	4750	86	2,8	-
Vidrio—S	2,5	2000-3500	70	2,5	-
Aramida	1,4	3000-3150	63-67	3,3-3,7	-
Carbón	1,4	4000	230-240	1,4-1,8	-
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393-773	26,5	1,5-1,8	12
Ramio	1,5	400-938	61,4-128	3,6-3,8	12-17
Coco	1,2	175-220	4-6	15-30	10
Sisal	1,5	511-635	9,4-22,0	2,0-2,5	11
Lino	1,5	345-1035	27,6	2,7-3,2	7
Abacá	1,3	400-1289	45	2,7	8-10
Algodón	1,2	393-773	26,5	7-8	8-25

Nota. Esta tabla muestra las diferentes fibras y sus propiedades mecánicas Tomado de: A. D. Jácome León, “estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas,” universidad técnica de Ambato, 2017.

En la siguiente tabla se puede encontrar las propiedades físicas de la fibra natural de coco; hay que tener en cuenta que estas propiedades pueden variar por diferentes factores externos como lo son, la zona geográfica en la cual se cultivó y se desarrolló esto es importante debido a que las diferentes temperaturas afectan directamente al porcentaje de absorción de humedad, así mismo como el crecimiento de la planta[39].

Tabla 5.

Propiedades físicas de la fibra de coco

Contenido de humedad (%)	Contenido de ceniza (%)	Contenido de carbono (%)	Absorción de humedad (GPa)	Diámetro promedio (μm)	Densidad (g/cm^3)
27,1	5,1	51,5	169	387	1,2

Nota. Esta tabla muestra las diferentes fibras naturales y sus propiedades mecánicas Tomado de S. Jayabal and U. Natarajan, "Influence of fiber parameters on tensile, flexural, and impact properties of nonwoven coir-polyester composites," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 54, no. 5–8, pp. 639–648, 2011, doi: 10.1007/s00170-010-2969-8.

En la siguiente tabla se puede encontrar las propiedades químicas de la fibra natural de coco, la lignina es un polímero natural el cual cumple la función principal de darle rigidez a los tejidos vegetales de las plantas, mientras que la celulosa se encarga de darle la estabilidad, el sostén a los tallos y hojas a la planta. Aunque la fibra de coco posee una densidad de $1.2 g/cm^3$ se ha podido comprobar mediante análisis de micrografía que la fibra es 80% porosa por lo cual la lignina y celulosa no recubren completamente la estructura de la fibra[39].

Tabla 6.

Propiedades químicas de la fibra de coco

Lignina (%)	Celulosa (%)	Hemicelulosa (%)
59,4	32,65	51,5

Nota. Esta tabla muestra las diferentes fibras naturales y sus propiedades mecánicas Tomado de S. Jayabal and U. Natarajan, "Influence of fiber parameters on tensile, flexural, and impact properties of nonwoven coir-polyester composites," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 54, no. 5–8, pp. 639–648, 2011, doi: 10.1007/s00170-010-2969-8

1.6 Propiedades mecánicas del material compuesto y ensayos destructivos

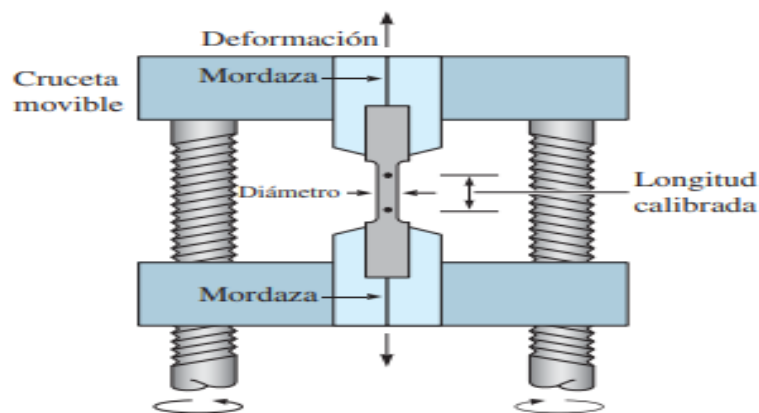
Para determinar las propiedades mecánicas de un material compuesto, se llevan a cabo por medio de ensayos destructivos; en los cuales es necesario elaborar un número específico de probetas o espécimen de prueba, para establecer y caracterizar su comportamiento mecánico.

1.6.1 Ensayo a tracción

La prueba o ensayo de tensión se usa para medir la resistencia de un material cuando a este se le aplica una fuerza de manera estática llamada carga[32]. Se realiza por medio de una máquina de ensayo universal la cual puede llevar tanto pruebas de tensión como de compresión. También en dicha prueba se pueden establecer las propiedades mecánicas de: módulo Young, resistencia última a tensión y ductilidad. Teniendo en cuenta el material a estudiar se deben seguir una serie de normas según el tipo de material; debido a que tanto la magnitud de la carga, como las dimensiones de la probeta de estudio; se encuentran ya preestablecidas para cada tipo de ensayo.

Figura 12.

Ensayo de tensión



Nota. En la figura se puede evidenciar un ensayo a tracción.
Tomado de: *Askeland, Ciencia e Ingeniería de materiales sexta edición*, vol. 18, no. 9. 2016.

Para determinar cuánto se deforma el material de estudio se hace uso de un instrumento llamado extensómetro o deformímetro teniendo en cuenta la longitud calibrada (l_0) se

compara la longitud obtenida y se encuentra la variación de longitud (Δl) o también llamada elongación. También en dicha prueba se pueden establecer las propiedades mecánicas de: modulo Young, resistencia ultima a tensión, su ductilidad. Teniendo en cuenta el material a estudiar se deben seguir una serie de normas según el tipo de material; debido a que tanto la magnitud de la carga, como las dimensiones de la probeta de estudio; se encuentran ya preestablecidas para cada tipo de ensayo.

El porcentaje de elongación o deformación a la ruptura se refiere al largo de la muestra después de estirada o deformada antes de que se rompa la probeta con respecto a su longitud inicial[32]. Se calcula bajo la siguiente ecuación:

$$\%Elongación = \frac{(L_f - L_o)}{L_o} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

L_f = Longitud Final (mm)

L_o = Longitud Inicial (mm)

1.6.2 Resistencia a fluencia

Un material sufre inicialmente una deformación elástica cuando se le está aplicando un esfuerzo; sin embargo, este tiende a recuperar su forma original una vez se ha eliminado el esfuerzo aplicado. Si el esfuerzo que se aplica al material continúa aumentando con el tiempo, el material se deforma elástica y plásticamente en la dirección del esfuerzo aplicado.

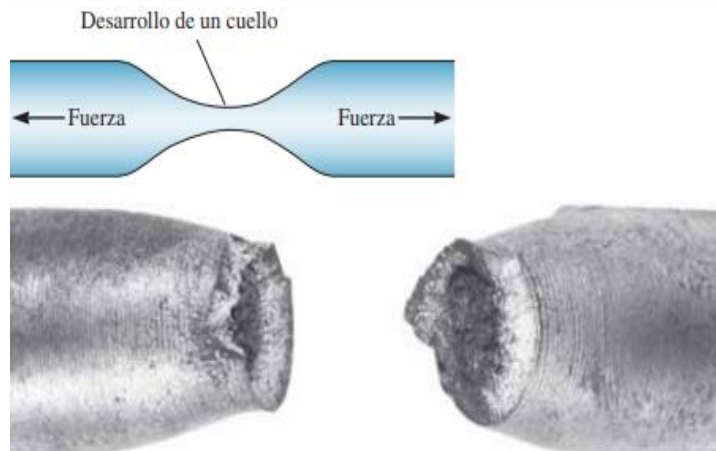
El límite elástico es definido como el valor de esfuerzo crítico para iniciar la deformación plástica, mientras que en los materiales metálicos se puede evidenciar este límite elástico en el instante en que se empiezan a producir las dislocaciones, mientras que para el caso de los materiales polímeros se presenta cuando las cadenas poliméricas se empiezan a separar[34].

1.6.3 Resistencia a la Tensión

Es conocida como la resistencia máxima a tracción que ocurre cuando se obtiene el esfuerzo máximo en el diagrama esfuerzo- deformación. En muchos materiales dúctiles la deformación no es uniforme; por lo cual el material genera un deterioro denominado cuello de botella.

Figura 13.

Cuello de botella en carga a tensión



Nota. En la figura se puede evidenciar un ensayo a tracción en el cual está sometida una probeta a una celda de carga. Tomado de: Askeland, *Ciencia e Ingeniería de materiales séptima edición*, 2017

Para calcular la resistencia a tensión se debe dividir la carga máxima por el área promedio de la sección transversal como se expresa en la ecuación.

Esfuerzo de tensión

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (4)$$

Donde:

F = Fuerza (N)

A = Área (Metros cuadrados)

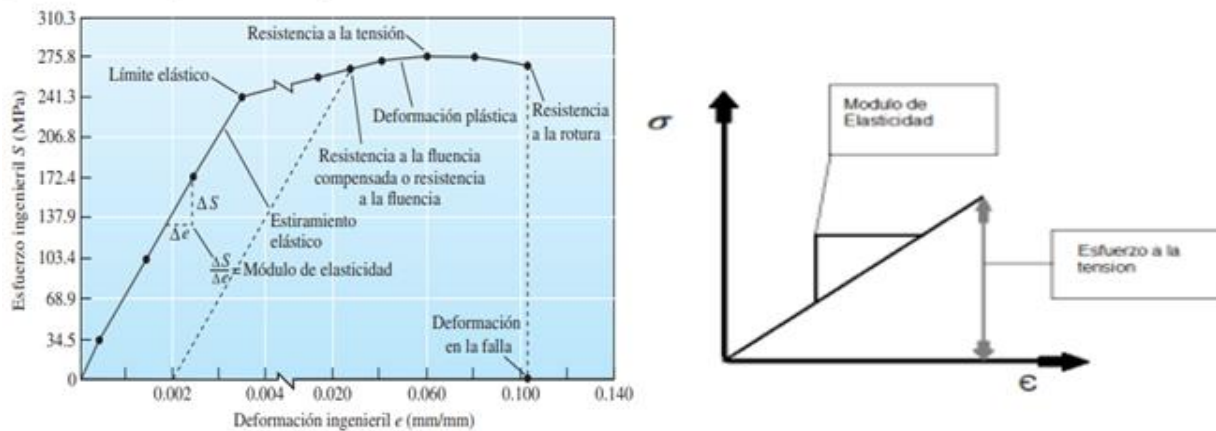
σ = Esfuerzo de tensión (Pa)

1.6.4 Módulo de elasticidad (módulo de Young)

El módulo elástico determina la rigidez relativa de un material o capacidad que tiene el material a ser flexible; se mide teniendo en cuenta el plano inclinado (al 0,2% de deformación) en la región del grafico resistencia- deformación[40]. En la figura 14 la línea recta de la gráfica representa el límite elástico y la parte curva representa el límite plástico. Un ejemplo común es el de aplicar una fuerza a un resorte el cual se deforma elásticamente ya que no supera su límite de fluencia por tal motivo vuelve a su estado inicial y no se rompe.

Figura 14.

Diagrama Esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril



Nota. En la figura se puede evidenciar una gráfica de fuerza-deformación en la cual se puede calcular el módulo de elasticidad teniendo en cuenta el 0,2% calculando el valor de esa pendiente. Tomado de: PHILLIPS. ciencia de los materiales dentales undécima edición

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5)$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad (MPa)

σ = Esfuerzo de tensión (MPa)

ϵ = Deformación

la tenacidad es la cantidad de energía que acumula un material en un proceso de deformación hasta que se rompe, por este motivo tiene unidades en el sistema internacional de J/cm^3 o en el sistema de inglés $in-lb/in^3$. En el grafico Esfuerzo

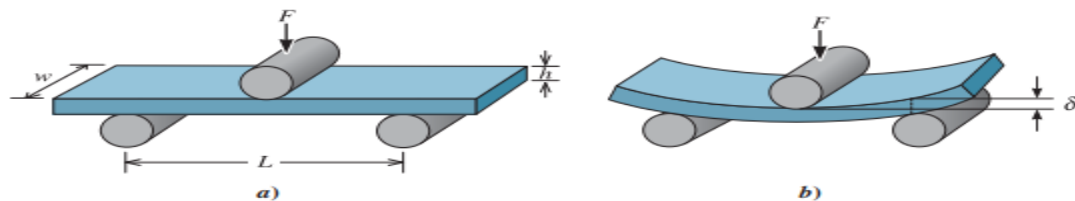
Deformación la medida del área bajo la curva de la gráfica hace referencia a la tenacidad del material.

1.6.5 Ensayo a flexión

Se aplica una carga teniendo en cuenta tres puntos de esta manera ocasionando una flexión en la cual una fuerza de tensión actúa sobre el material opuesta el punto medio la fractura del material empieza en esa posición y los resultados obtenidos en este ensayo son similares a las curvas de esfuerzo-deformación [41].

Figura 15.

Ensayo a flexión por 3 puntos



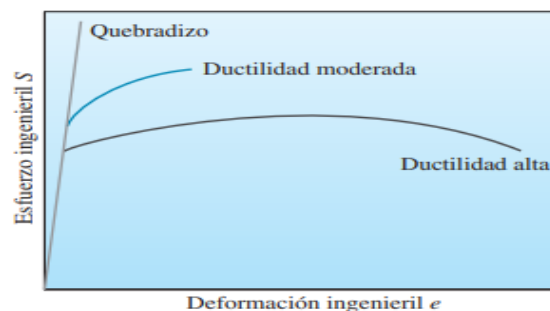
a) Con frecuencia, la prueba de flexión se utiliza para medir la resistencia de materiales quebradizos y b) la deflexión δ que se obtiene por medio de la flexión.

Nota. En la figura se puede apreciar el ensayo destructivo a flexión; el cual está utilizándola deformación por tres puntos. Tomado de: William D.; Callister J, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 1st ed. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-México: Editorial Reverté, S.A, 2016.

En los materiales más quebradizos la falla ocurre en la carga máxima, donde la resistencia a tensión y la resistencia a ruptura son iguales. En muchos casos las probetas requieren realizar este ensayo teniendo 4 puntos debido a que su forma es muy irregular.

Figura 16.

Diagrama Esfuerzo-Deformación



Comportamiento de esfuerzo-deformación ingenieriles de los materiales quebradizos en comparación con el de los materiales más dúctiles.

Nota. En la figura se puede apreciar el comportamiento de esfuerzo-deformación ingenieriles de los materiales quebradizos en comparación con los materiales más dúctiles. Tomado de: Askeland, *Ciencia e Ingeniería de materiales séptima edición*, 2017

2. DISEÑO EXPERIMENTAL

En este capítulo se establecerán los parámetros de diseño para llevar a cabo la elaboración de moldes y probetas a tensión y flexión según las normas ASTM D-3039 Y D-0790 respectivamente. Así mismo como el procedimiento de trabajo.

2.1 Muestra y geometría de las probetas de ensayos a tracción y flexión.

2.1.1 Cantidad de muestras

Para llevar a cabo el ensayo a tracción obedecerá la norma ASTM D3039/D3039M – 17, la cual permite determinar las propiedades mecánicas a tracción de materiales compuestos por matriz polimérica[42]. Para el ensayo a flexión obedecerá la norma ASTM D0790-17 para Propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados y materiales aislantes eléctricos; estas dos normas establecen que se deben ensayar como mínimo cinco (5) probetas por cada variable de estudio[43].

2.1.2 Geometría

Teniendo en cuenta el (Anexo 1), el cual corresponde a la norma ASTM D3039 de ensayos a tracción para el estudio materiales compuestos por matriz polimérica se puede encontrar que en la tabla 2 del documento se establecen las geometrías de probetas recomendadas. se decide optar por las dimensiones establecidas en el apartado de balanceada y simétrica como se muestra en la figura 17, debido a que en esta investigación se tendrá en cuenta la orientación de la fibra en tres direcciones: vertical, diagonal y horizontal que corresponde 0°,45° y 90°.Este tipo de geometría permite utilizar el mismo tipo de molde para la elaboración de los tres tipos de probetas

Figura 17.

Geometría probetas a tracción

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations⁴

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

⁴ Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

Nota. En la figura se muestran las dimensiones recomendadas para realizar probetas a tracción Tomado de: ASTM, “Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials D3039/D3039M,” Annu. B. ASTM Stand., vol. 9, pp. 1–13, 2014, doi: 10.1520/D3039.

Las dimensiones de la geometría seleccionada balanceada y simétrica son: ancho 25mm, largo 250mm y espesor 2,5mm.

-Para las probetas a flexión:

Los materiales de moldeo para polímeros termoplásticos y termoestables. Tienen dimensiones adecuadas ya preestablecidas para el espécimen de prueba. Para ello los materiales moldeados deben tener una geometría de 12,7 mm (0,5pulg.) de ancho. 3,2mm (0,125 pulg.) de espesor y 127 mm (5,0 pulg.) de largo. Se ensayan en plano sobre el vano de apoyo, lo que da como resultado una relación entre la extensión y la profundidad del soporte de 16:1 (tolerancia +/-1). Se deben evitar especímenes de prueba gruesos, ya que así exhiben marcas de hundimiento significativas o burbujas una vez son moldeadas[44].

2.2 Variables de estudio:

- **Variable independiente:** Material compuesto por resina poliéster y fibra natural de coco.

Los materiales compuestos son a aquellos que se obtienen al combinar dos materiales o más; con la finalidad de obtener nuevas propiedades que cada material no puede adquirir por separado. Las probetas serán elaboradas teniendo en cuenta la orientación del refuerzo (0°,45°,90) vertical, diagonal y horizontal respectivamente. Las fibras tendrán una longitud superior a la longitud crítica con la finalidad de garantizar que las fibras están trabajando a su máxima capacidad de carga, las probetas obedecerán las normas para los ensayos mecánicos a tracción y flexión que se establecieron al comienzo de este capítulo.

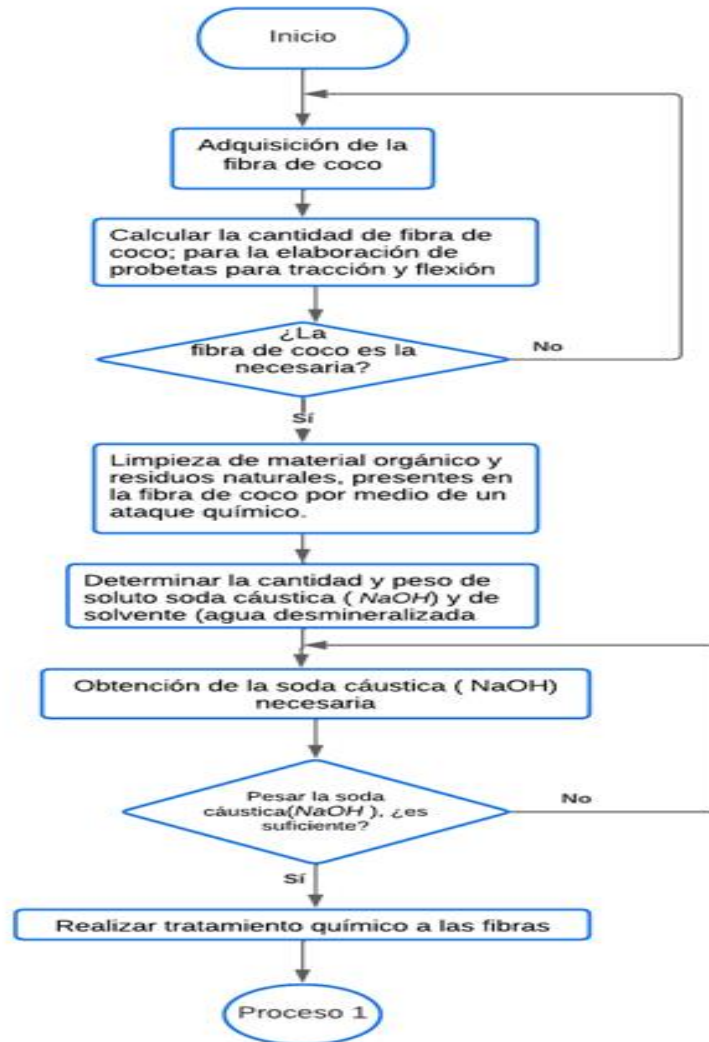
- **Variable dependiente:** Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de un material permiten dar una hipótesis de su comportamiento, al aplicar una determinada carga se estudia su deformación; teniendo en cuenta su resistencia ultima a tracción o esfuerzo máximo y su módulo de elasticidad. para el caso de flexión se tendrán en cuenta las propiedades mecánicas de esfuerzo

ultimo a flexión o resistencia ultima flexión y su módulo de flexión; las cuales servirán para determinar cuál es la orientación del refuerzo que brinda los mejores resultados. Con la finalidad de implementar un orden adecuado para disponer de las fibras de coco en las mejores condiciones se decide establecer el diagrama de flujo de la figura 18.

Figura 18.

Diagrama de Flujo tratamiento químico

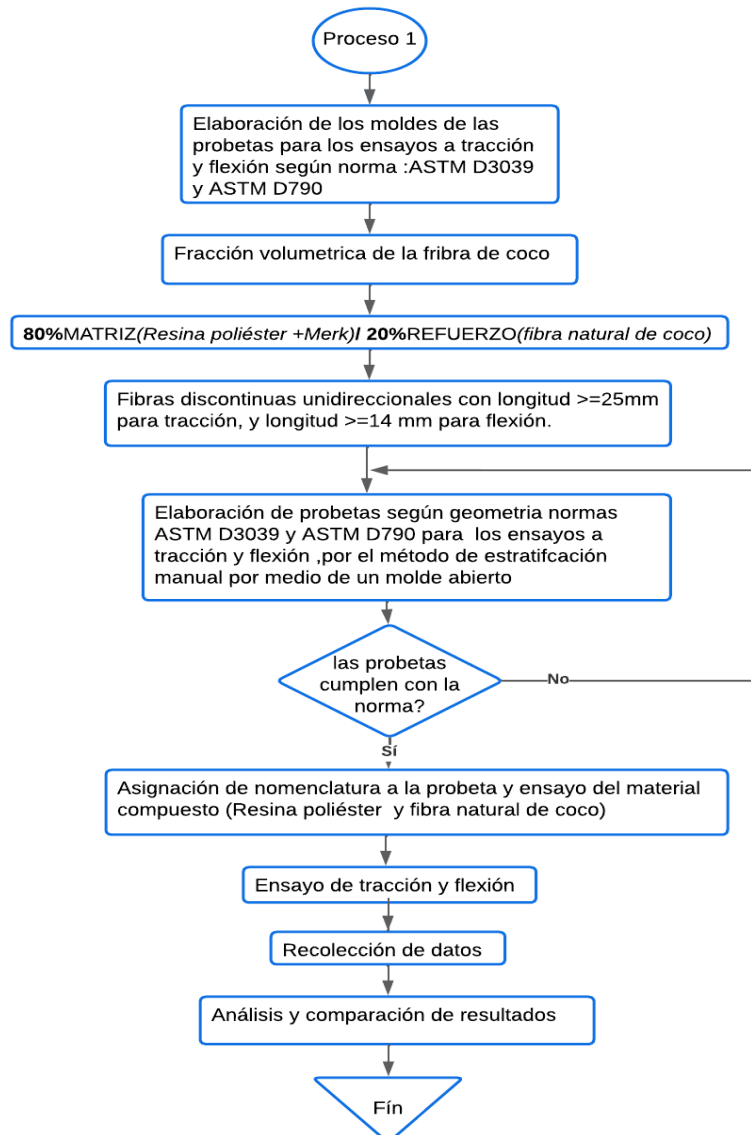


Nota. En la figura se presenta el diagrama de flujo que abarca el procedimiento para poder realizar el tratamiento químico a la fibra natural de coco

Para darle continuidad al proceso se planteó un segundo diagrama de flujo que permitió desarrollar los moldes y probetas de una manera organizada, el cual se muestra en la figura que se muestra a continuación.

Figura 19.

Diagrama de flujo elaboración de probetas



Nota. En la figura se presenta el diagrama de flujo que abarca el procedimiento para poder realizar el tratamiento químico a la fibra natural de coco

2.3 Materiales y equipos

En esta sección se explicarán los materiales y equipos que se requieren para hacer las probetas y llevar a cabo cada uno de los ensayos a tracción y flexión.

2.3.1 Resina poliéster

La resina que se empleara para llevar a cabo esta investigación. Será el poliéster 856 adquirida por medio del proveedor SC QUÍMICOS en Bogotá-Colombia, debido a que es adecuada para procesos de moldeo y laminados, moldeo manual o en maquinaria, y sistemas cargados. Ofreciendo una buena resistencia mecánica para aplicaciones de bajos y medios esfuerzos.

Comercialmente este tipo de resina se puede conseguir bajo el nombre de: Resina poliéster Orto-ftálica, pre-acelerada de propósito general.

Figura 20.

Resina poliéster 856



Nota. En la figura se puede apreciar la presentación de una botella de resina poliéster 856; la cual es la más comercial y es vendida al público por libras.

La ficha técnica de la resina poliéster 856 se encuentra en el (Anexo 3)

2.3.2 Catalizador para resina poliéster (MERK)

El catalizador que se utilizará será el Merk (peróxido de metil-etil-cetona) para resina poliéster 856; el cual permite dar inicio a el proceso de endurecimiento de este material a través de la polimerización.

Figura 21.Catalizador MERK para resina poliéster 856

Catalizador Merk para resina poliéster 856



Nota. En la figura se puede apreciar la presentación de 33ml del catalizador para botella de resina poliéster 856 de una libra.

2.3.3 Fibra natural de coco

La Fibra de coco se consiguió en la empresa (Ecolfibras) que se encuentra ubicada en San Juan Urabá-Colombia. la cual está dedicada a la comercialización de productos extraídos de la fibra de coco 100% naturales, se cuenta con la certeza que es un producto confiable y que es amigable con el medio ambiente. Dependiendo de la aplicación el coco se puede adquirir en diferentes presentaciones: en fibras que son las tiras o hilos del fruto, Geotextil para la elaboración de cuerdas, en chips que es cuando se tritura la cascara y en forma de sustratos.

Los datos técnicos de este tipo de fibra se pueden encontrar (Anexo 4)

Figura 22.

Fibra natural de coco



Nota. En la figura se puede apreciar la presentación de un 1 kg de fibra natural de coco.

2.3.4 Desmoldante

Este producto tiene como función ser un aislante entre el molde y la pieza, para posteriormente ser removida (desmoldada) con la forma deseada, es necesario aplicar de manera uniforme y necesaria la cantidad de este producto; ya que adicionar demasiado desmoldante puede afectar en que la resina no llene por completo la cavidad del molde, ocasionando que la pieza obtenida luego del proceso de curado no sea el resultado esperado.

Figura 23.

Cera desmoldante para materiales compuestos



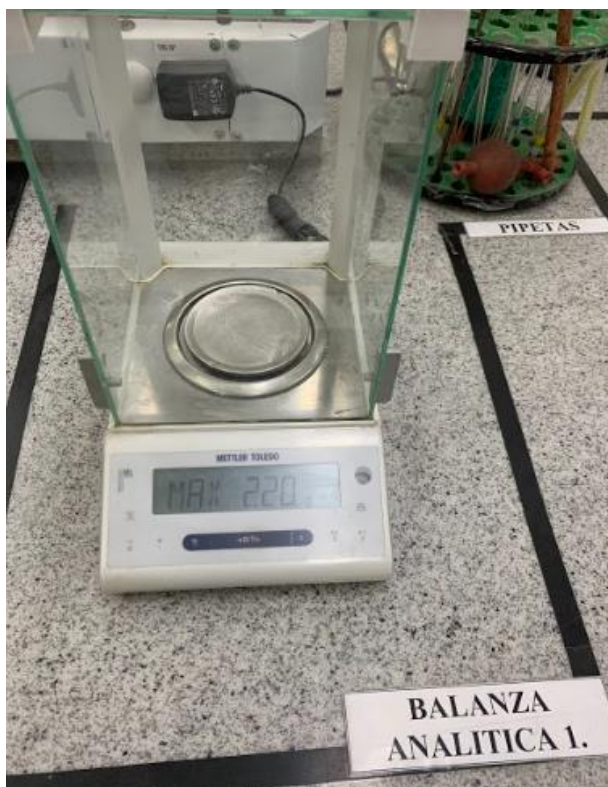
Nota. En la figura se puede apreciar la cera desmoldante para un material compuesto; comercialmente se pueden adquirir varios tipos de desmoldante como es el aceite mineral en presentación líquida, sin embargo, la cera es semisólida lo que brinda una mejor manipulación. [En línea] Tomado: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-548825569-cera-desmoldante-para-compuestos-fibra-de-carbono-y-vidrio- JM>

2.3.5 Balanza analítica

Este dispositivo permite determinar la masa en unidad de gramos, cuenta con una capacidad máxima de medida de 200 g y una resolución de 0,0001g; por lo cual es bastante precisa. El uso de este elemento de medida fue posible en las instalaciones del laboratorio químico de SWA (Soldaduras West Arco SAS); se empleará para establecer la medida exacta de fibra de coco y también llevar a cabo el ataque químico.

Figura 24.

Balanza analítica



Nota. En la figura se puede apreciar la balanza analítica; se puede medir en gramos o en onzas.

2.3.6 *Balanza convencional*

Es un tipo de balanza convencional permite determinar la masa en unidad de gramos y onzas, cuenta con una capacidad máxima de medida de 10 kg y una resolución de 1g. Se empleará durante el proceso de la elaboración de las probetas como indicador de medida inicial. Una vez terminada la probeta; se confirmará la masa de cada una de ellas con la ayuda de la balanza analítica del laboratorio químico de SWA (Soldaduras West Arco SAS) para obtener un dato más exacto.

Figura 25.

Balanza convencional



Nota. En la figura se puede apreciar balanza digital de uso convencional y de fácil adquisición por su bajo costo; se puede medir en gramos o en onzas.

2.3.7 *Cabina extractora*

Este equipo se utilizará con el fin de captar de manera focalizada las emisiones de gases y humos que se producen al realizar reacciones químicas; como ocurre con la manipulación de sustancias tóxicas que pueden llegar a ser peligrosas, tanto para la persona que se encuentra en el laboratorio, como para la seguridad del producto.

Este aparato se encuentra en el laboratorio químico de SWA (Soldaduras West Arco SAS) y se emplea durante el ataque químico de la soda cáustica y fibra natural de coco.

Figura 26.

Cabina extractora



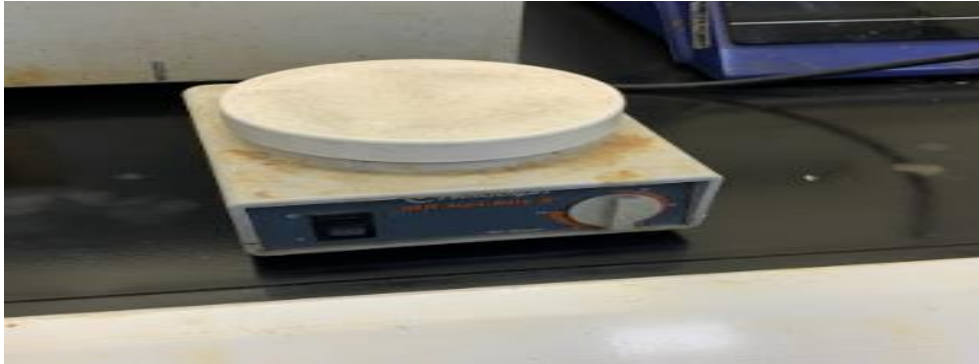
Nota. En la figura se puede apreciar la cabina extractora, la cual posee un sistema de ventilación e iluminación.

2.3.8 *Agitador*

También denominado mezclador de laboratorio es un dispositivo que se emplea para proporcionar una vibración o movimiento uniforme el cual permite alcanzar diferentes procesos entre sólidos y líquidos, pueden ser: homogenización, transferencia de calor, dispersión, mezcla y suspensión.

Figura 27.

Agitador (mezclador de laboratorio)



Nota. En la figura se puede apreciar el agitador.

2.3.9 Horno

Este equipo es de la marca Gallenham oven 300 serie plus, se empleará con la finalidad de secar la fibra natural de coco luego de haber realizado el tratamiento químico. Este tipo de horno tiene un peso de 65 kg puede llegar a los 300°C de temperatura, una corriente de 10 amperios y un voltaje de 220-240; se pudo acceder a este equipo en el laboratorio químico SWA (Soldaduras West Arco SAS).

Figura 28.

Horno



Nota. En la figura se puede apreciar el horno Gallenham oven 300 serie plus del laboratorio de ensayos químicos de soldaduras West Arco.

2.3.10 Plancha común

posteriormente al proceso de secado, las fibras deben ser planchadas con la finalidad de alisarlas y disponer de ellas en las mejores condiciones de manipulación; para poder orientarlas de una forma adecuada en el molde garantizando las ubicaciones establecidas vertical, diagonal y horizontal (0°,45°,90).

Figura 29.Plancha común



Nota. En la figura se puede apreciar la plancha de cabello común de control de temperatura, se gradúa en el nivel más bajo cuando se vaya a realizar el alisado de las fibras.

2.3.11 Máquina de ensayos universal

Para llevar a cabo los ensayos mecánicos a tracción y flexión se utilizará la máquina de ensayos universal (TINIUS OLSEN STANDARD "L" UNIVERSAL TESTING MACHINE COMPANY). La cual tiene una capacidad de carga (60.000 lb -400.000 lb), cuenta con sistema computarizado que registra los datos, controla y configura los ensayos mecánicos de la máquina. Los ensayos se realizaron en el laboratorio mecánico de SWA (Soldaduras West Arco) en Mosquera-Cundinamarca. En la figura 32 y Figura 33 se puede apreciar la máquina de ensayos universal y las especificaciones técnicas del equipo respectivamente.

Figura 30.

universal de ensayos



Nota. En la imagen se puede observar la máquina de ensayos universal, la cual cumple con los requisitos de la norma ASTM E4, lo que permitiría una confiabilidad en los datos obtenidos.

Figura 31.

Especificaciones de la máquina de ensayos SWA

RANGES	60,000 lb L	120,000 lb L	200,000 lb L	300,000 lb L	400,000 lb L
		60,000 lb L x 100 Divisions 10,000 lb L x 20 Divisions	120,000 lb L x 200 Divisions 20,000 lb L x 50 Divisions	200,000 lb L x 500 Divisions 50,000 lb L x 100 Divisions	300,000 lb L x 500 Divisions 60,000 lb L x 100 Divisions
Tension specimens	24"-Stroke	32"-Stroke	30"-Stroke	32"-Stroke	32"-Stroke
(a)Maximum Legth	Flats 2"x 3/4"	Flats 3"x 1"	Flats 3"x 2"	Flats 4"x 2"	Flats 4"x 2"
(b)Maximum Size	Rounds 3/8 " to 1" dia	Rounds 1 1/2 " dia	Rounds 1 3/4 " dia	Rounds 2 " dia	Rounds 2 " dia
Compression Specimens					
Maximum Legth	22"	26"	20"	22"	22"
Clearance Between Screws	14"	20"	22"	24"	24"
Test Speeds	0 to 3 per minute	0 to 3 per minute	0 to 3 per minute	0 to 3 per minute	0 to 3 per minute
Stroke Ran Travel	6"	6"	9"	9"	9"
Dimensions	6'3" longs, 18 depth 6' high + stroke	6'9" longs, 24 depth 6'4"high + stroke	7' longs, 24 depth 6'6"high + stroke	7'6" longs, 30 depth 7'4"high + stroke	7'8" longs, 30 depth 7'4"high + stroke
Weigths	Net 2300 Gross 2600	Net 4900 Gross 5400	Net 6000 Gross 6700	Net 7500 Gross 8930	Net 8200 Gross 9500

Nota. En la imagen se puede observar las especificaciones de la máquina de ensayos universal de SWA (soldaduras West Arco SAS), se muestra la información de los rangos de carga máximos y mínimos para ensayos a tensión, el tamaño máximo de las probetas, así mismo como sus dimensiones, velocidades y peso. +

2.3.12 Termohigrómetro

Este dispositivo permite medir la temperatura y humedad relativa de un medio o lugar, se empleó con la finalidad de conocer el valor exacto de estos datos debido a que las normas ASTM D-3039 Y D-790 para los ensayos a tracción y flexión lo solicitan.

Figura 32.

Termohigrómetro



Nota. En la figura se puede apreciar el termohigrómetro.

2.4 Técnica para elaboración material compuesto

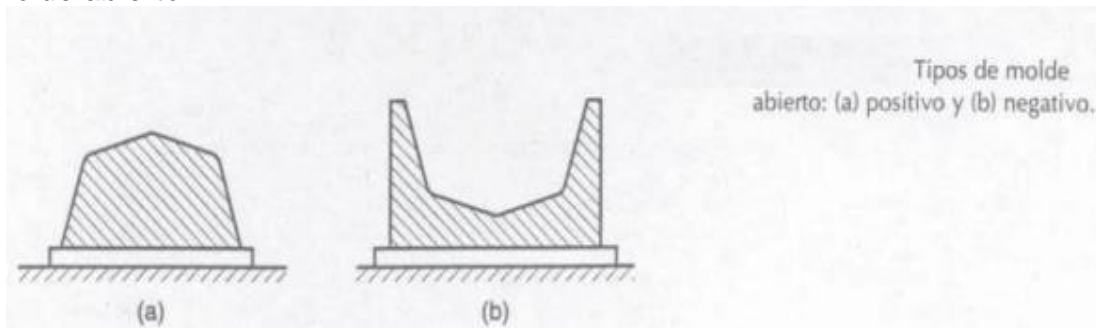
Existen diversas maneras para la elaboración de materiales compuestos, entre los más utilizados se encuentran los procesos por inyección, por extrusión, por prensado, moldeo abierto y cerrado. Para esta investigación se usará el moldeo abierto ya que se puede realizar de una manera artesanal y no requiere de adquirir materiales muy costosos.

2.4.1 Moldeo abierto

Los materiales compuestos por matriz polimérica y reforzados con fibras; emplean la técnica del molde abierto haciendo uso de una sola pieza ya sea el macho que hace referencia a la positiva o la hembra que hace alusión a la parte negativa como se aprecia en la figura 13.

Figura 33.

Molde abierto



Nota. En la figura 13 se puede apreciar los tipos de molde abierto, el tipo (a) que hace referencia al molde positivo y el tipo (b) que hace referencia al molde negativo Tomado de: M. P. Groover, "Fundamentos de manufactura moderna," in Fundamentos de manufactura moderna, 3rd ed., 2007 McGraw-Hill Interamericana de España S.L., Ed. España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2007, 1996, p. 1024.

El proceso por moldeo abierto se le conoce como laminación por contacto y moldeo por contacto. El material inicial se aplica a este tipo de molde por capas las cuales se acumulan hasta obtener el espesor deseado; se puede iniciar por la resina o el refuerzo que puede ser: esteras, mechas tejidas y fibras. Posteriormente sigue la etapa de curado y retiro de la pieza, este tipo de moldeo es el adecuado cuando se emplea resina poliéster y epóxica. Su principal ventaja es que es un moldeo que solo requiere una pieza; por lo cual es más económico que uno que requiere la pareja de moldes. Su desventaja es que un solo lado de la pieza va estar en contacto con la superficie del molde brindando un buen acabado, mientras que el otro lado quedara con textura áspera.

Existen varios procesos por molde abierto, entre ellos: aplicado manual, aspersion, máquinas automáticas de aplicación y moldeo por bolsa [45].

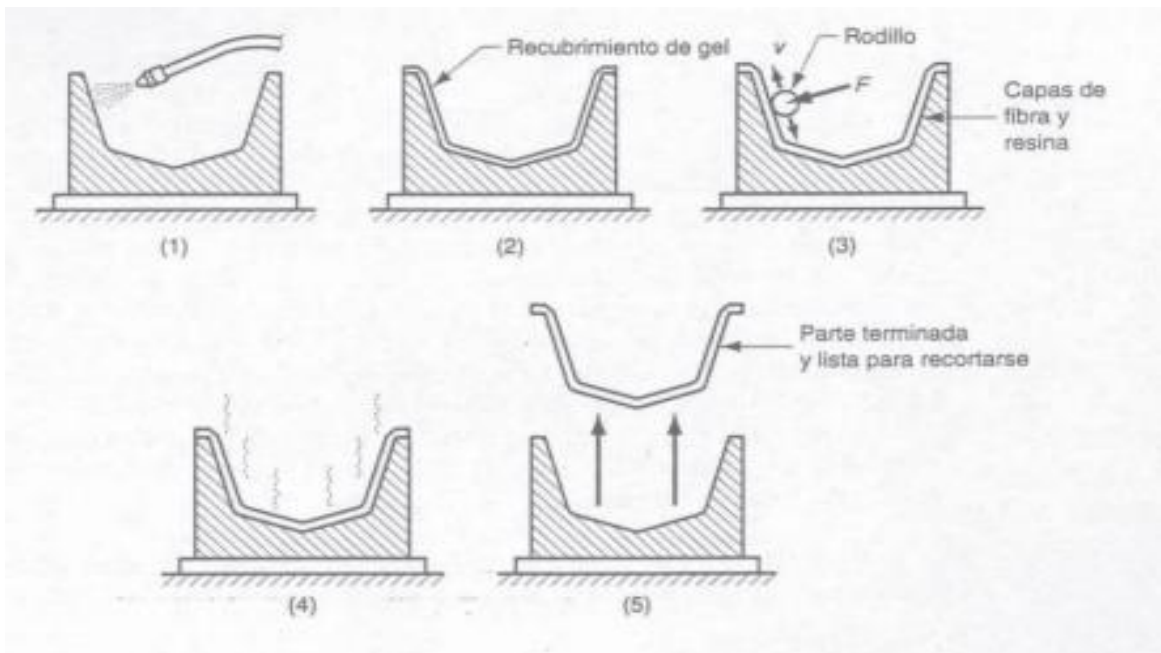
2.4.2 Procedimiento en molde abierto manual

Este método requiere aplicar el material de manera manual en varias capas de resina y refuerzo; el procedimiento se evidencia en la figura. Los diferentes tipos de moldeo abierto requieren de los (5) pasos, sin embargo, surgen algunos cambios en los pasos (3) y (4). cuando se adiciona la fibra o refuerzo se debe encontrar totalmente seca y se vacía la resina como en el paso (3) y se aplica con ayuda de una brocha o por aspersion. Para los otros métodos se emplean rodillos.

El proceso de curado se puede hacer medio de convección natural con un secado a temperatura ambiente o por medio de convección forzada haciendo uso de algún horno, estufa, etcétera, pero manejando una temperatura controlada.

Figura 34.

Procedimiento manual en molde abierto



Nota. En la figura 13 se puede apreciar el procedimiento de molde abierto manual, (1)se limpia el molde y se trata con un agente antiadherente;(2) se le aplica un recubrimiento de gel delgado(resina, posiblemente pigmentada)que se convertirá en la superficie externa de la pieza el ;(3) después que el recubrimiento ha cuajado parcialmente , se aplican capas sucesivas de fibra y resina en forma de esfera o tela, a cada capa se le pasa un rodillo para quitar burbujas de aire;(4) se cura la pieza, y (5) se retira del molde la pieza completamente endurecida. Tomado de: M. P. Groover, "Fundamentos de manufactura moderna," in Fundamentos de manufactura moderna, 3rd ed., 2007 McGraw-Hill Interamericana de España S.L., Ed. España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2007, 1996, p. 1024.

2.5 Cálculos

Para precisar la cantidad de fibra natural de coco en gramos que se requieren se debe detener en cuenta las dimensiones de las probetas, conocer la fracción volumétrica entre resina poliéster y refuerzo de fibra natural de coco para cada uno de los ensayos de tracción y flexión con sus respectivas orientaciones.

2.5.1 Longitud crítica

Calcular la longitud crítica del refuerzo (fibra natural de coco) Como menciona William D.; Callister J en su libro Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales[34]. Se debe tener en cuenta el diámetro equivalente de la fibra y multiplicarlo por un valor que se encuentre dentro del rango de (20-150) veces; por lo cual este valor se considera la longitud crítica y se puede calcular por la siguiente expresión:

$$l_c = h * d \quad (6)$$

Donde:

h = # veces (20-150)

d = diámetro de la fibra

Para hallar el diámetro equivalente se midió con el micrómetro una muestra de 10g de fibra de coco en la cual se obtuvo que el valor de diámetro fue 0,23mm como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 7.
Diámetro promedio fibra de coco

Gramos de coco	Diámetro (mm)
2g	0,25
2g	0,36
2g	0,22
2g	0,15
2g	0,21
Diámetro promedio	0,238mm

Nota. En la tabla se puede apreciar 5 grupos de 2 gramos de fibra de coco con su diámetro en milímetros para una muestra total de 10 gramos y diámetro promedio.

$$l_{c_{tracción}} = 110 * 0,23mm$$

$$l_{c_{tracción}} = 110 * 0,23mm$$

$$l_{c_{tracción}} = 25,3mm$$

Teniendo en cuenta el criterio de falla de longitud crítica se cortarán las fibras con un tamaño final >25mm con el fin de garantizar el mayor esfuerzo de las fibras de coco.

- Calcular la longitud crítica del refuerzo (fibra natural de coco)

Se utiliza la ecuación 6 y se reemplazan datos

$$l_c = h * d$$

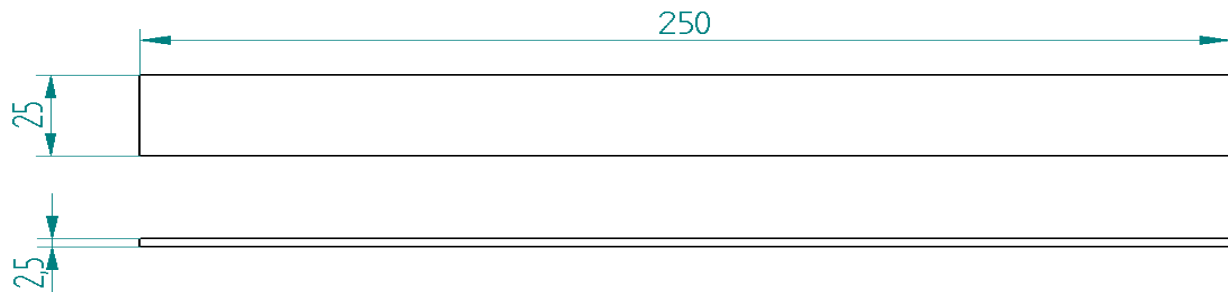
$$l_{c_{flexión}} = 60 * 0,23mm$$

$$l_{c_{flexión}} = 13,8mm = 14mm$$

2.5.2 Probetas a tracción

Figura 35.

Probeta a tracción



Nota. En la figura se puede apreciar las dimensiones de la probeta a tracción según la norma ASTM D3039 las medidas están dadas en milímetros. Tomado de: Autor.

- Cálculo del área para realizar las probetas a tracción según la norma ASTM D3039. se utiliza la ecuación 8 para encontrar el área de un rectángulo[46].

$$A = l * a \tag{7}$$

Donde:

l =longitud de la probeta (mm)

a =ancho de la probeta (mm)

Reemplazando:

$$A = 250mm * 25mm$$

$$A = 6250mm^2$$

$$A = 62,5 cm^2$$

- Posteriormente se calcula el volumen de la probeta según la ecuación 8[46].

$$V = A * e \tag{8}$$

Donde:

A =área de la probeta (mm^2)

e =ancho de la probeta (mm)

Reemplazando:

$$V = 6250mm^2 * 2,5mm$$

$$V = 15625mm^3$$

$$V = 15,625 cm^3 = V_{Ptracción}$$

- Teniendo en cuenta la regla de las mezclas de la ecuación 2; para este caso el volumen de la probeta a tracción será el mismo de la matriz (*Resina poliéster +Merk*)

$$V_{Ptracción} = 15,625cm^3 = V_{matriz}$$

- Calcular la cantidad de volumen de catalizador será el 2% de la composición de la resina poliéster y se determina con la ecuación 2 de la ley de las mezclas [34]. Se obtiene:

$$V_{catalizador} = V_{matriz} * 2\%$$

$$V_{catalizador} = 15,625cm^3 * 2\%$$

$$V_{catalizador} = 0,31cm^3$$

Para calcular la cantidad de resina poliéster se utiliza la ecuación 2 y se reemplazan los datos

$$V_{resina} = V_{matriz} - V_{catalizador}$$

$$V_{resina} = 15,625cm^3 - 0,31cm^3$$

$$V_{resina} = 15,31cm^3$$

Tabla 8.

Datos probetas a tracción sin refuerzo

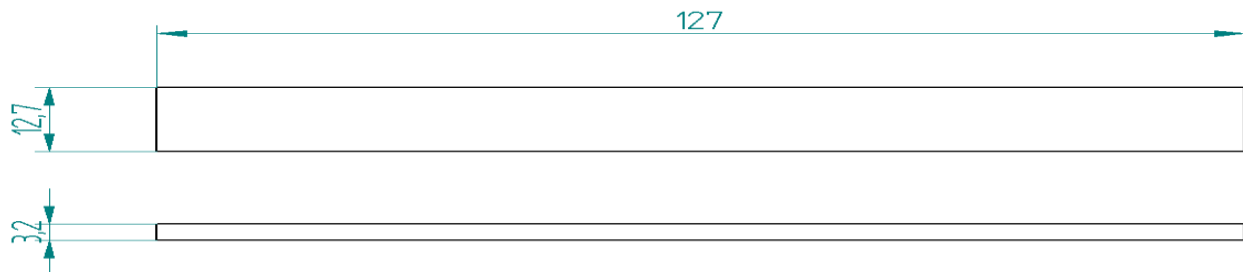
	Abreviatura	cantidad
Volumen probeta	$V_{Ptracción}$	$15,625cm^3$
Volumen matriz		
Volumen catalizador	$V_{catalizador}$	$0,31cm^3$
Volumen resina	V_{resina}	$15,31cm^3$

Nota. En la tabla muestra las cantidades exactas para elaborar una probeta a tracción elaborada únicamente por resina poliéster

2.5.3 Probetas a flexión

Figura 36.

Probeta a flexión



Nota. En la figura se puede apreciar las dimensiones de la probeta a flexión según la norma ASTM D0790 las medidas están dadas en milímetros. Tomado de: Autor.

Cálculo del área para realizar las probetas a flexión según la norma ASTM D0790 se utiliza la ecuación 8 y se reemplazan datos

$$\begin{aligned} A &= l * a \\ A &= 127mm * 12,7mm \\ A &= 1612,9mm^2 \\ A &= 16,12 cm^2 \end{aligned}$$

Posteriormente se calcula el volumen de la probeta, con la ecuación 8 y se reemplazan datos

$$\begin{aligned} V &= A * e \\ V &= 1612,9mm^2 * 3,2mm \end{aligned}$$

$$V = 5161,28mm^3 = 5,161cm^3$$

$$V_{Pflexión} = 5,161cm^3$$

Calcular la cantidad de volumen de catalizador se debe hacer con la ecuación 2 ley de las mezclas

$$V_{catalizador} = V_{matriz} * 2\%$$

$$V_{catalizador} = 5,16cm^3 * 2\%$$

$$V_{catalizador} = 0,10cm^3$$

Para calcular la cantidad de resina poliéster, se utiliza la ecuación 2 ley de las mezclas y se reemplazan los datos

$$V_{resina} = V_{matriz} - V_{catalizador}$$

$$V_{resina} = 5,16cm^3 - 0,10cm^3$$

$$V_{resina} = 5,05cm^3$$

Tabla 9.

Datos probetas a flexión sin refuerzo

	Abreviatura	cantidad
Volumen probeta	$V_{Pflexión}$	$5,16cm^3$
Volumen matriz		
Volumen catalizador	$V_{catalizador}$	$0,10cm^3$
Volumen resina	V_{resina}	$5,05cm^3$

Nota. En la tabla muestra las cantidades exactas para elaborar una probeta a tracción elaborada únicamente por resina poliéster.

2.5.4 Parámetros de las probetas

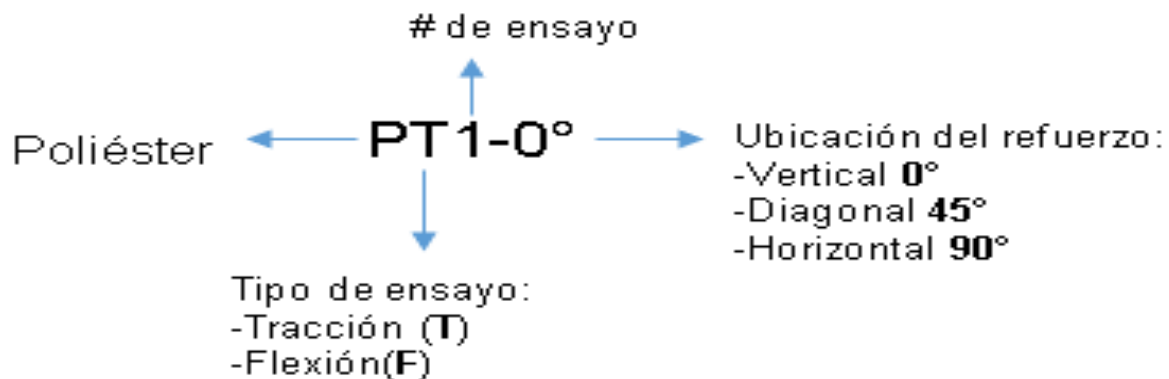
Según el estudio previo realizado por Gabriel Mazón Ortiz determino que utilizar el 30% volumen de refuerzo en fibras, las cuáles proporcionan las mejores propiedades mecánicas, sin tener en cuenta su orientación [25]. Para esta investigación se está estudiando la incidencia que tiene orientar las fibras bajo diferentes ángulos ; por lo cual

se opta por un 20% de volumen en fibras por las dimensiones seleccionadas para las probetas. Se deberán cumplir los siguientes requisitos:

1. **80%MATRIZ** (*Resina poliéster +Merk*) / **20% REFUERZO** (*fibra natural de coco*)
2. Para dar desarrollo al material compuesto se realizará por el proceso de molde abierto
3. Las fibras se cortarán teniendo en cuenta la longitud crítica, a tracción que sea mayor a 25 mm y a flexión mayor a 14 mm.
4. Para el ensayo a tracción de las probetas de material compuesto por resina poliéster y fibra natural de coco se elaborarán 20 probetas, para obtener la siguiente distribución:
 - 100%Resina poliéster=5probetas
 - Resina poliéster+ fibras de coco ubicadas a 0° (*vertical*)=5 probetas
 - Resina poliéster+ fibras de coco ubicadas a 45° (*diagonal*) =5 probetas.
 - Resina poliéster+ fibras de coco ubicadas a 90° (*horizontal*) =5 probetas.
5. La nomenclatura para diferenciar cada una de las probetas, será bajo los parámetros establecidos en la siguiente figura

Figura 37.

Nomenclatura de las probetas



Nota. En la figura se muestra la estructura de la nomenclatura establecida para reconocer cada una de las probetas. Si es una probeta de sin refuerzo se le adiciona la letra "P" al inicio anteponiéndose a los demás caracteres, si es reforzada no se coloca esta letra; seguido se coloca la letra del tipo de ensayo (T o F) según corresponda, luego el numero de la probeta del ensayo y finalmente la orientación del refuerzo (0° , 45° y 90°).

Tabla 10.*Nomenclatura probetas ensayo tracción*

#Probeta	Orientación Refuerzo	Nomenclatura	Fracción Volumétrica Fibras	Fracción Volumétrica Matriz	Moldeo abierto
1	-	PT1	0%	100%	Manual
2	-	PT2	0%	100%	Manual
3	-	PT3	0%	100%	Manual
4	-	PT4	0%	100%	Manual
5	-	PT5	0%	100%	Manual
6	0 °	T1-0°	20%	80%	Manual
7	0 °	T2-0°	20%	80%	Manual
8	0 °	T3-0°	20%	80%	Manual
9	0 °	T4-0°	20%	80%	Manual
10	0 °	T5-0°	20%	80%	Manual
11	45°	T1-45°	20%	80%	Manual
12	45°	T2-45°	20%	80%	Manual
13	45°	T3-45°	20%	80%	Manual
14	45°	T4-45°	20%	80%	Manual
15	45°	T5-45°	20%	80%	Manual
16	90°	T1-90°	20%	80%	Manual
17	90°	T2-90°	20%	80%	Manual
18	90°	T3-90°	20%	80%	Manual
19	90°	T4-90°	20%	80%	Manual
20	90°	T5-90°	20%	80%	Manual

Nota. En la figura se muestra la nomenclatura establecida para cada una de las probetas a las cuales se les va a realizar el ensayo a tracción

6. Para el ensayo a flexión de las probetas de material compuesto por resina poliéster y fibra natural de coco se elaborarán 20 probetas, para obtener la siguiente distribución:

- 100%Resina poliéster=5probetas
- Resina poliéster+ fibras de coco ubicadas a 0 ° (*vertical*)=5 probetas.

- Resina poliéster+ fibras de coco ubicadas a 45° (*diagonal*) =5 probetas.
- Resina poliéster+ fibras de coco ubicadas a 90°(*horizontal*) =5 probetas.

Tabla 11.

Nomenclatura probetas ensayo flexión

#Probeta	Orientación Refuerzo	Nomenclatura	Fracción Volumétrica Fibras	Fracción Volumétrica Matriz	Moldeo abierto
1	-	PF1	0%	100%	Manual
2	-	PF2	0%	100%	Manual
3	-	PF3	0%	100%	Manual
4	-	PF4	0%	100%	Manual
5	-	PF5	0%	100%	Manual
6	0 °	F1-0°	20%	80%	Manual
7	0 °	F2-0°	20%	80%	Manual
8	0 °	F3-0°	20%	80%	Manual
9	0 °	F4-0°	20%	80%	Manual
10	0 °	F5-0°	20%	80%	Manual
11	45°	F1-45°	20%	80%	Manual
12	45°	F2-45°	20%	80%	Manual
13	45°	F3-45°	20%	80%	Manual
14	45°	F4-45°	20%	80%	Manual
15	45°	F5-45°	20%	80%	Manual
16	90°	F1-90°	20%	80%	Manual
17	90°	F2-90°	20%	80%	Manual
18	90°	F3-90°	20%	80%	Manual
19	90°	F4-90°	20%	80%	Manual
20	90°	F5-90°	20%	80%	Manual

Nota. En la figura se muestra la nomenclatura establecida para cada una de las probetas a las cuales se les va a realizar el ensayo a flexión.

2.5.5 Probetas a tracción con refuerzo

El valor del volumen total de la probeta a tracción es $V_{Ptracción} = 15.625cm^3$ sin importar si su elaboración tiene refuerzo o no. Adicionalmente se conoce la fracción volumétrica del material compuesto **80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)**. Como se estableció en la sección de parámetros.

Conociendo el volumen total de la probeta; se determina la cantidad exacta a la que equivale el **80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk)**, mediante la ecuación 2.

$$V_{matriz} = V_{Ptracción} * 80\%$$

$$V_{matriz} = 15,625cm^3 * 80\% \\ V_{matriz} = 12,5cm^3$$

Conociendo el volumen de la matriz, se procede a calcular la cantidad de catalizador MERK se utiliza la ecuación 2 y se remplazan los datos

$$V_{catalizador} = V_{matriz} * 2\%$$

$$V_{catalizador} = 12,5cm^3 * 2\% \\ V_{catalizador} = 0,25cm^3$$

Para calcular la cantidad de resina poliéster se utiliza la ecuación 2 y se remplazan los datos.

$$V_{resina} = V_{matriz} - V_{catalizador}$$

$$V_{resina} = 12,5cm^3 - 0,25cm^3$$

$$V_{resina} = 12,25cm^3$$

La densidad de un material es la relación que existe entre la masa y el volumen[46] como se expresa en la ecuación 9.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (9)$$

Para calcular la cantidad de masa de resina poliéster se despeja de la ecuación 9 la masa, por lo que quedaría el volumen de la resina multiplicado por la densidad de la resina como ($\rho_{resina} = 1,28 \text{ g/cm}^3$)[26].

$$m_{resina} = V_{resina} * \rho_{resina}$$

$$m_{resina} = 12,25\text{cm}^3 * 1,28 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{resina} = 15,68\text{g}$$

El volumen que ocuparan las fibras estará dado. Por el volumen total de la probeta multiplicado por la fracción volumétrica de las fibras que en este caso es el 20%, teniendo en cuenta la ecuación 2; se reemplazan los datos para conocer este valor,

$$V_{coco} = V_{P_{tracción}} * 20\%$$

$$V_{coco} = 15,625\text{cm}^3 * 20\%$$

$$V_{coco} = 3,125\text{cm}^3$$

La cantidad de masa de fibras de coco para una sola probeta de tracción está dada por la ecuación 9 donde se despeja la masa y se multiplica el volumen por la densidad y para este caso se toma el valor de densidad de las fibras será ($\rho_{coco} = 0,77 \text{ g/cm}^3$)[39].

$$m_{coco} = V_{coco} * \rho_{coco}$$

$$m_{coco} = 3,125\text{cm}^3 * 0,77 \text{ g/cm}^3$$

$$m_{coco} = 2,40\text{g}$$

Para saber la masa total de fibras que se requieren para la elaboración de las 15 probetas se multiplica el valor de la masa de una sola probeta por 15.

$$m_{total \text{ coco } t} = m_{coco} * 15$$

$$m_{total \text{ coco } t} = 2,40\text{g} * 15$$

$$m_{total \text{ coco } t} = 36,09\text{g}(\text{probetas a tracción})$$

2.5.6 Probetas a flexión con refuerzo

El valor del volumen total de la probeta a flexión es $V_{Pflexión} = 5,161cm^3$ sin importar si su elaboración tiene refuerzo o no. Adicionalmente se conoce la fracción volumétrica del material compuesto **80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)**. Como se estableció en la sección de parámetros.

Conociendo el volumen total de la probeta; se determina la cantidad exacta a la que equivale el **80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk)**, mediante la ecuación 2.

$$V_{matriz} = V_{Pflexión} * 80\%$$

$$V_{matriz} = 5,16cm^3 * 80\%$$

$$V_{matriz} = 4,12cm^3$$

Conociendo el volumen de la matriz, se procede a calcular la cantidad de catalizador MERK se utiliza la ecuación 2 y se rempazan los datos

$$V_{catalizador} = V_{matriz} * 2\%$$

$$V_{catalizador} = 4,12cm^3 * 2\%$$

$$V_{catalizador} = 0,082cm^3$$

Para calcular la cantidad de resina poliéster se utiliza la ecuación 2 y se rempazan los datos.

$$V_{resina} = V_{matriz} - V_{catalizador}$$

$$V_{resina} = 4,12cm^3 - 0,082cm^3$$

$$V_{resina} = 4,04cm^3$$

Para calcular la cantidad de masa de resina poliéster se utiliza la ecuación 9 y se despeja la masa, la densidad de la resina como ($\rho_{resina} = 1,28 g/cm^3$)[26].

$$m_{resina} = V_{resina} * \rho_{resina}$$

$$m_{resina} = 4,04cm^3 * 1,28 g/cm^3$$

$$m_{resina} = 5,17g$$

El volumen que ocuparan las fibras estará dado. la fracción volumétrica de las fibras que en este caso es el 20%, teniendo en cuenta la ecuación 2 y volumen de la probeta a flexión

$$V_{coco} = V_{Pflexión} * 20\%$$

$$V_{coco} = 5,16cm^3 * 20\%$$

$$V_{coco} = 1,03cm^3$$

La cantidad de masa de fibras de coco para una sola probeta de tracción está dada por la ecuación ($\rho_{coco} = 0.77 g/cm^3$)[39].

$$m_{coco} = V_{coco} * \rho_{coco}$$

$$m_{coco} = 1,03cm^3 * 0,77 g/cm^3$$

$$m_{coco} = 0,79g$$

Para saber la masa total de fibras para las probetas a flexión se multiplica el valor en masa de una sola por 15.

$$m_{total\ cocof} = m_{coco} * 15$$

$$m_{total\ cocof} = 0,79g * 15$$

$$m_{total\ cocof} = 11,92g(\text{probetas a flexión})$$

$$m_{TOTAL\ COCO} = m_{total\ cocot} + m_{total\ cocof}$$

$$m_{TOTAL\ COCO} = 36,9g + 11,92g = 48g$$

La masa total de las fibras que hay que realizarle tratamiento químico para efectuar los ensayos es 48 gramos. Ver (Anexo 9)

2.5.7 Tipos de falla

Las probetas de tracción tienen una nomenclatura de 3 letras para identificar el tipo de falla como lo menciona la norma ASTM D3039, así mismo para los ensayos a flexión según la norma ASTM D0790. La primer letra hace referencia al modo de falla, la segunda letra hace referencia al área en la que se presentó la falla y la tercer letra se refiere a la ubicación de la falla presente en la probeta[42].

Figura 38.

Fallas a tensión

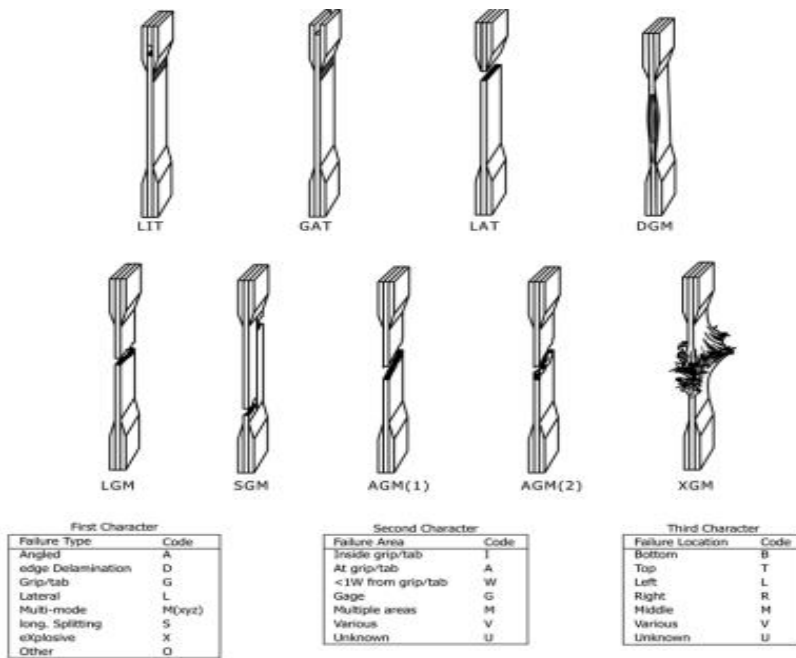


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

Nota. En la figura se observa la nomenclatura para los tipos de falla a tensión.

Figura 39.

Fallas a flexión

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

Nota. En la figura se observa la nomenclatura para los tipos de falla a flexión.

3. MOLDES, PROBETAS Y ENSAYOS

3.1 Fabricación de moldes

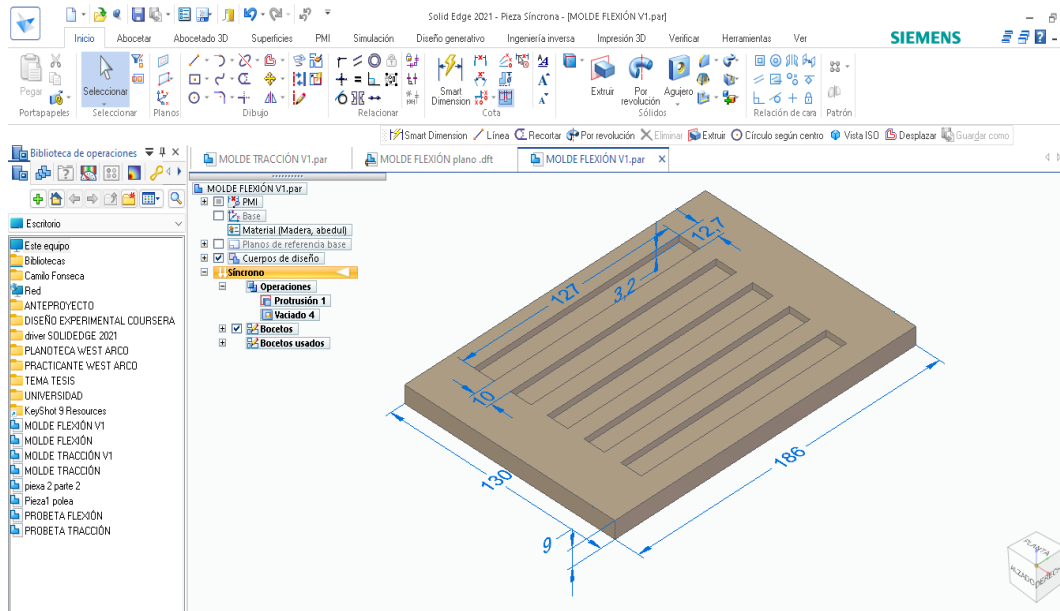
Teniendo en cuenta los parámetros y geometrías establecidas para la elaboración de probetas en el capítulo 2 se procede a fabricar los moldes a tensión y flexión según las normas ASTM D-3039 Y D-790 respectivamente.

Se elaboraron los moldes bajo el siguiente procedimiento:

- i. Para elaborar el molde se utilizó el programa Solid Edge, es un software tipo CAD (dibujo asistido por computador), por su interfaz amigable es de fácil acceso y permite un modelado en 3D; por lo cual brinda una visual que es muy similar a lo que sería las piezas en la vida real, otorgando así una mejor percepción del dibujo.

Figura 40.

Molde flexión en solid Edge

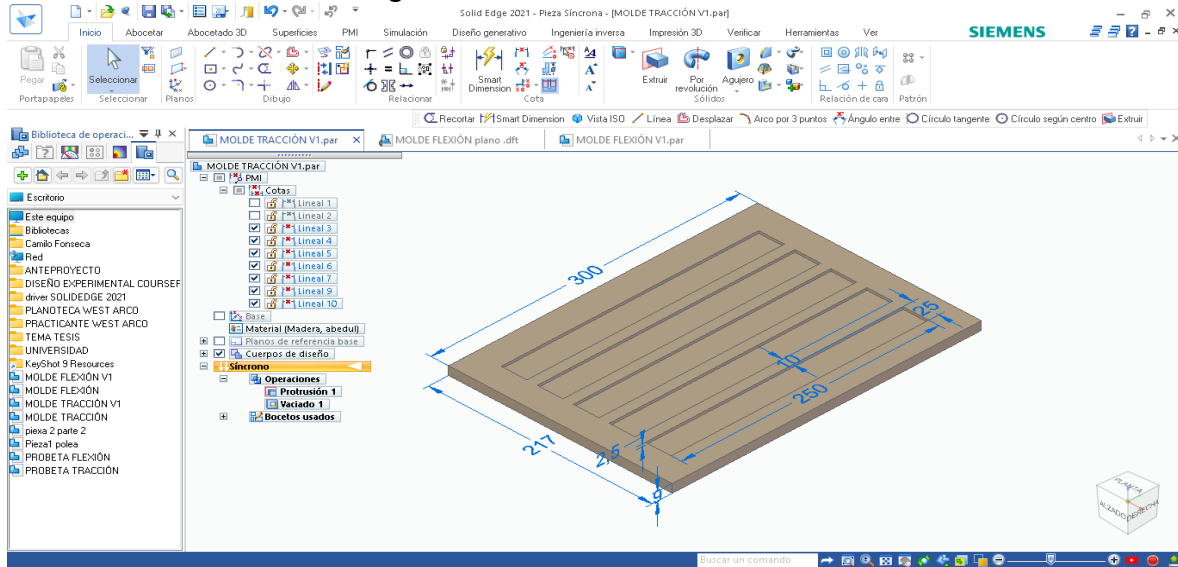


Nota. En la figura se puede apreciar el molde a flexión en software Solid Edge de dibujo.

El molde en madera tiene dimensiones de 186mm x 130mm x 9mm, así mismo tiene las cavidades con las dimensiones de las probetas a flexión. Para el molde a tracción las dimensiones son 300mm x 217mm x 9mm y sus respectivas cavidades.

Figura 41.

Molde tracción en Solid Edge



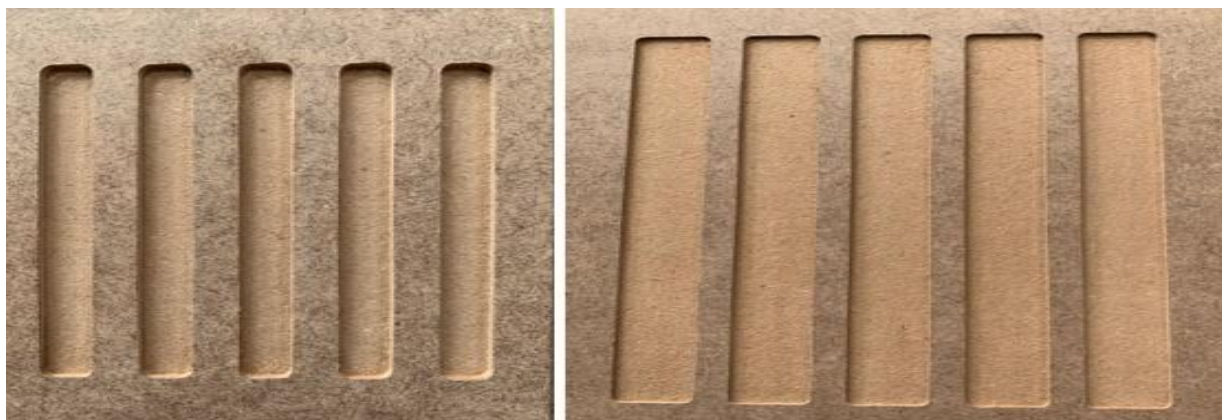
Nota. En la figura se puede apreciar el molde a tracción en software Solid Edge de dibujo.

Se seleccionó la madera MDF (madera del futuro) de espesor 9mm, con el objetivo que sea un molde ligero pero rígido, adicionalmente es un tipo de madera económica y comercialmente es de fácil adquisición.

El archivo del plano debe estar en formato (.pdf) para su posterior corte láser debido a que garantiza la geometría y forma establecida con un alto nivel de precisión.

Figura 42.

Moldes en madera de MDF



Nota. En la figura se puede apreciar los moldes en madera MDF, tanto a flexión como a tracción con un acabado bastante limpio y una superficie homogénea.

Los moldes se fabricaron en madera por ser un material de bajo costo y de fácil obtención, así mismo cada molde tanto para tracción como flexión cuenta con cinco (5) cavidades “canales” correspondientes a las cinco (5) probetas mínimas para cada ensayo; esto con el fin de elaborar todas las probetas con los mismos intervalos de tiempo de curado y desmoldeo, garantizando que todas las probetas fueron fabricadas de igual manera para que el proceso fuera lo más estandarizado posible.

3.2 Elaboración de probetas

I. En la jeringa de 1 ml, se toma la medida de catalizador Merk de $0,35\text{cm}^3$ para la resina poliéster sin refuerzo, para las probetas con refuerzo de fibra de coco se toma un volumen en catalizador Merk de $0,25\text{cm}^3$. estos valores son para el ensayo a tracción. Tenga en cuenta que para las probetas a flexión se toma la medida de catalizador Merk de $0,10\text{cm}^3$ para la resina poliéster sin refuerzo y para las probetas con refuerzo de fibra de coco, se toma un volumen en catalizador Merk de $0,08\text{cm}^3$.

Para ambos casos ese volumen corresponde al 2% lo cual es el porcentaje de catalizador sugerido a utilizar por los fabricantes de resinas.

II. Se utiliza un vaso plástico de precipitado y se ubica en la balanza convencional, se emplea el método de TARE de la balanza; en el cual se coloca un objeto y posteriormente a la medida obtenida se toma como cero absoluto para poder desprejar la masa del vaso y solo tener en cuenta la masa que se encuentra en su interior cuando se llena.

Figura 43.

Tare

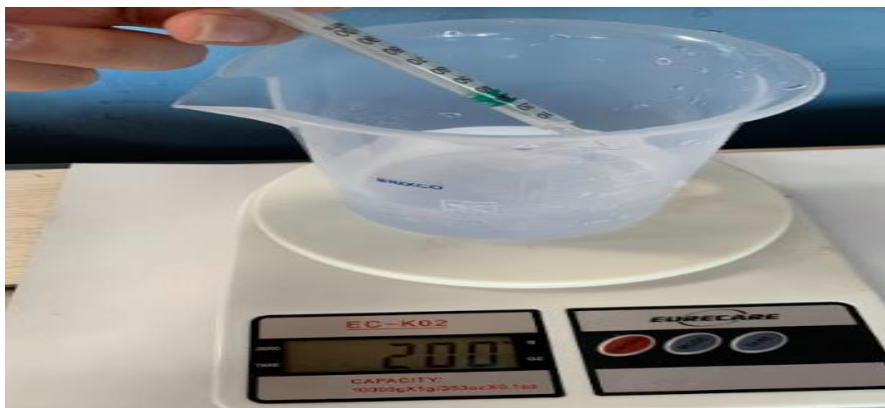


Nota. En la figura se puede observar un vaso de precipitado plástico con un peso de 0g que se toma a partir de ese punto como referencia para adicionar los líquidos en su interior y conocer su masa.

III. En el vaso precipitado que se empleó en el paso anterior, se adiciona el volumen (cm^3) necesario de resina poliéster para probetas sin refuerzo y volumen (cm^3) de resina poliéster para probetas reforzadas con fibra natural de coco junto con su cantidad de catalizador necesaria según corresponda.

Figura 44.

Adición de resina



Nota. En la figura se puede observar un vaso de precipitado plástico con una jeringa plástica. En el proceso de adición de resina.

IV. Se mezcló con un palo de paleta el contenido del recipiente plástico en el cual se encontraba la resina poliéster y el catalizador Merk, se mezcla hasta obtener una consistencia homogénea y de tonalidad transparente.

Figura 45.

Mezcla de la resina poliéster y catalizador Merk



Nota. En la figura se puede observar un vaso de precipitado plástico en el proceso de mezclado de la resina poliéster y el catalizador.

V. Se aplica la cera desmoldante o en su defecto vaselina, pura aceites, entre otros; con ayuda de un pincel sobre toda la superficie del molde; tratando de que sea lo más uniforme posible.

Figura 46.

Molde a flexión y tracción con desmoldante



Nota. En la figura se puede observar el molde de flexión y tracción con capa de cera desmoldante.

VI. se vierte la mezcla de resina poliéster y catalizador en el molde, se debe realizar lentamente con el fin de que no se vayan a generar burbujas y que el molde quede recubierto de manera uniforme.

Figura 47.

Vaciado de la resina en el molde



Nota. En la figura se puede observar.

IMPORTANTE: para las probetas con refuerzo de fibra de coco realizar el numeral **VII** y dar continuidad a el procedimiento.

VII. con el uso de la balanza analítica o de la balanza convencional se mide la masa en gramos de fibra de coco correspondiente para cada probeta según sea el caso tracción o flexión.

Figura 48.

Masa de la fibra de coco



Nota. En la figura se puede observar que las fibras están en buenas condiciones y se puede disponer de ellas; para la elaboración de probetas.

VIII. Para las probetas con refuerzo se debe tener en cuenta la orientación de las fibras de coco por lo cual se utiliza una escuadra de 45°, para garantizar este ángulo de inclinación. Para las fibras verticales y horizontales se colocaron sobre el molde sin el uso de escuadra o regla, posteriormente se vierte la resina poliéster y se deja secar 24 horas.

Figura 49.

Molde a tracción fibras 0°



Nota. En la figura se puede observar la fibra natural de coco ubicada a 0° en una orientación vertical.

Figura 50.

. Molde a flexión fibras a 0°



Nota. En la figura se puede observar la fibra natural de coco ubicada a 0° en una orientación vertical.

Figura 51.

Molde a tracción fibras a 45°



Nota. En la figura se puede observar la fibra natural de coco ubicada a 45° en una orientación diagonal.

Figura 52.

Molde a flexión fibras a 45°



Nota. En la figura se puede observar la fibra natural de coco ubicada a 45° en una orientación diagonal.

Figura 53.

Molde a tracción fibras a 90°



Nota. En la figura se puede observar la fibra natural de coco ubicada a 90° en una orientación horizontal.

Figura 54.

Molde a flexión fibras a 90°



Nota. En la figura se puede observar la fibra natural de coco ubicada a 90° en una orientación horizontal.

IX. Realizar proceso de acabados con lija, con el fin de garantizar que la superficie de las probetas se encuentre en las mejores condiciones y cumplan con las dimensiones de las normas a tensión y flexión según las normas ASTM D-3039 y D-790 respectivamente, si cumplen se acepta de lo contrario se rechaza. Se coteja mediante la revisión dimensional con ayuda del micrómetro.

Para las probetas a tensión se dejó a cada lado 50 mm con el fin de pegar lija o fibra esmeril con el fin de garantizar un mejor agarre entre las mordazas de la máquina de ensayos universal y la probeta, es por ello que se toma como longitud inicial un valor de 150mm, como lo permite la norma ASTM D-3039[42].

Tabla 12.*Revisión dimensional probetas a tracción*

Probeta	Largo Lo (mm)	Ancho (mm)	Ancho (mm)	Ancho (mm)	Ancho Promedio (mm)	Espesor (mm)	Espesor (mm)	Espesor (mm)	Espesor promedio (mm)	Área transversal (mm ²)	Longitud final Lf (mm)	%L
PT1	150	24,60	26,02	24,95	25,19	2,41	2,55	2,58	2,51	63,23	154,78	3,19
PT2	150	24,44	24,58	24,90	24,40	2,55	2,41	2,89	2,63	64,17	154,04	2,69
PT3	150	25,00	24,89	24,70	24,86	2,58	2,58	2,50	2,55	63,48	155,20	3,47
PT4	150	24,60	24,50	24,40	24,50	2,41	2,51	2,56	2,49	61,09	155,20	3,47
PT5	150	24,44	24,58	25,00	24,67	2,98	2,90	2,89	2,92	72,13	156,00	4,00
T1-0°	150	25,05	24,73	25,10	24,96	2,81	3,24	2,65	2,51	62,65	153,83	2,55
T2-0°	150	24,99	24,99	25,03	25,00	2,67	2,65	2,57	2,63	65,76	153,45	2,30
T3-0°	150	25,10	25,06	24,41	25,19	2,92	3,00	2,57	2,55	64,23	153,83	2,55
T4-0°	150	25,03	24,41	24,99	24,40	2,60	2,65	2,57	2,49	60,76	156,18	4,12
T5-0°	150	24,88	24,86	25,05	24,67	2,40	3,00	3,20	2,92	72,04	155,25	3,50
T1-45°	150	24,88	25,03	25,12	25,01	2,78	3,40	2,60	2,93	73,20	153,00	2,00
T2-45°	150	24,86	24,41	24,73	24,67	2,67	2,81	2,70	2,73	67,26	153,50	2,33
T3-45°	150	25,05	24,99	25,10	25,05	2,84	3,24	2,65	2,91	72,89	153,00	2,00
T4-45°	150	24,99	25,06	25,17	25,07	2,43	2,81	2,57	2,60	65,27	153,00	2,00
T5-45°	150	24,41	24,99	25,06	24,82	2,40	3,00	3,20	2,87	71,15	153,50	2,33
T1-90°	150	25,03	24,41	24,99	24,81	2,81	3,24	2,81	2,95	73,27	151,23	0,82
T2-90°	150	24,86	25,05	24,99	24,97	2,67	2,84	2,43	2,65	66,08	151,50	1,00
T3-90°	150	24,41	24,99	25,06	24,82	2,92	2,81	3,24	2,99	74,21	151,23	0,82
T4-90°	150	24,73	25,10	25,17	25,00	2,60	2,70	2,65	2,65	66,25	151,50	1,00
T5-90°	150	24,20	25,03	24,41	24,55	2,70	2,81	3,00	2,84	69,63	150,97	0,65

Nota. En la figura se muestran las medidas en milímetros de cada una de las probetas a las cuales se les va a realizar el ensayo a tracción.

Tabla 13.

Revisión dimensional probetas a flexión

Probeta	Largo Lo (mm)	Ancho (mm)	Ancho (mm)	Ancho (mm)	Ancho Promedio (mm)	Espesor (mm)	Espesor (mm)	Espesor (mm)	Espesor promedio (mm)	Área transversal (mm ²)
PF1	127	12,40	12,65	12,87	12,64	3,16	3,28	3,21	3,22	40,66
PF2	127	12,20	14,00	12,13	12,78	3,23	3,18	3,34	3,25	41,52
PF3	127	12,28	12,13	12,97	12,46	3,19	3,20	3,17	3,19	39,71
PF4	127	11,97	12,50	12,55	12,34	3,80	3,16	3,00	3,32	40,97
PF5	127	12,46	12,65	14,00	13,04	3,16	3,17	3,19	3,17	41,37
F1-0°	127	11,97	12,50	12,55	12,34	3,16	3,28	3,21	3,22	39,69
F2-0°	127	12,70	13,00	12,65	12,78	3,19	3,20	3,17	3,19	40,74
F3-0°	127	12,46	12,65	12,97	12,69	3,23	4,00	3,34	3,52	44,72
F4-0°	127	12,20	12,00	12,13	12,11	3,16	3,28	3,21	3,22	38,95
F5-0°	127	14,00	12,65	12,00	12,88	3,80	3,16	3,00	3,32	42,77
F1-45°	127	12,40	12,20	12,87	12,49	3,18	3,16	3,34	3,23	40,30
F2-45°	127	12,65	12,65	12,46	12,59	3,28	3,20	4,00	3,49	43,97
F3-45°	127	12,87	12,65	13,00	12,84	3,80	3,16	3,23	3,40	43,61
F4-45°	127	12,70	11,55	12,65	12,30	3,18	3,34	3,28	3,27	40,18
F5-45°	127	12,40	12,70	12,00	12,37	3,76	3,60	3,00	3,45	42,71
F1-90°	127	11,97	12,70	12,46	12,38	3,28	3,23	3,16	3,22	39,89
F2-90°	127	12,65	11,00	12,65	12,10	3,20	3,28	3,60	3,36	40,66
F3-90°	127	12,55	12,65	12,97	12,72	4,00	3,00	3,18	3,39	43,17
F4-90°	127	11,70	12,46	12,20	12,12	3,28	3,80	3,16	3,41	41,37
F5-90°	127	12,40	12,65	12,87	12,64	3,16	3,18	3,34	3,23	40,79

Nota. En la figura se muestran las medidas en milímetros de cada una de las probetas a las cuales se les va a realizar el ensayo a flexión.

Figura 55.

Probetas a tracción terminadas



Nota. En la figura se puede observar las probetas a tracción reforzadas con fibra natural de coco con los diferentes tipos de orientación a 0°, 90° y 45°.

Figura 56.

Probetas a flexión terminadas



Nota. En la figura se puede observar las probetas a flexión reforzadas con fibra natural de coco con los diferentes tipos de orientación a 0°, 90° y 45°.

X.A continuación, se le asigna la nomenclatura establecida con finalidad de identificar cada probeta tanto de tracción como flexión y se le coloca trozos de fibra esmeril o lija de textura gruesa, para garantizar un buen ajuste entre la mordaza y la probeta.

Figura 57.

Marcación de probetas

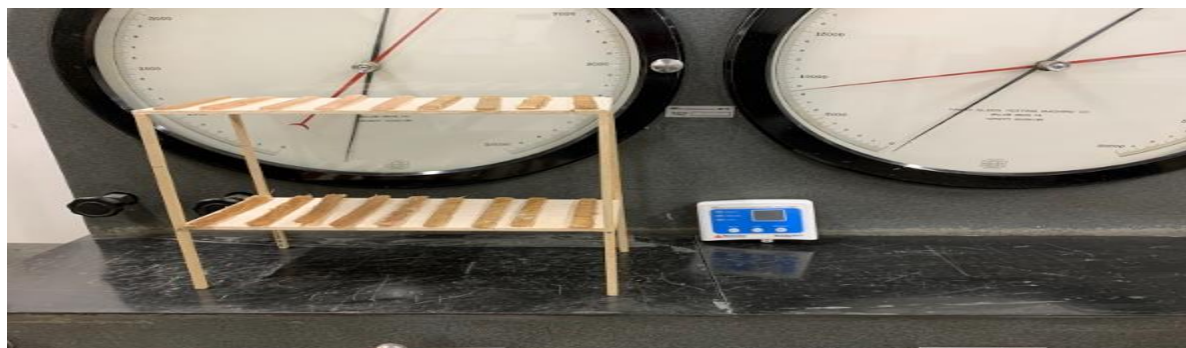


Nota. En la figura se puede observar las probetas a tracción y flexión de resina poliéster y reforzadas con fibra natural de coco con los diferentes tipos de orientación a 0°, 90° y 45° con su respectiva nomenclatura.

XI.48 horas antes de realizar los ensayos atracción y flexión se deben dejar las probetas en el laboratorio y monitorear la temperatura con el termohigrómetro; el cual indico una temperatura de 20,3°C y 64,2 % de humedad relativa.

Figura 58.

Acondicionamiento de las probetas



Nota. En la figura se puede observar las probetas a tracción y flexión de resina poliéster y reforzadas con fibra natural de coco con los diferentes tipos de orientación a 0°,90° y 45°en el laboratorio mecánico de soldaduras West Arco SAS.

*No se contaba con un soporte de 3 puntos que cumpliera con una geometría tan pequeña como la seleccionada para el ensayo a flexión; por lo cual fue necesario mecanizar la pieza y que cumpliera con la norma ASTM D0790.los cálculos establecieron que el soporte debe cumplir con una distancia entre centros de 51mm. Ver (Anexo 8)

Figura 59.

Soporte 3 puntos flexión



Nota. En la figura se muestra el soporte que se fabricó con la empresa TYG y bajo la norma ASTM-D0790.

3.3 Ensayos a tracción

En esta sección se mostrarán los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio mecánico de SWA (Soldaduras West Arco SAS) el cual cumple la norma **ISO/IEC17025:2017**, a su vez se identificó el tipo de falla para cada probeta con ayuda de la norma ASTM-D3039 que se encuentra en el (Anexo 1). Posteriormente los valores (promedio, desviación estándar y varianza). Se calcularon con ayuda de la herramienta Microsoft Excel con las funciones (PROMEDIO, DESVEST.M, VAR.S)

Para los ensayos a tracción se reportó temperatura ambiente de 20,3°C y 64,2% de humedad relativa con ayuda del termohigrómetro.

3.3.1 Resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PT)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a tracción para las probetas elaboradas únicamente con resina poliéster y una composición del 2% de volumen de catalizador Merk.

Tabla 14.

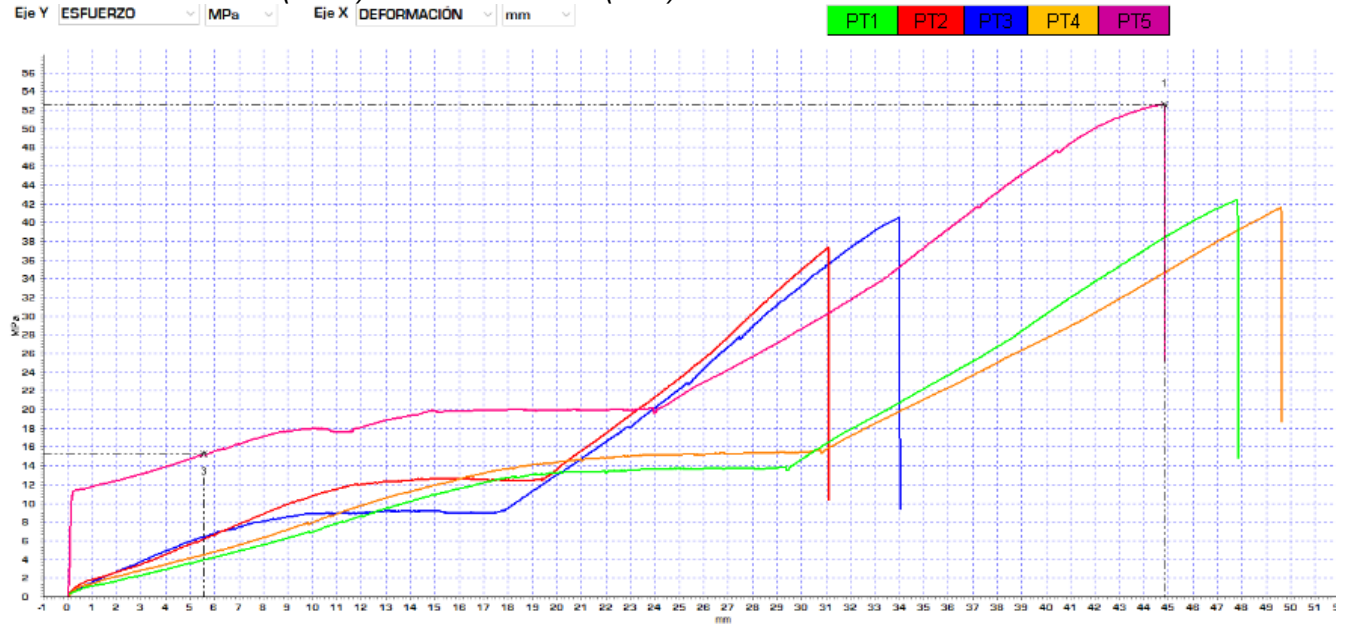
Propiedades mecánicas de las probetas resina poliéster sin refuerzo PT

Probeta	% Deformación	Esfuerzo Máximo (MPa)	Carga Máxima(N)	Módulo de Young (MPa)	Tipo de falla
PT1	3,19	41	2563	154	LIT
PT2	2,69	37	2396	160	XGM
PT3	3,47	42	2638	119	AGM
PT4	3,47	42	2587	112	LAT
PT5	4,00	53	3792	107	LGM
promedio	3,36	43,00	2795,20	130,40	
Desviación est	0,476132568	5,958187644	564,5677107	24,7446964	
varianza	0,226702222	35,5	318736,7	612,3	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a tracción de resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PT). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (PT1, PT2PT3, PT4, PT5).

Figura 60.

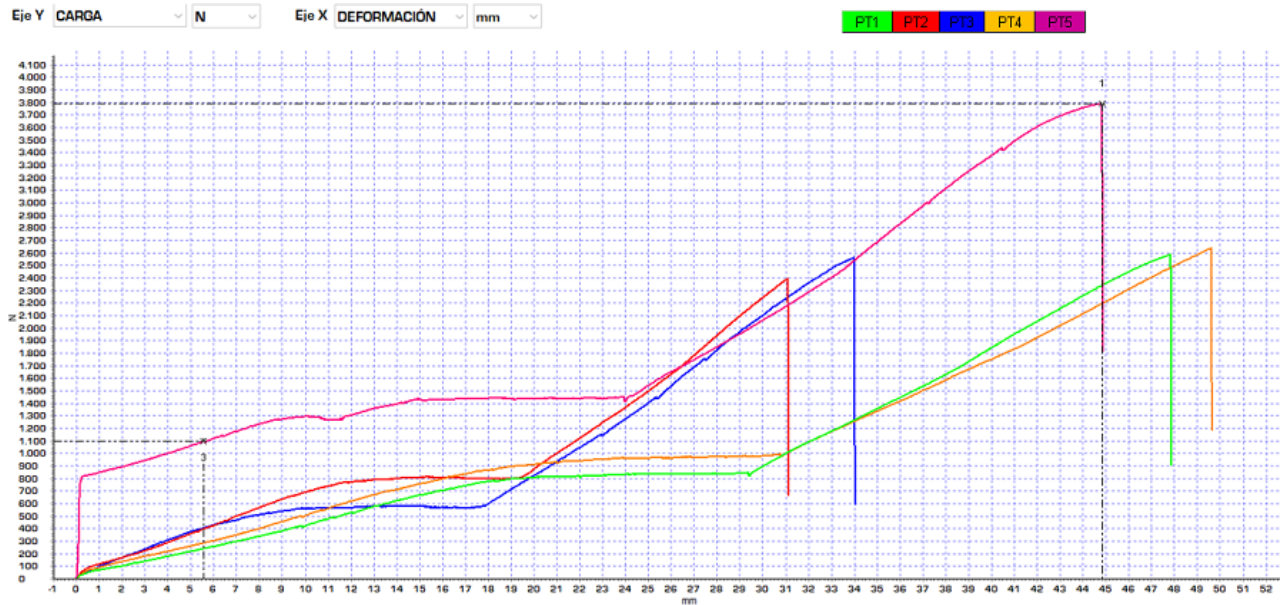
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) PT



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra natural de coco (PT1, PT2, PT3, PT4, PT5).

Figura 61.

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) PT



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima, para cada una de las probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra natural de coco (PT1, PT2, PT3, PT4, PT5).

Figura 62.

Probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PT)



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra natural de coco (PT1, PT2, PT3, PT4, PT5) posterior a su ensayo a tracción, para identificar su tipo de falla.

3.3.2 Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 0°(T-0°)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a tracción para las probetas elaboradas con refuerzo vertical (de fibra de coco y con fracción volumétrica de:80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)

Tabla 15.

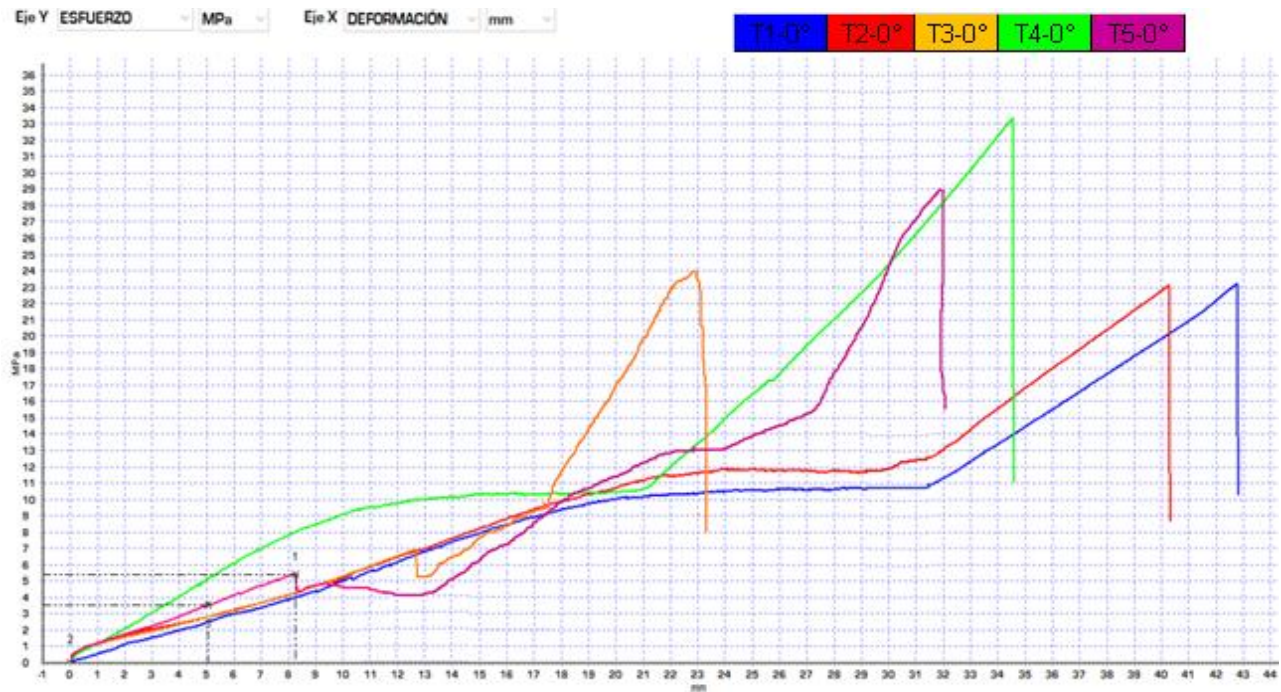
Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 0°(T-0°)

Probeta	% Deformación	Esfuerzo Máximo (MPa)	Carga Máxima(N)	Módulo de Young (MPa)	Tipo de falla
T1-0°	2,55	23	1836	86	LAT
T2-0°	2,30	23	1619	88	LAT
T3-0°	2,55	23	1727	87	LIT
T4-0°	4,12	33	2574	144	LIT
T5-0°	3,50	28	2205	140	AGM
promedio	3,01	26	1992,20	109,00	
Desviación	0,773511474	4,472135955	392,9958015	30,1662063	
varianza	0,59832	20	154445,7	910	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a tracción de resina poliéster con refuerzo de fibra de coco (T-0°). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (T1-0°, T2-0°, T3-0°, T4-0°, T5-0°).

Figura 63.

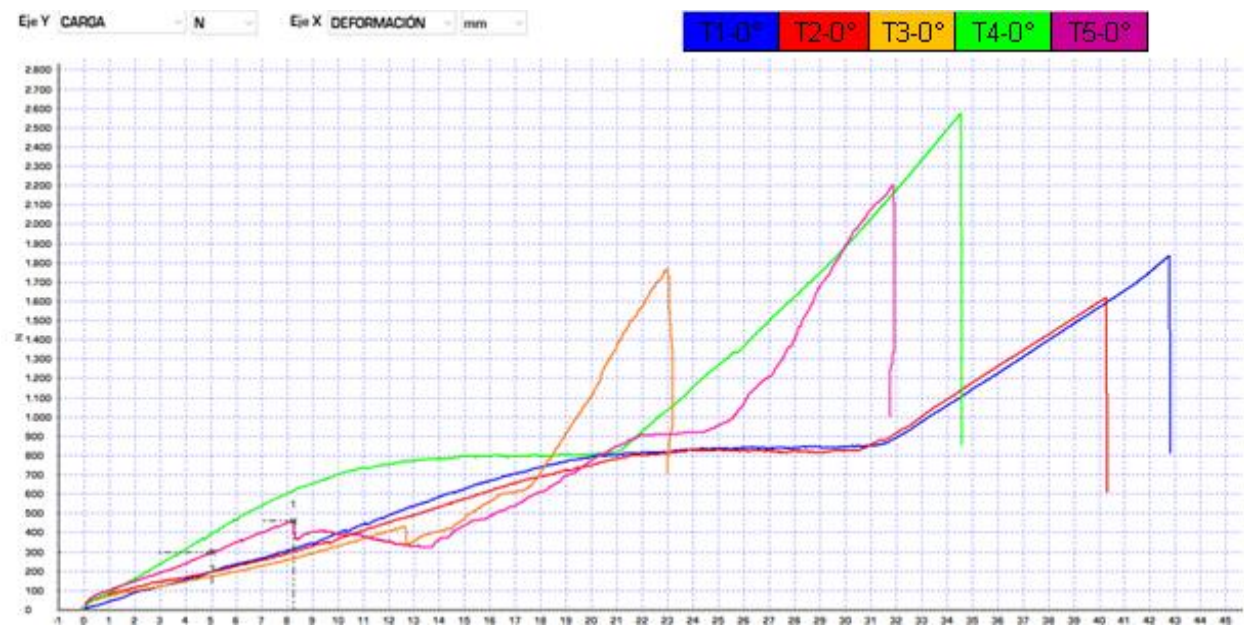
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) T-0°



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco vertical a 0° (T1-0°, T2-0°, T3-0°, T4-0°, T5-0°).

Figura 64.

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-0°



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco vertical a 0° (T1-0°, T2-0°, T3-0°, T4-0°, T5-0°).

Figura 65.

Probetas a tracción con refuerzo de coco a 0°



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco vertical (T1-0°, T2-0°, T3-0°, T4-0°, T5-0°). posterior a su ensayo a tracción, para identificar su tipo de falla.

3.3.3 Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 45°(T-45°)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a tracción para las probetas elaboradas con refuerzo diagonal de fibra de coco y con fracción volumétrica de: 80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)

Tabla 16.

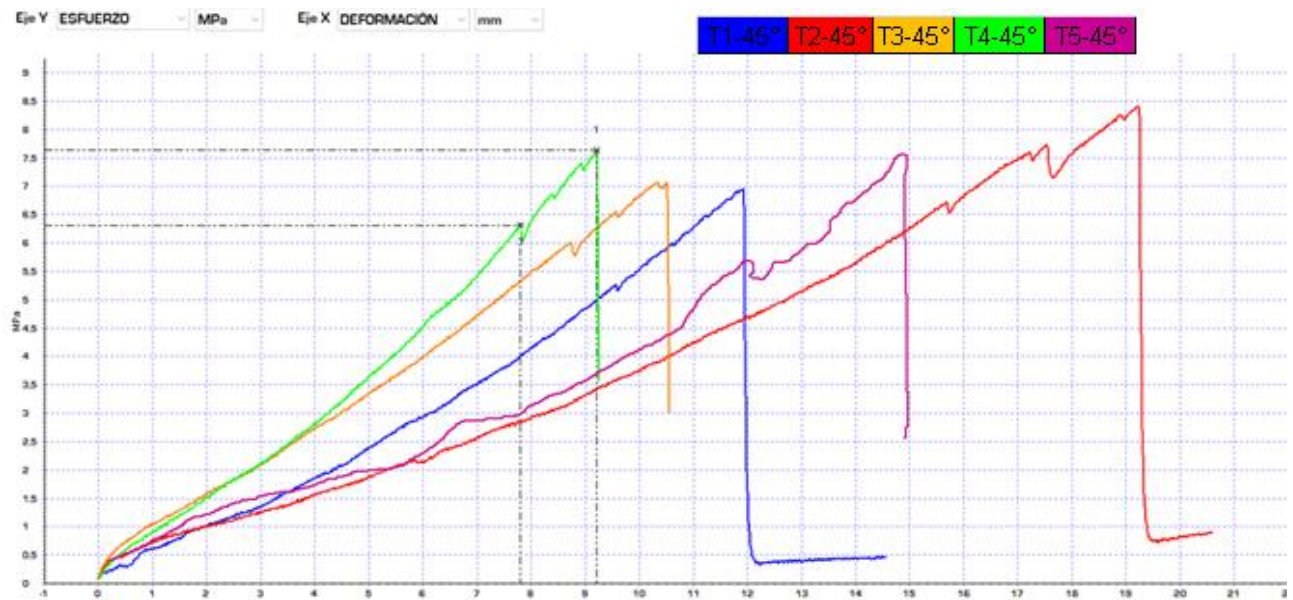
Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 45°(T-45°)

Probeta	% Deformación	Esfuerzo máximo (MPa)	Carga Máxima(N)	Módulo de Young (MPa)	Tipo de falla
T1-45°	2,00	7	510	97	AIT
T2-45°	2,33	8	554	92	AGM
T3-45°	2,00	7	516	97	AGM
T4-45°	2,00	8	498	133	AIT
T5-45°	2,33	7	516	97	AGM
promedio	2,13	7,40	518,80	103,20	LGM
Desviación	0,182574186	0,547722558	21,00476136	16,7988095	
varianza	0,033333333	0,3	441,2	282,2	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a tracción de resina poliéster con refuerzo de fibra de coco (T-45°). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (T1-45°, T2-45°, T3-45°, T4-45°, T5-45°).

Figura 66. Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) T-45°

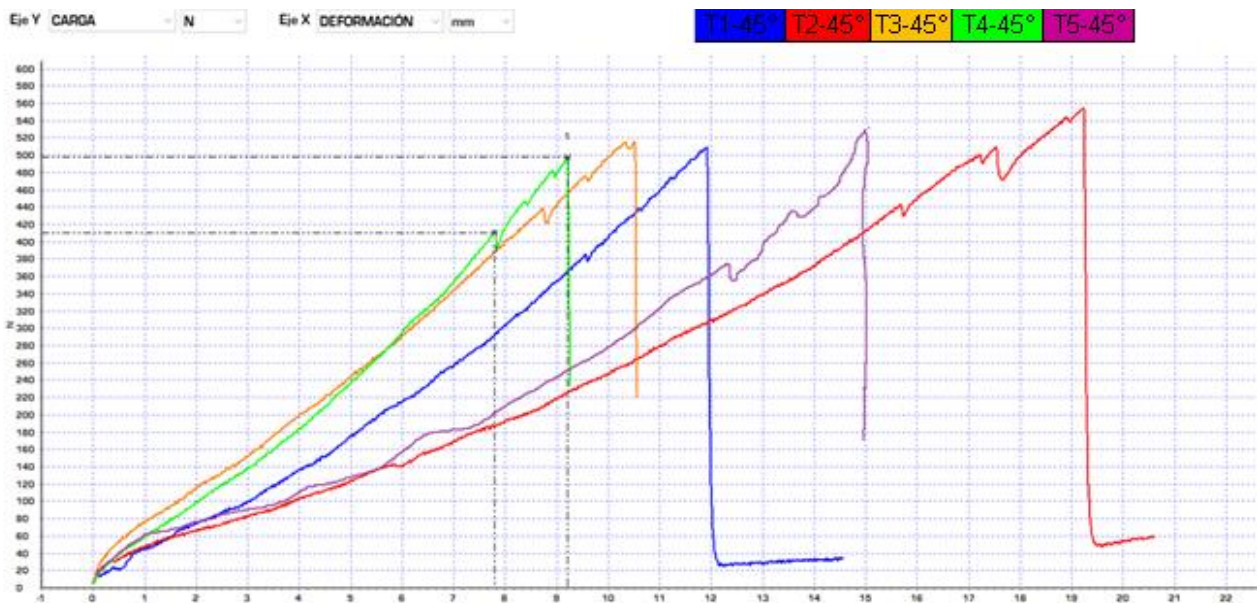
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) T-45°



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco diagonal a 45° (T1-45°, T2-45°, T3-45°, T4-45°, T5-45°).

Figura 67. Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-45°

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-45°



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco diagonal a 45° (T1-45°, T2-45°, T3-45°, T4-45°, T5-45°).

Figura 68.

Probetas a tracción con refuerzo de coco a 45°



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco diagonal (T1-45°, T2-45°, T3-45°, T4-45°, T5-45°). posterior a su ensayo a tracción, para identificar su tipo de falla.

3.3.4 Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 90°(T-90°)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a tracción para las probetas elaboradas con refuerzo horizontal de fibra de coco y con fracción volumétrica de:80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)

Tabla 17.

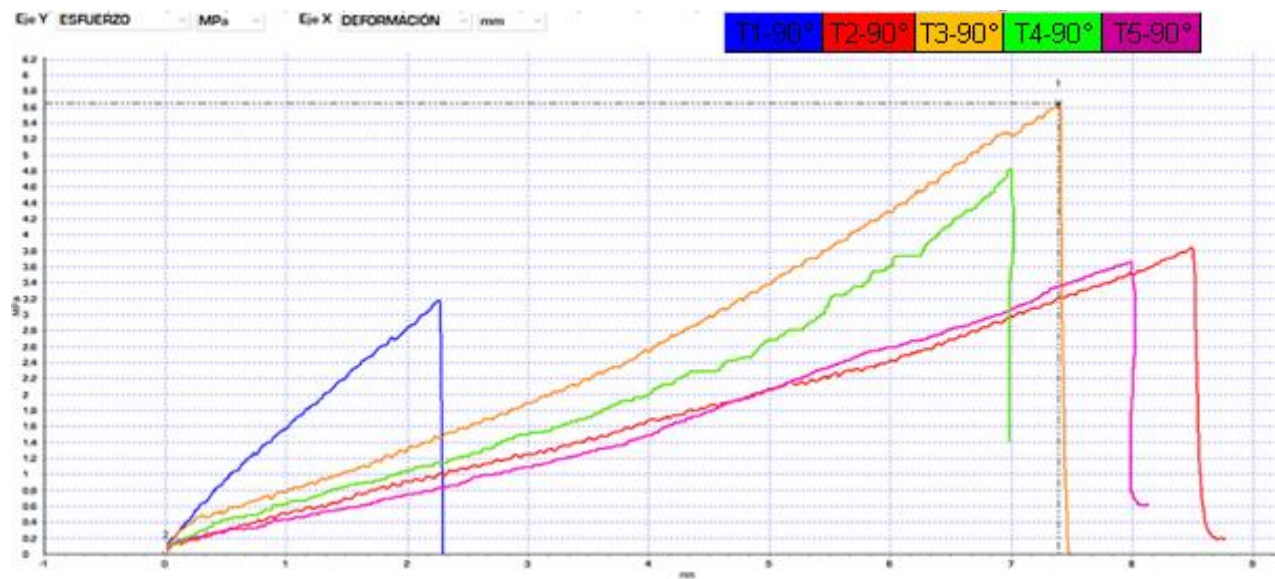
Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 90°(T-90°)

<i>Probeta</i>	<i>% Deformación</i>	<i>Esfuerzo Máximo (MPa)</i>	<i>Carga Máxima(N)</i>	<i>Módulo de Young (MPa)</i>	<i>Tipo de falla</i>
T1-90°	0,82	3	233	55	LGM
T2-90°	1,00	4	285	56	LGM
T3-90°	0,82	6	375	51	LAT
T4-90°	1,00	5	330	50	LGM
T5-90°	0,65	4	260	56	AGM
promedio	0,86	4,4	296,60	53,60	
Desviación	0,148219057	1,140175425	56,52698471	2,88097206	
varianza	0,021968889	1,3	3195,3	8,3	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a tracción de resina poliéster con refuerzo de fibra de coco (T-90°). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (T1-90°, T2-90°, T3-0°, T4-90°, T5-90°).

Figura 69.

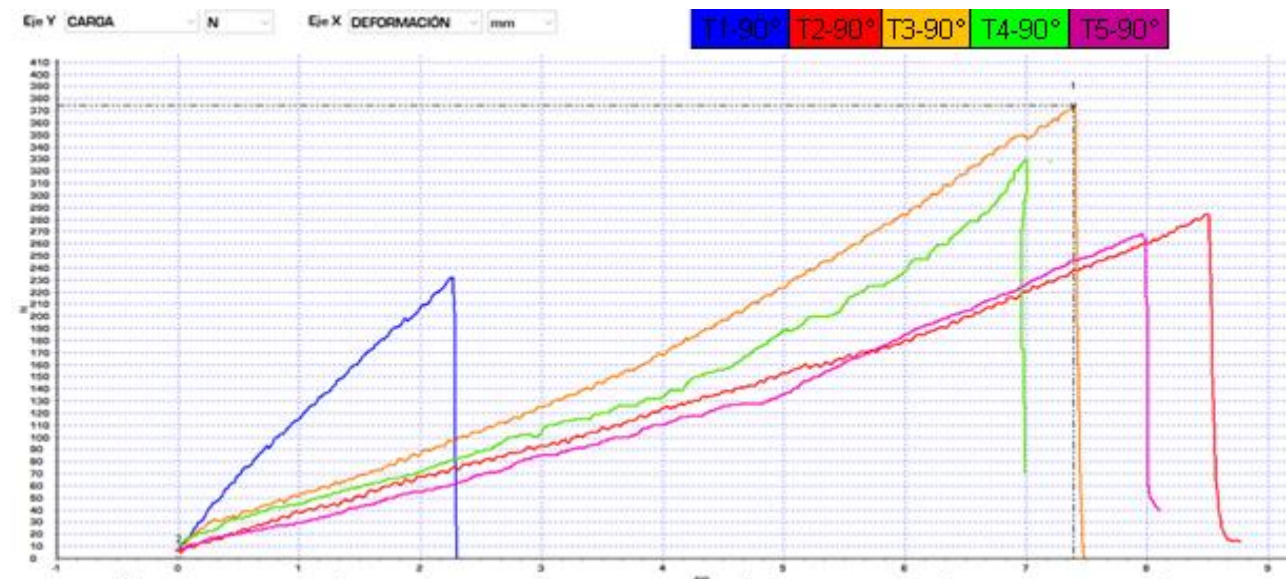
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) T-90°



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco horizontal a 90° (T1-90°, T2-90°, T3-90°, T4-90°, T5-90°).

Figura 70.

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-90°



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco horizontal a 90° (T1-90°, T2-90°, T3-90°, T4-90°, T5-90°).

Figura 71.

Probetas a tracción con refuerzo de coco a 90°



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco horizontal (T1-90°, T2-90°, T3-90°, T4-90°, T5-90°). posterior a su ensayo a tracción, para identificar su tipo de falla.

3.4 Ensayos a flexión

En esta sección se mostrarán los datos obtenidos de las pruebas realizadas en el laboratorio mecánico de SWA (Soldaduras West Arco SAS) el cual cumple la norma **ISO/IEC17025:2017**, a su vez se identificó el tipo de falla para cada probeta a flexión con ayuda de la norma ASTM-D7264 que se encuentra en el (Anexo 2). Posteriormente los valores (promedio, desviación estándar y varianza). Se calcularon con ayuda de la herramienta Microsoft Excel con las funciones (PROMEDIO, DESVEST.M).

Para los ensayos a flexión se reportó temperatura ambiente de 20,3°C y 64,2% de humedad relativa con ayuda del termohigrómetro.

3.4.1 Resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PF)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a flexión para las probetas elaboradas únicamente con resina poliéster y una composición del 2% de volumen de catalizador Merk.

Tabla 18.

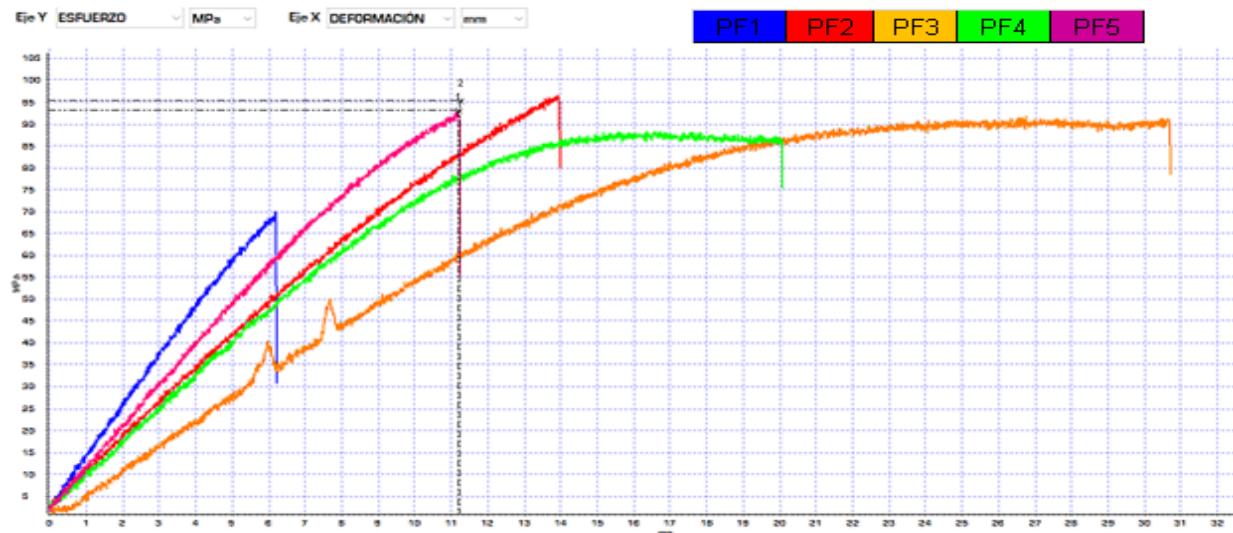
Propiedades mecánicas de las probetas resina poliéster sin refuerzo (PF)

Probeta	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo Flexión (MPa)	Carga Máxima(N)	Módulo de Flexión (MPa)	Tipo de falla
PF1	6	70	119	1208	OAV
PF2	14	97	169	684	OAV
PF3	27	92	151	247	OAM
PF4	3	88	157	1038	OAB
PF5	3	93	159	848	OAV
promedio	6	88	151	805	
Desviación est	10,0408499	10,55935604	19,0262976	368,9688334	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a flexión de resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PT). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (PF1, PF2, PT3, PF4, PF5).

Figura 72.

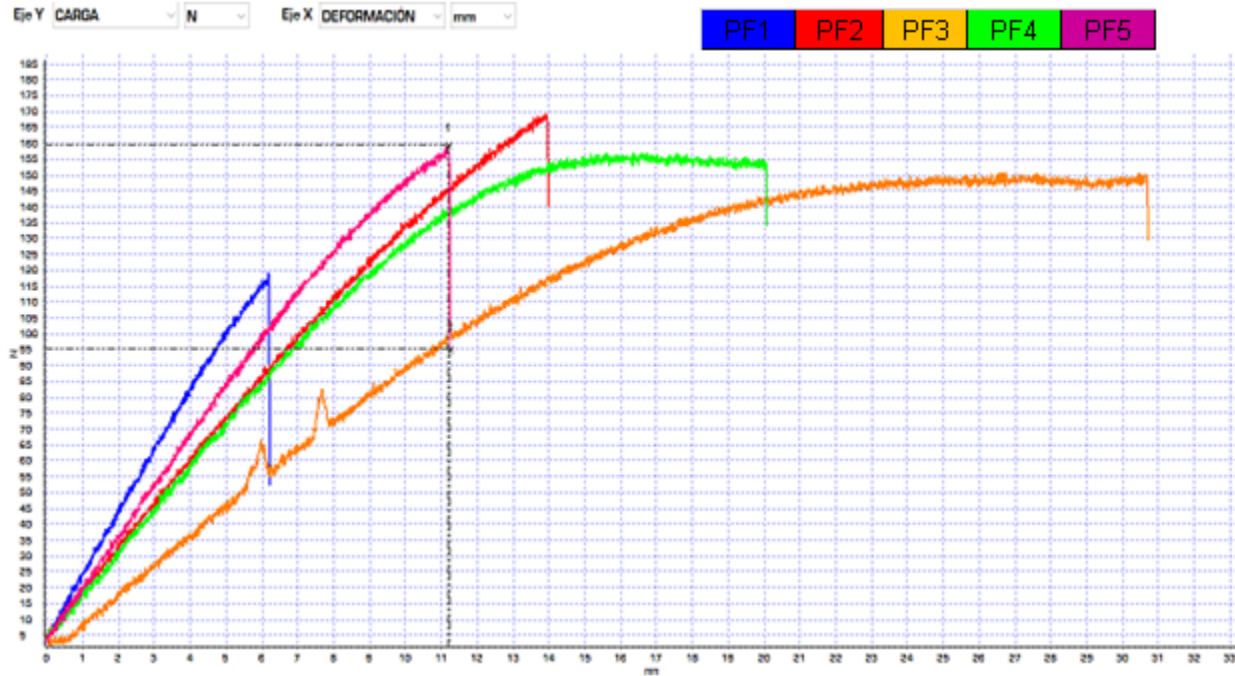
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) PF



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra natural de coco (PF1, PF2, PF3, PF4, PF5).

Figura 73.

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) PF



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra natural de coco (PF1, PF2, PF3, PF4, PF5).

Figura 74.

Probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra de coco (PF)



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster sin refuerzo de fibra natural de coco (PF1, PF2, PF3, PF4, PF5) posterior a su ensayo a flexión, para identificar su tipo de falla.

3.4.2 Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 0°(F-0°)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a flexión para las probetas elaboradas con refuerzo vertical de fibra de coco y con fracción volumétrica de: 80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)

Tabla 19.

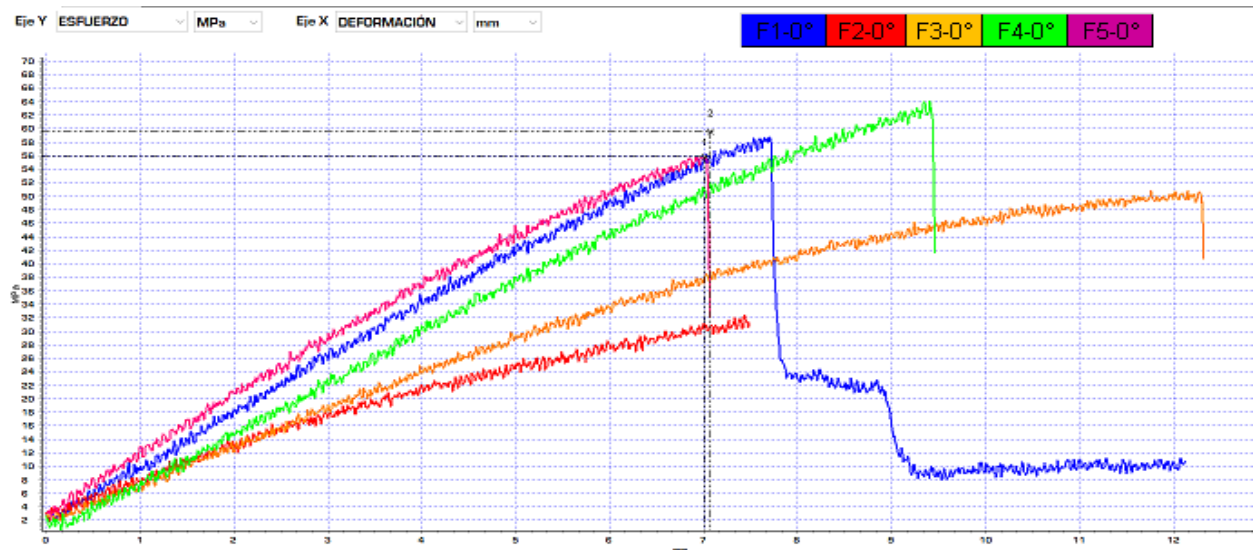
Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 0°(F-0°)

Probeta	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo Flexión (MPa)	Carga Máxima(N)	Módulo de Flexión (MPa)	Tipo de falla
F1-0°	8	59	98	3727	OAM
F2-0°	7	32	55	3887	OAM
F3-0°	12	51	105	591	OAM
F4-0°	9	64	105	1004	OAM
F5-0°	7	56	104	3873	OAM
promedio	8	52	93	2616	
Desviación est	2,073644135	12,34098862	21,6633331	1668,006235	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a flexión de resina poliéster con refuerzo de fibra de coco (F-0°). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (F1-0°, F2-0°, F3-0°, F4-0°, F5-0°).

Figura 75.

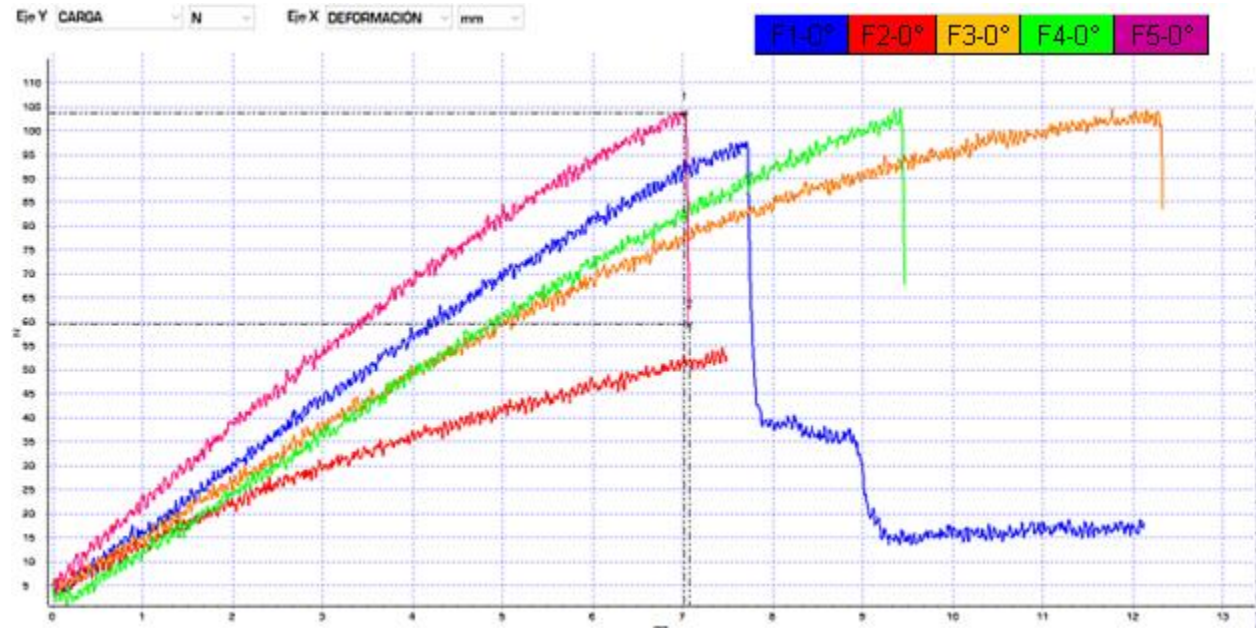
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) F-0°



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco vertical a 0° (F1-0°, F2-0°, F3-0°, F4-0°, F5-0°).

Figura 76.

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) T-0°



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco vertical a 0° (F1-0°, F2-0°, F3-0°, F4-0°, F5-0°).

Figura 77.

Probetas a flexión con refuerzo de coco a 0°



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco vertical (F1-0°, F2-0°, F3-0°, F4-0°, F5-0°). posterior a su ensayo a flexión, para identificar su tipo de falla.

3.4.3 Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 45°(F-45°)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a flexión para las probetas elaboradas con refuerzo diagonal de fibra de coco y con fracción volumétrica de:80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)

Tabla 20.

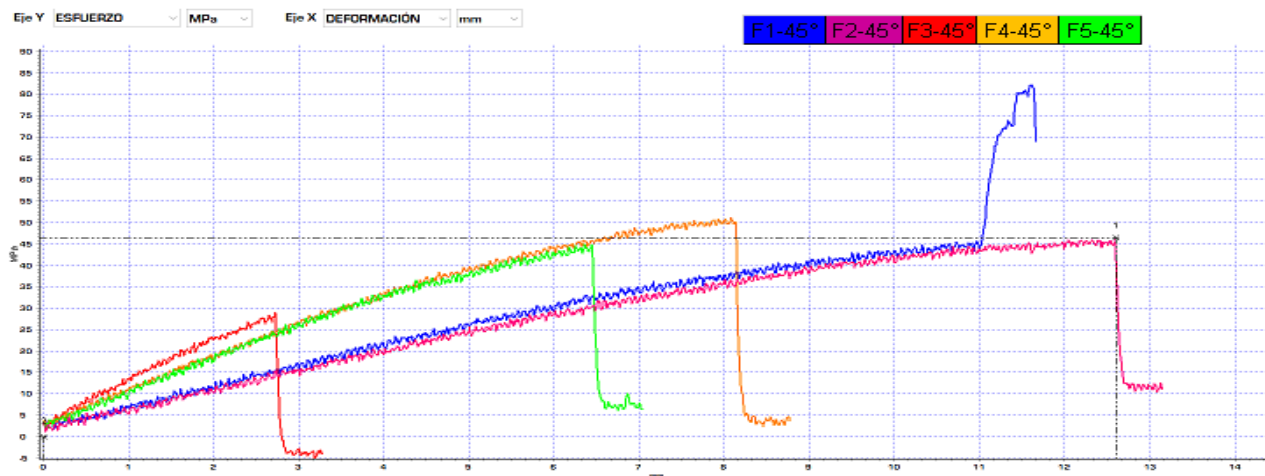
Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 45°(F-45°)

Probeta	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo Flexión (MPa)	Carga Máxima(N)	Módulo de Flexión (MPa)	Tipo de falla
F1-45°	12	82	138	551	OAM
F2-45°	13	46	83	1106	OAM
F3-45°	3	29	56	1238	OAM
F4-45°	8	51	94	868	OAM
F5-45°	6	45	76	1005	OAM
promedio	8	51	89	954	
Desviación est	4,159326869	19,39845355	30,4926221	262,7571122	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a flexión de resina poliéster con refuerzo de fibra de coco (F-45°). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (F1-45°, F2-45°, F3-45°, F4-45°, F5-45°).

Figura 78.

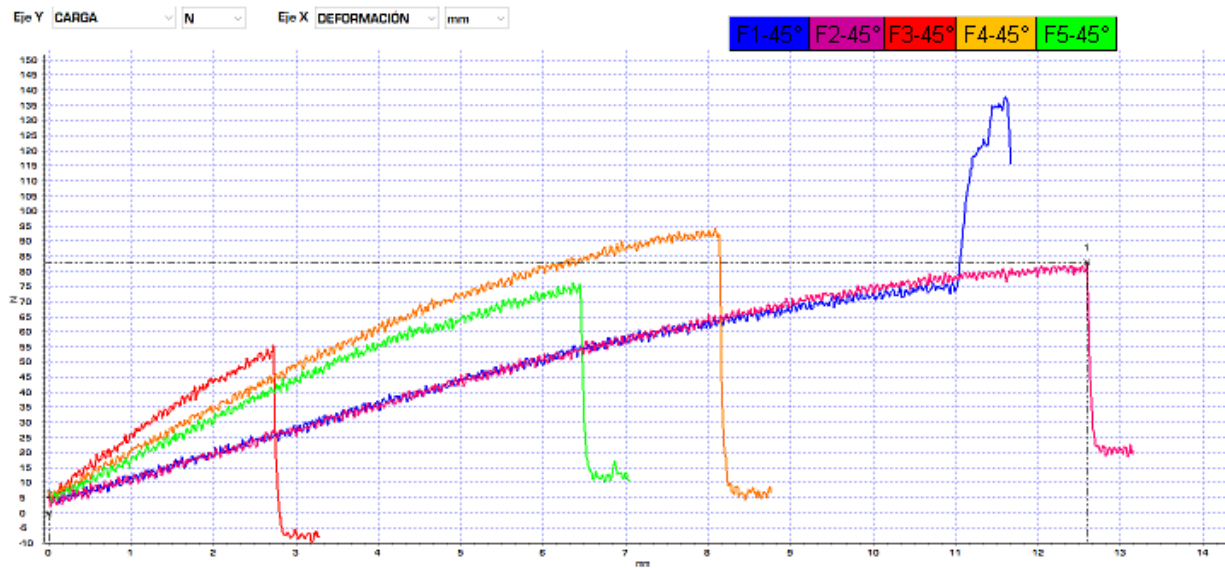
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) F-45°



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco diagonal a 45° (F1-45°, F2-45°, F3-45°, F4-45°, F5-45°).

Figura 79.

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) F-45°



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco diagonal a 45° (F1-45°, F2-45°, F3-45°, F4-45°, F5-45°).

Figura 80.

Probetas a flexión con refuerzo de coco a 45°



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco diagonal (F1-45°, F2-45°, F3-45°, F4-45°, F5-45°). posterior a su ensayo a flexión, para identificar su tipo de falla.

3.4.4 Resina poliéster y fibra natural de coco orientada a 90°(F-90°)

En la tabla se pueden evidenciar los datos obtenidos en el ensayo a flexión para las probetas elaboradas con refuerzo horizontal de fibra de coco y con fracción volumétrica de:80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco)

Tabla 21.

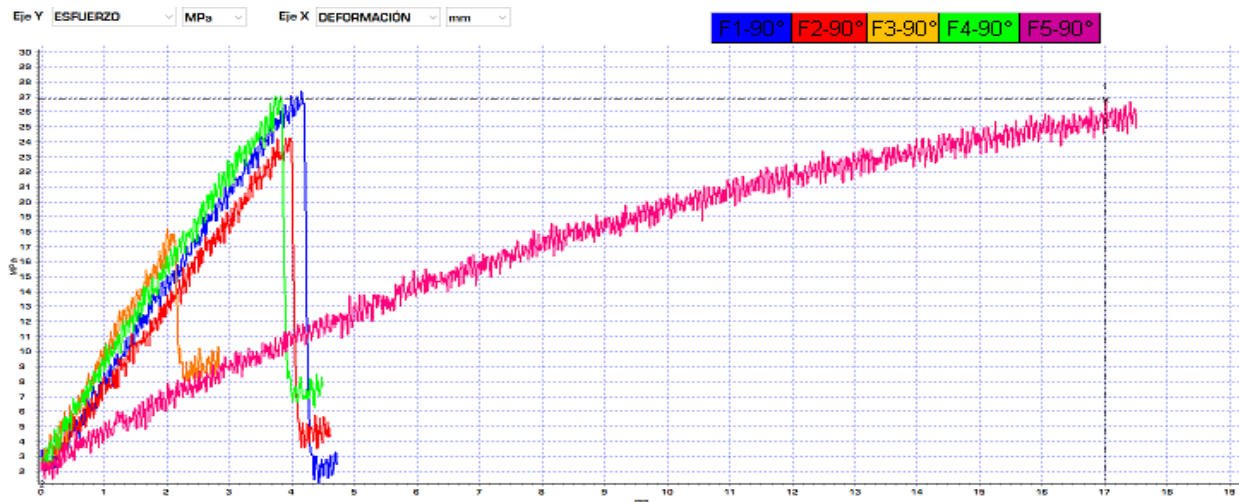
Propiedades mecánicas de la resina poliéster y fibra de coco a 90°(F-90°)

Probeta	Deformación (mm)	Esfuerzo Máximo Flexión (MPa)	Carga Máxima(N)	Módulo de Flexión (MPa)	Tipo de falla
F1-90°	4	27	55	2914	OAV
F2-90°	4	24	47	3041	OAV
F3-90°	2	18	31	3837	OAM
F4-90°	4	27	52	2997	OAB
F5-90°	17	27	52	3117	OAV
promedio	4	25	47	3181	
Desviación est	6,099180273	3,911521443	9,6072889	373,8906257	

Nota. En la tabla se puede observar las probetas a flexión de resina poliéster con refuerzo de fibra de coco (F-0°). Se evidencia los datos de %Deformación, Esfuerzo máximo, carga máxima, módulo de elasticidad Young y tipo de falla para cada una de las probetas (F1-90°, F2-90°, F3-90°, F4-90°, F5-90°).

Figura 81.

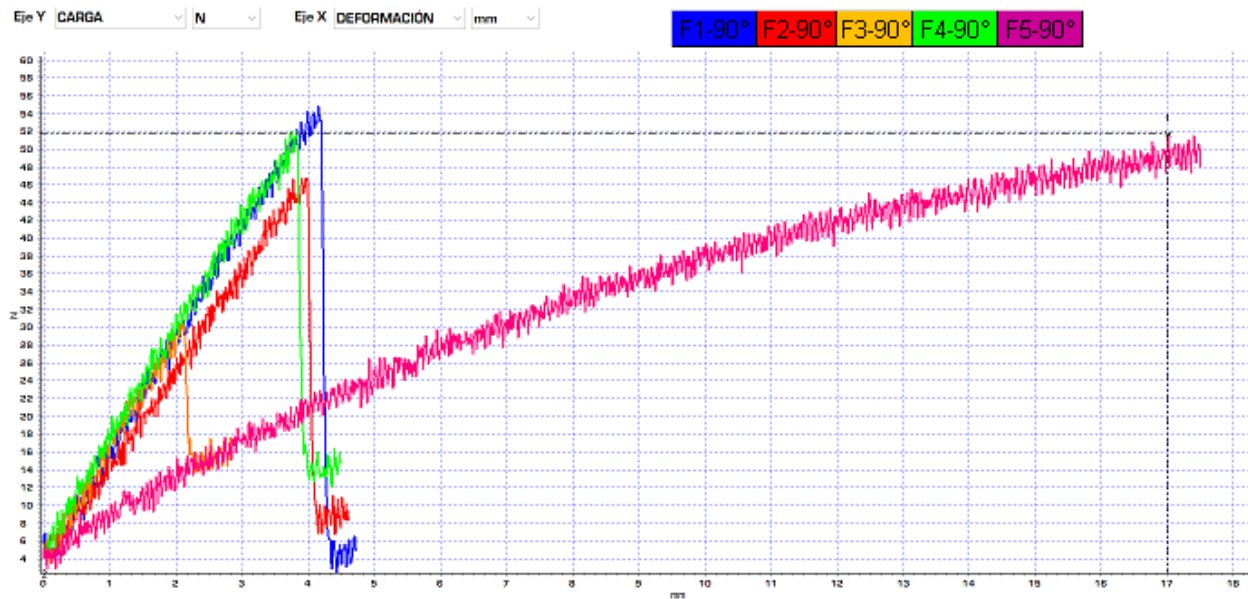
Gráfica de Esfuerzo (MPa) Vs Deformación(mm) F-90°



Nota. Esta gráfica muestra el esfuerzo máximo a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco horizontal a 90° (F1-90°, F2-90°, F3-90°, F4-90°, F5-90°).

Figura 82.

Gráfica de Carga (N) Vs Deformación(mm) F-0°



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco horizontal a 90° (F1-90°, F2-90°, F3-90°, F4-90°, F5-90°).

Figura 83.

Probetas a flexión con refuerzo de coco a 90°



Nota. Esta figura muestra cada una de las probetas de resina poliéster con refuerzo de fibra natural de coco horizontal (F1-90°, F2-90°, F3-90°, F4-90°, F5-90°), posterior a su ensayo a flexión, para identificar su tipo de falla.

4. RESINA POLIÉSTER VS MATERIAL COMPUESTO

En esta sección se realizará el análisis de resultados para los ensayos de tracción y flexión, teniendo en cuenta que los datos obtenidos en el capítulo anterior. Con el fin de comparar las probetas de resina poliéster sin refuerzo contra las probetas de fibra poliéster reforzadas con fibra natural de coco en las orientaciones de 0°, 45° y 90°

4.1 Ensayo a tracción

En la siguiente tabla, se puede apreciar de manera sintetizada los valores promedio de cada una de las propiedades mecánicas a tracción (%deformación, esfuerzo máximo (MPa), carga máxima (MPa), y módulo de Young (MPa)). Las cuales se determinaron en las pruebas de laboratorio presentadas en la sección 3.3 del capítulo 3 de este documento.

Tabla 22.

Valores promedio de las propiedades mecánicas de los ensayos a tracción

Probetas	% Deformación Prom	Esfuerzo Máximo (MPa) Prom	Carga Máxima(N) Prom	Módulo de Young (MPa) Prom
PT	3,36	43,00	2795,20	130,40
T-0°	3,01	26,00	1992,20	109,00
T-45°	2,13	7,40	518,80	103,20
T-90°	0,86	4,40	296,60	53,60

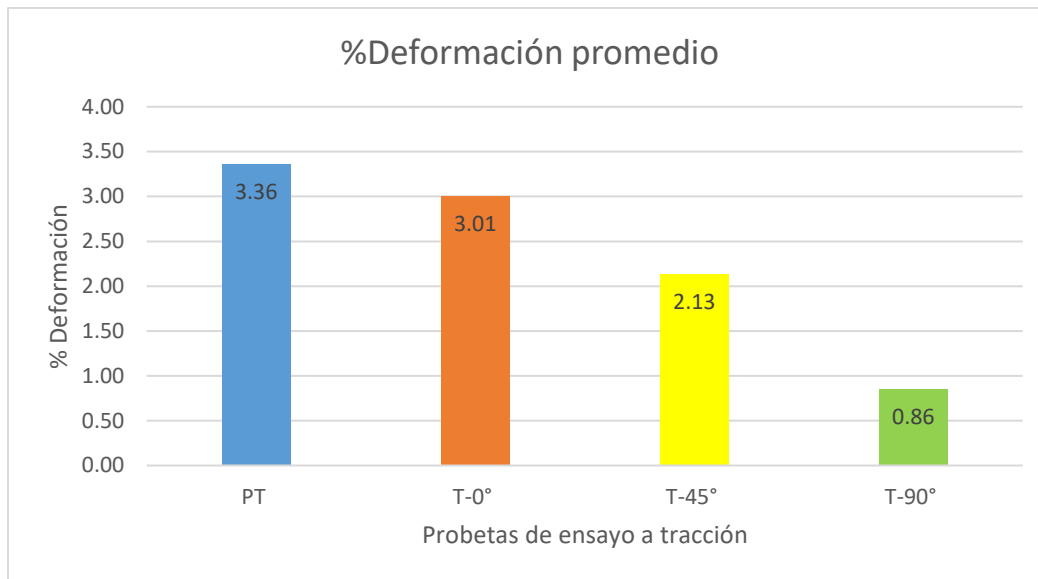
Nota. Esta tabla muestra los valores promedio de las propiedades mecánicas correspondientes a las probetas de resina poliéster (PT), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (T-0°), con refuerzo diagonal (T-45°) y refuerzo horizontal (T-90°).

4.1.1 Análisis de deformación tensión

En la figura se puede apreciar la capacidad de deformación promedio de la resina poliéster (PT) sin refuerzo con un valor de 3,36%. Seguido se muestra las probetas de material compuesto por resina poliéster con refuerzo ubicado de manera vertical (T-0°), diagonal (T-45°) y horizontal (T-90°) con valores de 3,01%; 2,13% y 0,86% respectivamente.

Figura 84.

Diagrama de barras de la deformación promedio de las probetas de ensayo de tracción



Nota. En la figura se puede observar los %deformación promedio de las probetas de resina poliéster (PT), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (T-0°), con refuerzo diagonal(T-45°) y refuerzo horizontal (T-90°).

En la figura se observa que la capacidad de elongación de la resina poliéster disminuye un 10,42 % cuando es reforzada con fibra natural de coco ubicada verticalmente (T-0°), y decrece a medida que se cambia la orientación de la fibra de coco en la matriz de resina poliéster. Para el caso de las probetas con refuerzo diagonal (T-45°), la capacidad de elongación disminuyó en un 36,60%; para las probetas reforzadas con la fibra natural de coco ubicada de manera horizontal (T-90°), esta disminución fue del 74,40%.

Aunque se dispuso de la fibra de coco en las mejores condiciones, por medio del tratamiento químico realizado y se logró retirar los residuos de material orgánico que no fueran propios del mesocarpio. Puede que los espacios que se presentaron en la distribución de las fibras por tratar de darle uniformidad a la probeta para darle la orientación adecuada y garantizar el cumplimiento de la fracción volumétrica, 80% matriz de resina poliéster y 20% de refuerzo en fibra de coco; generaron puntos débiles, en los cuales la fibra no cumplía adecuadamente su función y se convirtieron en concentradores

de esfuerzo. Dando lugar a que el material se agrietara por esa sección y se ocasionara la rotura prematura del mismo.

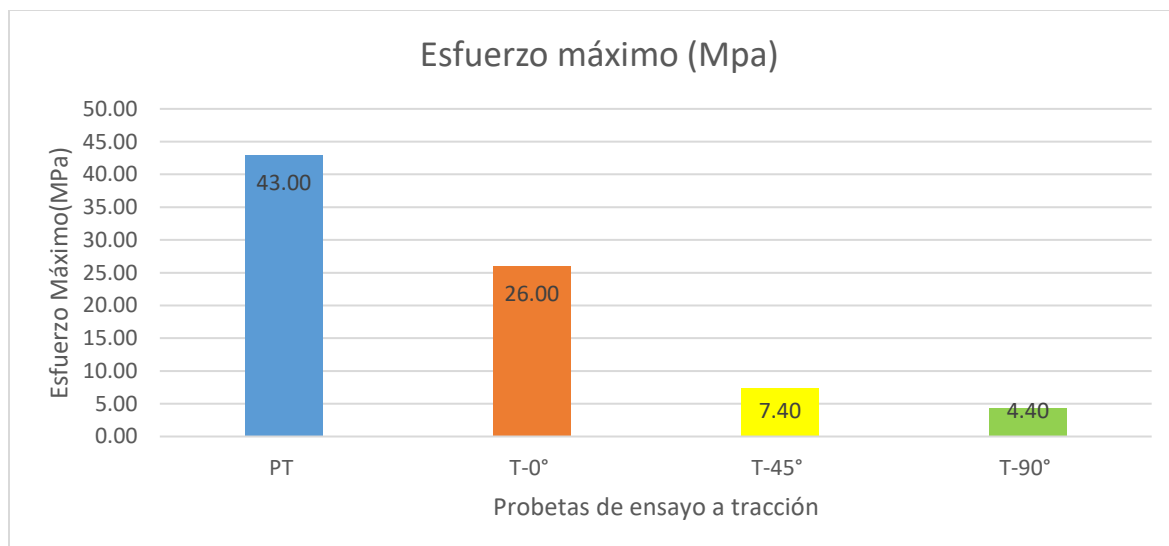
Las fibras pudieron verse afectadas luego de haberles realizado el tratamiento químico, ya que visualmente se veían limpias, libres de suciedad y tierra; pero mecánicamente perdieron plasticidad antes de la incorporación de las fibras en la matriz de resina poliéster y esto impactó en el desempeño mecánico del material compuesto.

4.1.2 *Análisis de esfuerzo máximo a tensión*

En la figura se puede apreciar el esfuerzo máximo a tracción para las diferentes orientaciones del material compuesto que se ha planteado en esta investigación. En la primera barra se puede observar el esfuerzo máximo promedio de 43 MPa, que corresponde a las probetas de resina poliéster sin material de refuerzo, posteriormente se encuentran Las probetas de material compuesto por resina poliéster con refuerzo ubicado de manera vertical(T-0°), diagonal (T-45°) y horizontal (T-90°) con valores de esfuerzo máximo promedio de 26MPa, 7,40MPa y 4,40MPa respectivamente.

Figura 85.

Resistencia máxima promedio de las probetas de ensayo de tracción

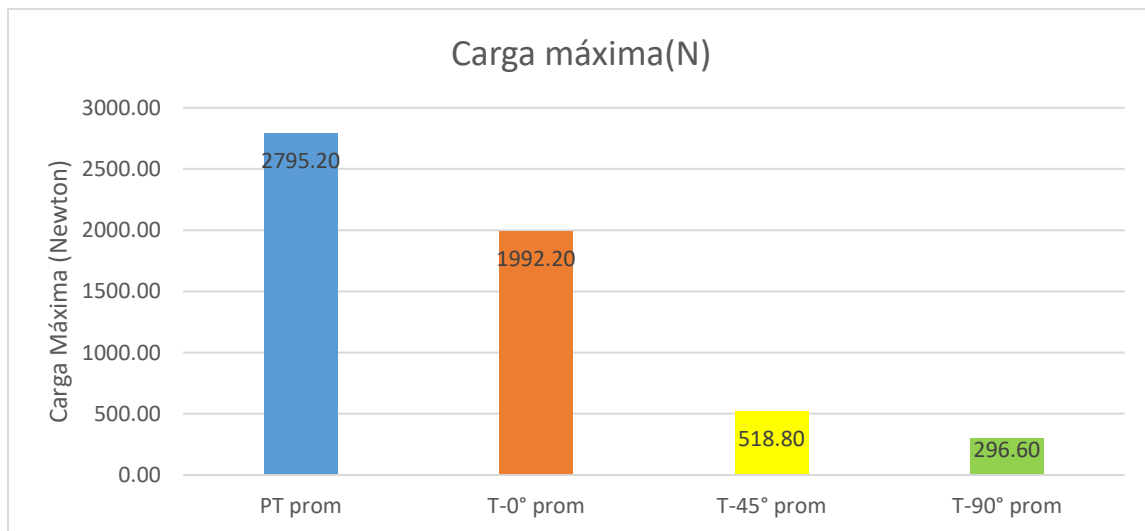


Nota. En la figura se puede observar los valores promedio de esfuerzo máximo de las probetas de resina poliéster (PT), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (T-0°), con refuerzo diagonal(T-45°) y refuerzo horizontal (T-90°).

La anterior gráfica permite evidenciar que el esfuerzo último de la matriz de poliéster disminuye, al incorporar la fibra natural de coco en los tres tipos de orientación (0°,45° y 90 °). Debido a que la fuerza soportada por las probetas de material resina poliéster sin refuerzo fueron las que mayor carga soportaron como se evidencia en la figura que se muestra a continuación.

Figura 86.

Capacidad de carga promedio de las probetas ensayadas a tracción



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a tracción, para cada una de las probetas de resina poliéster (PT), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (T-0°), con refuerzo diagonal(T-45°) y refuerzo horizontal (T-90°).

de fibra natural de coco horizontal a 90° (T1-90°, T2-90°, T3-90°, T4-90°, T5-90°).

la ley de las mezclas (sección 1.4.4) permite determinar las propiedades finales de un material compuesto, las cuales dependen de la fracción volumétrica y de la propiedad de estudio, para este caso se evidencia por medio de los diagramas de barras que la fibra de coco no mejoro el esfuerzo último de la matriz. por lo tanto, el esfuerzo máximo a tensión del material compuesto será el de la matriz de resina poliéster se utiliza la ecuación3.

$$P_C = fV_m \cdot P_m + fV_r \cdot P_r$$

Reemplazando los valores teniendo en cuenta que el 20 % del volumen corresponde a la fibra de coco y el 80% es de resina poliéster, la resistencia a la tensión del material

compuesto será aproximadamente la resistencia a tensión de las probetas de poliéster sin material de refuerzo.

$$\sigma_c = fV_m \cdot \sigma_m + fV_r \cdot P_r$$

$$\sigma_c = fV_m \cdot \sigma_m$$

$$\sigma_c = (80\%) \cdot 43\text{MPa} = 34,4\text{MPa}$$

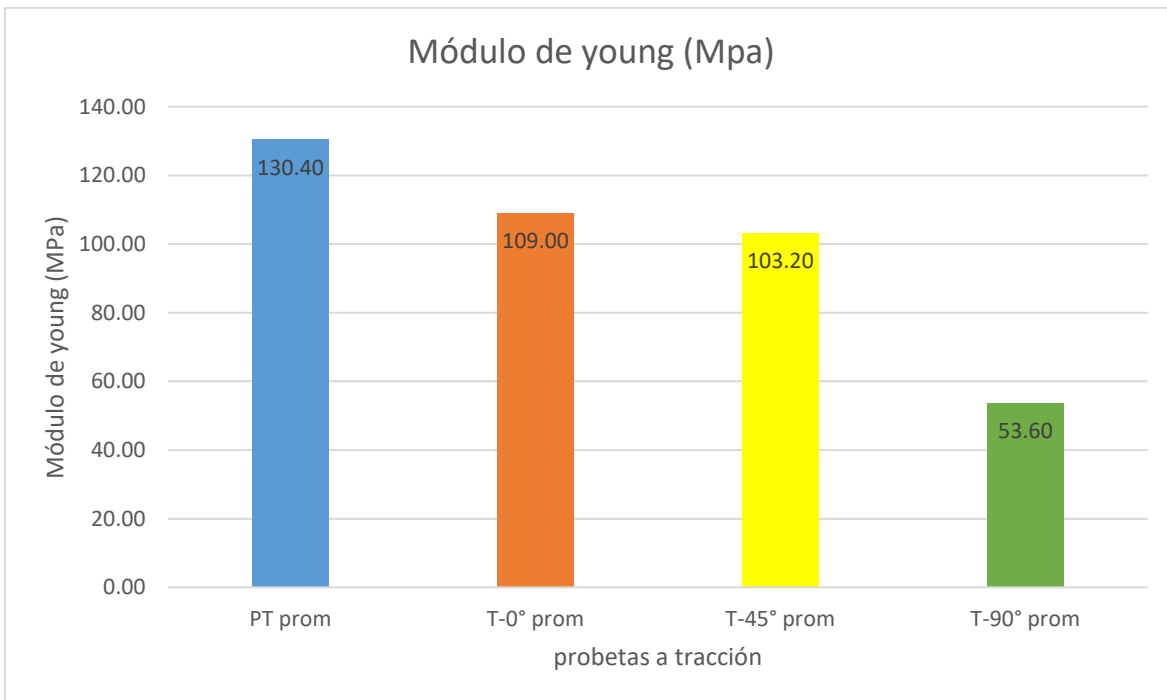
la resistencia a la tensión del material compuesto es de 34,4 MPa.

4.1.3 Análisis módulo de Young (elasticidad)

En la figura se puede apreciar el módulo de elasticidad promedio de la resina poliéster (PT) sin refuerzo con un valor de 130 MPa. Seguido se muestra Las probetas de material compuesto por resina poliéster con refuerzo ubicado de manera vertical(T-0°), diagonal (T-45°) y horizontal (T-90°) con valores de 109 MPa; 103,2 MPa y 53,6 MPa respectivamente.

Figura 87.

Módulo de Young promedio ensayos a tracción



Nota. En la figura se puede observar los valores promedio de módulo de Young de las probetas de resina poliéster (PT), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (T-0°), con refuerzo diagonal(T-45°) y refuerzo horizontal (T-90°).

La gráfica permite evidenciar que el módulo de elasticidad tiende a disminuir a medida que se cambia la orientación del refuerzo, esto se debe a que las fibras verticales (T-0°) tuvieron una mejor adherencia a la matriz haciendo que el resultado presente una reducción del 16%. Teniendo en cuenta que la ficha técnica de la resina 856 (Anexo 3) utilizada debería manejar un rango para esta propiedad de 3.6 GPa y 9.13 GPa correspondiente a sin refuerzo y con refuerzo respectivamente, los datos obtenidos permiten determinar que la fibra de coco no es un material de refuerzo adecuado para la resina poliéster.

4.2 Ensayo a flexión

En la tabla se puede apreciar de manera sintetizada los valores promedio de cada una de las propiedades mecánicas a tracción (deformación(mm), esfuerzo máximo (MPa), carga máxima (MPa), y módulo de elasticidad a flexión (MPa),). Las cuales se determinaron en las pruebas de laboratorio presentadas en la sección 3.4 del capítulo 3 de este documento.

Tabla 23.

Valores promedio de las propiedades mecánicas de los ensayos a flexión

<i>Probeta</i>	Deformación Prom (mm)	Esfuerzo Máximo Flexión Prom (MPa)	Carga Máxima Prom (N)	Módulo de Flexión Prom (MPa)
PF	6	88	151	805
F-0°	8	52	93	2616
F-45°	8	51	89	954
F-90°	4	25	47	3181

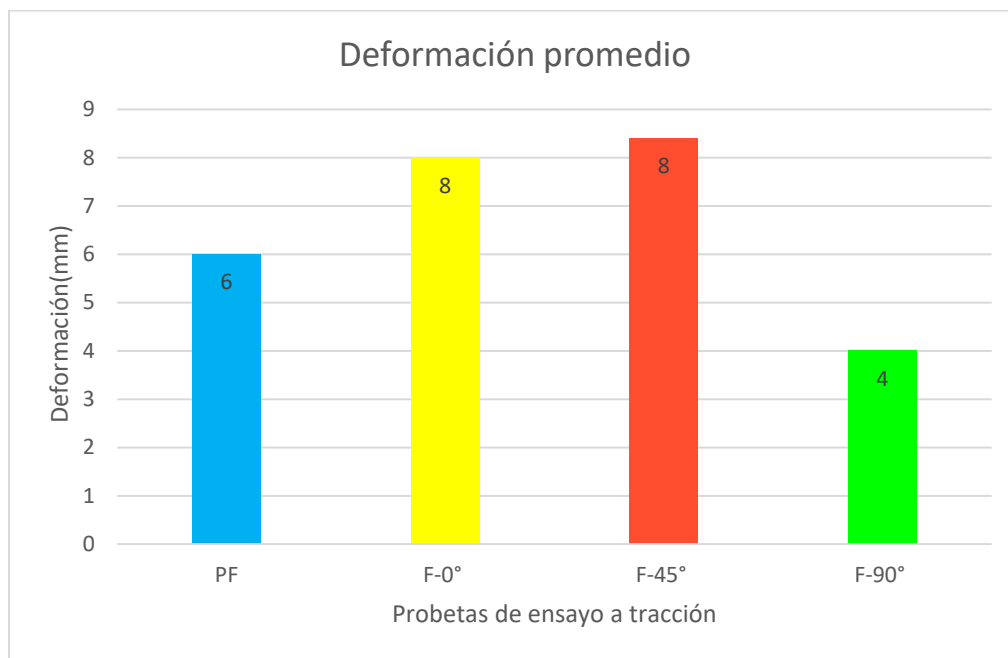
Nota. Esta tabla muestra los valores promedio de las propiedades mecánicas correspondientes a las probetas de resina poliéster (PF), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (T-0°), con refuerzo diagonal(F-45°) y refuerzo horizontal (F-90°).

4.2.1 Análisis de deformación flexión

En la figura se puede apreciar la capacidad de deformación promedio de la resina poliéster (FT) sin refuerzo con un valor de 6mm. Seguido se muestra las probetas de material compuesto por resina poliéster con refuerzo ubicado de manera vertical ($T-0^\circ$), diagonal ($F-45^\circ$) y horizontal ($F-90^\circ$) con valores de 3mm, 8mm y 4mm respectivamente.

Figura 88.

Deformación promedio de las probetas de ensayo flexión



Nota. En la figura se puede observar los %deformación promedio de las probetas de resina poliéster (PF), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical ($F-0^\circ$), con refuerzo diagonal ($F-45^\circ$) y refuerzo horizontal ($F-90^\circ$).

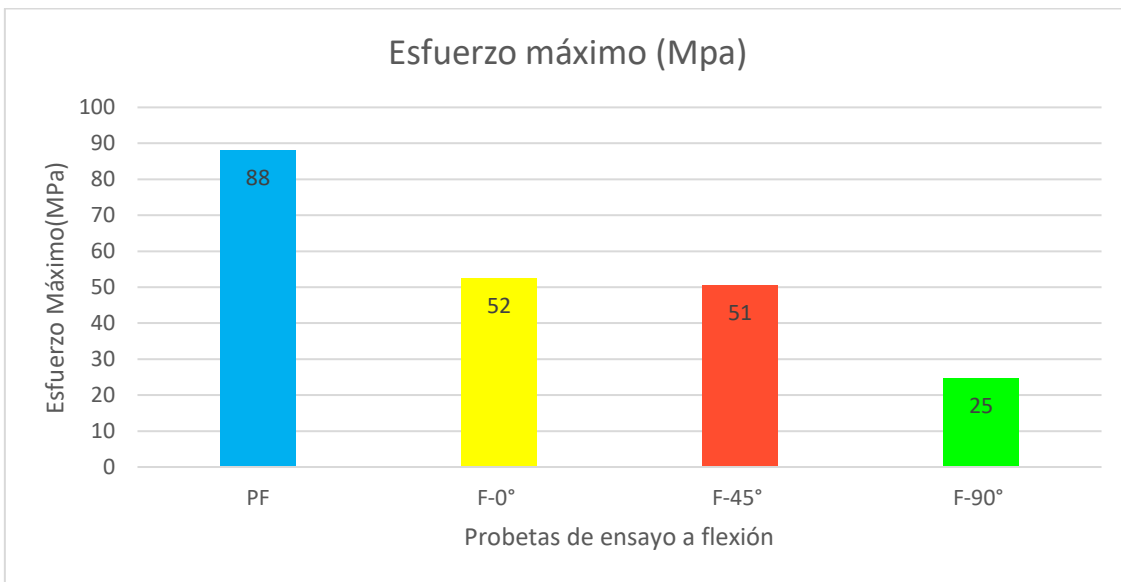
Se puede evidenciar que las probetas que más se deformaron fueron las de fibra orientada vertical ($F-0^\circ$) y diagonal ($F-45^\circ$) por lo cual quiere decir que fueron las que quedaron mejor elaboradas, sin embargo, la fibra de coco no le aporta rigidez por lo contrario debilita la matriz de resina poliéster haciendo que se rompan más rápido las probetas y soporten menos carga.

4.2.2 Análisis de esfuerzo máximo a flexión

En la figura se puede apreciar el esfuerzo máximo a flexión para las diferentes orientaciones del material compuesto que se ha planteado en esta investigación. En la primera barra se puede observar el esfuerzo máximo promedio de 88 MPa, que corresponde a las probetas de resina poliéster sin material de refuerzo, posteriormente se encuentran Las probetas de material compuesto por resina poliéster con refuerzo ubicado de manera vertical(F-0°), diagonal (F-45°) y horizontal (T-90°) con valores de esfuerzo máximo promedio de 52MPa, 51MPa y 25MPa respectivamente.

Figura 89.

Resistencia máxima promedio de las probetas de ensayo flexión



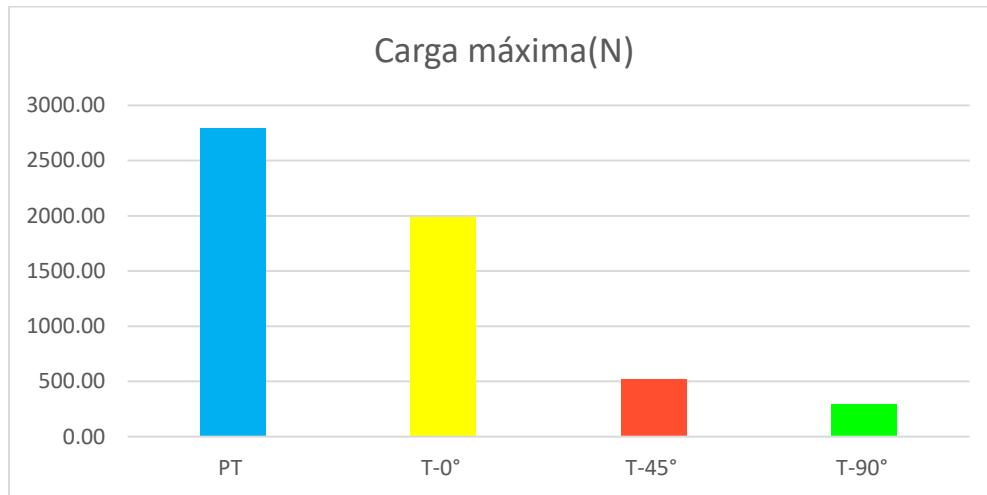
Nota. En la figura se puede observar los valores promedio de esfuerzo máximo de las probetas de resina poliéster (PF), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (F-0°), con refuerzo diagonal(F-45°) y refuerzo horizontal (F-90°).

En la figura se observa que el mayor es fuerza es soportado por las probetas de resina poliéster y disminuye un 40 % cuando es reforzada con fibra natural de coco ubicada verticalmente (F-0°), su capacidad decrece aún más a medida que se cambia la orientación de la fibra de coco en la matriz de resina poliéster. Para el caso de las probetas con refuerzo diagonal (F-45°), el esfuerzo disminuyó en un 41%; para las probetas reforzadas con la fibra natural de coco ubicada de manera horizontal (F-90°),

esta disminución fue del 71,59%. Los resultados varían dependiendo el área transversal de la probeta como se evidencia la figura 90, por lo cual un acabado superficial que posee burbujas e impurezas afecta directamente en la distribución de la carga.

Figura 90.

Capacidad de carga promedio de las probetas ensayadas a flexión



Nota. Esta gráfica muestra la carga máxima a flexión, para cada una de las probetas de resina poliéster (PF), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (F-0°), con refuerzo diagonal(F-45°) y refuerzo horizontal (F-90°).

Jaybal *et al.* Estudió el comportamiento mecánico de las fibras de coco sin haberles realizado ningún tratamiento químico, obtuvieron experimentalmente una resistencia máxima a flexión de 38,5 MPa, para una matriz de fracción volumétrica 80% matriz de resina poliéster y 20% fibra natural de coco como refuerzo[39]. Teniendo en cuenta que en la presente investigación se utilizó la misma fracción volumétrica; el resultado de resistencia máxima a flexión fue 52 MPa, haciendo que este dato sea relevante debido a que las fibras de coco si fueron limpiadas con el tratamiento químico de soda caustica y agua desmineralizada.

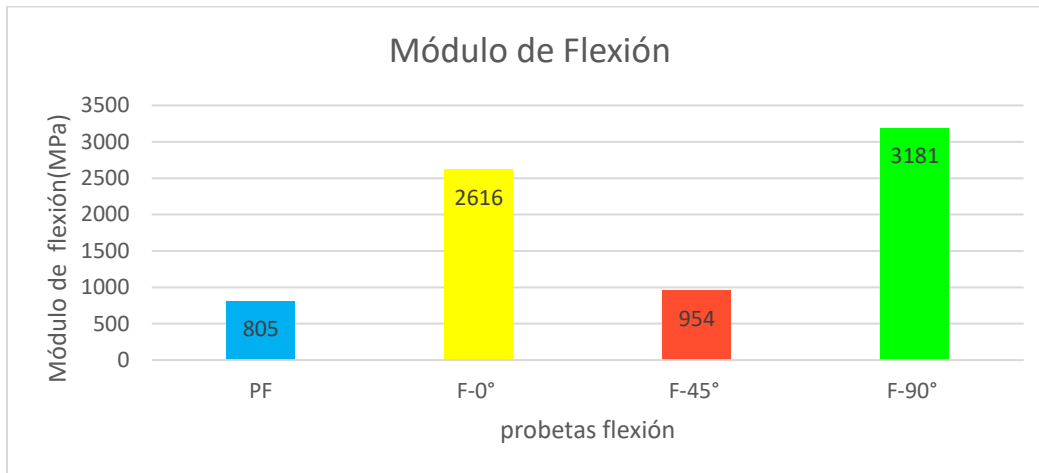
4.2.3 *Análisis de modulo elasticidad a flexión*

En la figura se puede apreciar el módulo de elasticidad a flexión promedio de la resina poliéster (PF) sin refuerzo con un valor de 805 MPa. Seguido se muestra Las probetas

de material compuesto por resina poliéster con refuerzo ubicado de manera vertical(F-0°), diagonal (F-45°) y horizontal (F-90°) con valores de 2616 MPa; 954 MPa y 3181 MPa respectivamente.

Figura 91.

Módulo de flexión promedio



Nota. En la figura se puede observar los valores promedio de módulo de flexión de las probetas de resina poliéster (PF), probetas con refuerzo de fibra natural de coco vertical (F-0°), con refuerzo diagonal(F-45°) y refuerzo horizontal (F-90°).

La gráfica permite evidenciar que el módulo de elasticidad tiende a variar conforme cambia la orientación del refuerzo, esto se debe Teniendo en cuenta que la ficha técnica de la resina 856 (Anexo 3) utilizada debería manejar un rango para esta propiedad de 3,77 GPa y 8,54 GPa correspondiente a sin refuerzo y con refuerzo respectivamente, los datos obtenidos permiten determinar que la fibra de coco no es un material de refuerzo adecuado para la resina poliéster.

4.3 Posibles aplicaciones del material compuesto obtenido

Teniendo en cuenta el análisis de resultados efectuado en este capítulo; se puede evidenciar que el comportamiento mecánico de material compuesto 80%MATRIZ (Resina poliéster +Merk) / 20% REFUERZO (fibra natural de coco), con diferentes orientaciones de refuerzo no tuvo en desempeño mecánico adecuado, por tal motivo solo se puede aplicar como recubrimiento superficial en baldosas y vitrales , elementos decorativos ,puede ser una capa adicional a manera de complemento para la elaboración de paneles de insonorización cumpliendo la función de interfase entre una capa y otra.

5. ANÁLISIS DE COSTOS

En este capítulo se determinará el costo total del proyecto en la moneda local (pesos colombianos), teniendo en cuenta los costos que se generaron para la adquisición de materiales e insumos, uso de laboratorio químico, fabricación de moldes, soportes, elaboración de probetas y ensayos mecánicos de tracción y flexión. Para ello se tomó 2 proveedores: La universidad nacional y la compañía SWA (Soldaduras West Arco SAS) certificada en ISO/IEC17025:2017.

5.1 Costo de Talento humano

El costo del talento humano y recursos para elaborar el proyecto son herramienta que van a tener un costo fijo.

Tabla 24.

Costo talento humano

ITEMS	UNIDAD	CANTIDAD	VR/UNI	VR/TOTAL	FUENTE FINANCIERA
Talento Humano					
Investigador (1)	H/H	669	\$7.000	\$4.500.000	Proponente
Total, talento humano	\$4.500.000				
Gastos de maquinaria y equipos					
Computadora	Unidad	1	\$2.200.000	\$2.200.000	Proponente
Software solid Edge	Horas	314.74	\$240	\$75.538	Proponente
Total, maquinaria y equipos	\$2.275.538				
Otros gastos					
Luz	Mes	6	\$70.000	\$420.000	Proponente
internet	Mes	6	\$100.000	\$600.000	Proponente
imprevistos				\$700.000	Proponente
Total, otros	\$1.720.000				
COSTO TOTAL (Σ GASTOS)	\$8.495.538				

Nota. En la tabla se muestra el costo unitario de cada elemento.

5.2 Costos de materiales e insumos

En la tabla que se presenta a continuación se precisa la lista de materiales e insumos que se emplearon para la elaboración de moldes y probetas hacen parte del costo fijo debido a que son necesarios para elaborar el material compuesto.

Tabla 25.

Costo de materiales e insumos

Cantidad	Artículo	Costo Unitario	Total
1	Resina poliéster 856 y catalizador Merk	\$ 40.000	\$ 40.000
1	Litro agua desmineralizada	\$ 8.000	\$ 8.000
1	Soda Caustica /Kilogramo	\$ 10.000	\$ 10.000
1	Cera desmoldante (presentación 400 gr)	\$ 40.000	\$ 40.000
1	Kilo de fibra natural de coco	\$ 30.000	\$ 30.000
1	Molde de madera flexión MDF 9mm corte láser	\$ 45.000	\$ 45.000
1	Molde de madera tracción MDF 9mm corte láser	\$ 45.000	\$ 45.000
1	Fibra esmerilada (lija gruesa X metros)	\$ 8.000	\$ 8.000
1	Vaso de precipitado plástico de 1000 ml	\$ 17.000	\$ 17.000
1	Balanza digital de capacidad 1 Kilogramo	\$ 30.000	\$ 30.000
5	Jeringa plástica de 1cm ³	\$ 500	\$ 2.500
1	Gotero de vidrio	\$ 2.000	\$ 2.000
1	Paquete de vasos plásticos x 50 unidades	\$ 2.500	\$ 2.500
2	Pincel de punta plana	\$ 2.000	\$ 4.000
1	Paquete de palos de paleta grande	\$ 12.000	\$ 12.000
SUBTOTAL			\$ 296.000
IVA (19%)			\$ 56.240
Costo total de materiales e insumos			\$ 352.240

Nota. En la tabla se muestra el costo unitario de cada elemento.

5.3 Universidad Nacional Vs soldaduras West Arco

Teniendo en cuenta los costos fijos de materiales e insumos se tiene un costo de \$8.847.778 COP realizando los moldes en madera debido a que al realizarlos en metal incrementan su costo \$348.000 COP que es el valor de mecanizado el cual se cotizo con la empresa TyG, por este motivo es que se decide elaborarlos en madera. Se procede a cotizar los servicios de laboratorio con la universidad nacional para poder realizar los ensayos a tracción y flexión. Cabe resaltar que los tiempos y disponibilidad de los equipos deben ser agendados con un periodo de 20 días calendario para la universidad nacional

así mismo debe ser solicitado con RUT (registro único tributario) y 15 días para la compañía SWA (Soldaduras West Arco SAS) En la tabla que se muestra a continuación se detallan los costos de realizar los ensayos en la Universidad Nacional.

Tabla 26.

Costo de ensayos mecánicos Universidad Nacional

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total
4	Ensayo a tracción material base (5 probetas)	\$ 102.200	\$ 408.200
4	Ensayo a flexión material base (5 probetas)	\$ 102.200	\$ 408.200
1	Disponibilidad equipos y personal para tratamiento fisicoquímico de fibra	\$ 378.000	\$ 378.000
1	Soporte flexión (empresa TyG)	\$ 174.000	\$ 174.000
SUBTOTAL			\$ 1.368.400
IVA (19%)			\$ 259.996
Costo total Universidad Nacional			\$ 1.628.396

Nota. En la tabla se muestra el costo unitario de cada elemento.

La tabla que se muestra a continuación es producto de haber solicitado una cotización formal a la compañía SWA (Soldaduras West Arco SAS) la cual se encuentra en los (Anexo6) y (Anexo7), es de resaltar que los precios varían según el tipo de cliente, ya sea persona natural o jurídica y del tipo de servicio. Los precios se mantienen y son válidos durante la vigencia de la oferta posterior a este tiempo la cotización se hace nula.

Tabla 27.

Costo de ensayos mecánicos West Arco SAS

Cantidad	Descripción	Costo unitario	Total
4	Ensayo a tracción material base (5 probetas)	\$ 203.000	\$ 812.000
4	Ensayo a flexión material base (5 probetas)	\$ 203.000	\$ 812.000
1	Disponibilidad equipos y personal para tratamiento fisicoquímico de fibra	\$ 378.000	\$ 378.000
1	Soporte flexión (empresa TyG)	\$ 174.000	\$ 174.000
SUBTOTAL			\$ 2.176.000
IVA (19%)			\$ 413.440
Costo total West Arco SAS			\$ 2.415.440

Nota. En la tabla se muestra el costo unitario de cada elemento.

El costo total de la investigación teniendo en cuenta el costo fijo \$8.847.778 COP realizando los ensayos con la universidad nacional y la compañía SWA (Soldaduras West Arco SAS) se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 28.

Total investigación U. Nacional y West Arco

	Universidad nacional	SWA (Soldaduras West Arco SAS)
Costo total ensayos	\$ 1.628.396	\$ 2.415.440
Costo Fijo (Talento Humano, materiales e insumos)	\$8.847.778	\$8.847.778
Total, investigación	\$10.540.174	\$11.263.218

Nota. En la tabla se muestra el costo total de realizar los ensayos en la universidad nacional y soldaduras West Arco.

Se puede evidenciar que realizar la investigación en la universidad nacional implica un costo de \$10.540.174 COP mientras que la compañía SWA (Soldaduras West Arco SAS) \$11.263.218 COP, hay una diferencia de \$723.044 COP esto debido al tiempo de agendamiento en la universidad nacional tarda 5 días más a comparación a SWA. Para llevar a cabo esta investigación fue necesario elaborar un soporte de 3 puntos para realizar el ensayo a flexión, costo que se tuvo en cuenta en la oferta de la Universidad Nacional y la compañía SWA (Soldaduras West Arco SAS); ya que la probeta de estudio tiene una geometría muy pequeña y ninguno de los 2 proveedores contaba con un soporte para el tipo de geometría seleccionado, por este motivo fue que se elaboró con la empresa TYG la cual tiene bastante trayectoria en proyectos y manejo en trabajos de metalmecánica.

Por cuestiones de disponibilidad de laboratorio se sugiere realizar los ensayos e investigación en las instalaciones de Soldaduras West Arco, ya que es un laboratorio acreditado y al igual que la universidad Nacional cuenta con personal altamente calificado.

6. CONCLUSIONES

- La resina poliéster es un polímero termoestable la cual tiene una resistencia a tensión de 55 MPa y a flexión de 115 MPa. Mientras que la fibra natural de coco tiene elevados contenidos de lignina y celulosa 59,4% y 32,65% respectivamente, por lo cual es una de las fibras naturales que tiene mejor composición química y capacidad de soportar tensiones; por tal motivo es que estos materiales tienen aplicaciones tanto domesticas como industriales.

-El tratamiento químico realizado con soda cáustica permitió eliminar las impurezas y material orgánico presente en la fibra natural de coco. Sin embargo, el desempeño mecánico de las fibras se vio afectado en los ensayos de tracción y flexión debido a que la resistencia a tracción paso de 43MPa sin refuerzo a 26MPa con refuerzo de fibra de coco y la resistencia a flexión paso de 88 MPa sin refuerzo a 52 MPa con refuerzo de fibra de coco; esto se debe a que la fibra natural es 80% porosa en su composición estructural por lo cual no es totalmente homogénea.

-Las fibras ubicadas en orientación vertical (90°) para las probetas ensayas a tensión y flexión obtuvieron los mejores resultados de esfuerzo ultimo a tracción y flexión, debido a que las fibras distribuyeron mejor la carga a lo largo de la probeta. Ya que los espacios que se dejaron entre fibras para las probetas ubicadas diagonal y horizontal provocaron que las fibras no tuvieran una buena adherencia con la matriz de material compuesto ocasionando la falla prematura del espécimen de prueba.

-Los ensayos se realizaron en la compañía SWA (Soldaduras West Arco SAS) debido a que está certificada en ISO/IEC17025:2017, implica un costo total de investigación de \$11.263.218 se tiene certeza en los resultados obtenidos, así mismo se requiere de un menor tiempo de agendamiento como sucede con los laboratorios de la Universidad Nacional.

7. RECOMENDACIONES

Para la fabricación de futuros materiales compuestos por matriz de resina poliéster y fibra natural de coco. Pueden tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Emplear una geometría de probeta que garantice un espesor considerablemente grande para poder ubicar las fibras de una manera más sencilla.

- Se sugiere utilizar un molde metálico el cual garantiza una superficie más homogénea a comparación a un molde de madera. La elaboración de probetas por el método de molde abierto es un proceso amigable y se puede realizar con facilidad; sin embargo, al utilizar un molde de madera influyo considerablemente en los acabados de la pieza, debido a que se generaban residuos de resina seca ocasionando que la probeta no quedara totalmente homogénea.

- Se recomienda realizar un arreglo de fibra tejida o por capas orientando el refuerzo de manera diferente entre una y otra.

- Realizar la limpieza de la fibra con un método diferente al ataque químico por soda caustica y agua desmineralizada.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] sf, “los fabricantes de fibra de vidrio quieren aislar la verdad’ el video malintencionado,” *PRODEX CONFOR T*, Panamá periódico la prensa, Panamá, p. 20, 2016.
- [2] P. Srikanth, *Handbook of Bioplastics and Biocomposites Engineering Applications*. 2011.
- [3] “Industrial Applications of Natural Fibres: Structure, Properties and,” 2010.
https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=rX8S2PE71HkC&oi=fnd&pg=PA63&dq=+JÖRG+MÜSSIG,+Industrial+Applications+of+Natural+Fibres,+2010.&ots=Gpb8hccVU9&sig=ibMCpKKwaO_6zh1tdidQwV0SwSw#v=onepage&q=JÖRG MÜSSIG%2C Industrial Applications of Natural Fibre.
- [4] A. Del Mezcal, C. Inocencio Cortés Martínez Director, and M. Caballero Caballero Santa Cruz Xoxocotlán, “INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL “PROPIEDADES MECÁNICAS A TENSIÓN DE LAS FIBRAS DEL BAGAZO DEL Agave angustifolia Haw, RESIDUO PROVENIENTE DE LA PRODUCCIÓN Que para obtener el grado de,” 2009.
- [5] J. D. Trejos Taborda, “Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio,” Universidad tecnologica Pereira, 2014.
- [6] M. Mejia Estrada, “Extracción y caracterización mecánica de las fibras de bambú (Guadua angustifolia),” 2009.
- [7] J. W. Ramírez Colorado and R. Triana Arroyave, “Caracterización de un material compuesto matriz termoestable reforzado con fibra de guadua,” 2017.
- [8] andres mauricio alvarado castiblanco, “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN

MECÁNICA DE MATERIAL COMPUESTO RESINA POLIÉSTER-FIBRA DE PIÑA,” 2017.

- [9] A. K. Mohanty, M. Misra, and G. Hinrichsen, “Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview,” *Macromol. Mater. Eng.*, vol. 276–277, no. 1, pp. 1–24, Mar. 2000, doi: 10.1002/(SICI)1439-2054(20000301)276:1<1::AID-MAME1>3.0.CO;2-W.
- [10] S. Harish, D. P. Michael, A. Bensely, D. M. Lal, and A. Rajadurai, “Mechanical property evaluation of natural fiber coir composite,” *Mater. Charact.*, vol. 60, no. 1, pp. 44–49, Jan. 2009, doi: 10.1016/j.matchar.2008.07.001.
- [11] M. M. Haque, M. Hasan, M. S. Islam, and M. E. Ali, “Physico-mechanical properties of chemically treated palm and coir fiber reinforced polypropylene composites,” *Bioresour. Technol.*, vol. 100, no. 20, pp. 4903–4906, Oct. 2009, doi: 10.1016/j.biortech.2009.04.072.
- [12] D. F, G. S, and G. V, “Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y fibra de vidrio para la elaboración de tableros,” [Online]. Available: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/87/pdf.
- [13] E. A. Palacios Acosta, “CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA UNA AERONAVE NO TRIPULADA APLICANDO INGENIERÍA INVERSA, UTILIZANDO MATERIAL DE MATRIZ DE RESINA POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE COCO O CABUYA,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE, 2017.
- [14] H. Rodríguez Galbarro, “Materiales Compuestos,” *tutorial semanal*, 2014. <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn114.html> (accessed Apr. 20, 2022).
- [15] sf, “Materiales Compuestos | Naval Composites,” 2016.

- <https://www.navalcomposites.com/materiales-compuestos> (accessed Apr. 13, 2022).
- [16] J. L. Dávila *et al.*, *Nuevos materiales: aplicaciones estructurales e industriales*, 1st ed. Ecuador-Quito: imprefepp, 2011.
- [17] cesar Edil da Costa and J. M. Torralba, "Vista de Materiales compuestos de matriz metálica. I parte. Tipos, propiedades, aplicaciones." [Online]. Available: <http://revistademetalurgia.revistas.csic.es/index.php/revistademetalurgia/article/view/570/580>.
- [18] J. C. Baez, C. Gonzalez, M. R. Chavez, M. Castro, and J. Juarez, "Fourier thermal analysis of the solidification kinetics in A356/SiC p cast composites," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 153–154, no. 1–3, pp. 531–536, Nov. 2004, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2004.04.119.
- [19] A. R. Boccaccini, D. N. Boccaccini, and C. B. Ponton, "Cerámica y Vidrio Fabricación de materiales cerámicos compuestos con refuerzos de tejidos de fibras de carburo de silicio usando deposición electroforética," Reino Unido, 1996.
- [20] M. A. Diaz, H. Reséndiz, K. Linares, E. Olivas, and C. López, "Materiales de matriz polimérica - Monografias.com." <https://www.monografias.com/trabajos94/materiales-matriz-polimerica/materiales-matriz-polimerica.shtml> (accessed Apr. 12, 2022).
- [21] P. Zambrano, "Materiales Compuestos de Matriz Metalica." [Online]. Available: <https://es.calameo.com/read/001925642deab67a6ec4f>.
- [22] A. D. Jácome León, "Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas," UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2017.
- [23] S. J. IDROBO GALLEGOS, "Obtención de un material compuesto de matriz elastomérica y fibra de coco," ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2011.

- [24] “Clasificación y características generales de los tipos de plásticos,” 2008.
<https://lim.ii.udc.es/docencia/din-proind/docs/respuestas/p95.htm>.
- [25] G. E. Mazón Ortiz, “Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,” UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2017.
- [26] J. G. Paredes, “Estudio de Polímeros Híbridos Estratificados de Matriz Poliéster Reforzada con Fibra de Vidrio y Cabuya como Material Alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en Guardachoques para Buses,” Universidad Técnica de Ambato-Ecuador, 2012.
- [27] A. Torres Vasquez, “¿Que es la resina de poliéster? – REAXSOL,” 23-enero-2020, 2022. <https://www.reaxsol.com/2020/01/23/que-es-la-resina-de-poliester/>.
- [28] A. Gil, “Resinas de poliéster Guía de manejo,” EAFIT, p. 14, 2012.
- [29] C. A. Quintero Portocarrero, “Manual Práctico sobre poliester (Plásticos) reforzado con fibra de vidrio (PRFV),” UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, 2007.
- [30] J. K. Lozano Marin and J. S. Nagles Gutiérrez, “Análisis a tensión del material híbrido compuesto por dos capas de fibra de estropajo, fibra de fique y resina poliéster.,” Universidad Distrital Francisco José De Caldas, 2018.
- [31] Sf, “capitulo 3 los materiales compuestos y sus aplicaciones en el refuerzo a cortante de estructuras,” *Tesisenred.net*.
<https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/6151/06CAPITOL3.pdf?sequence=6&isAllowed=y>.
- [32] D. R. Askeland, *Ciencia e Ingeniería de materiales sexta edición*, vol. 18, no. 9. 1963.
- [33] L. Angel and G. Garcia, “Evaluación de las propiedades de materiales compuestos fabricados a partir de fibras semiquímicas de *leucaena collinsii* y

- polipropileno,” Universitat de Girona, 2016.
- [34] William D.;Callister J, *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 1st ed. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-México: Editorial Reverté, S.A, 1995.
- [35] B. Menéndez Fernández, “Estudio de las propiedades físico mecánicas de la fibra de coco como refuerzo de Material Compuesto Matriz Polimérica (MCMP).,” Universidad Central “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS, 2009.
- [36] J. M. Castrillón Montes, “De cocos y estructuras | Construinnova,” *Blog de las tendencias sobre la inovación en la construcción*, 2017.
<https://construinnova.net/2017/03/23/de-cocos-y-estructuras/> (accessed Feb. 15, 2022).
- [37] M. Larrazabal, “Sustrato de Fibra de Coco. Tipos, Formatos, Características y Propiedades,” Jun. 14, 2019. <https://www.bialarblog.com/sustrato-de-fibra-de-coco-tipos-formatos-y-propiedades/> (accessed Feb. 20, 2022).
- [38] G. Farias Ibarren, “Fibras textiles naturales vegetales,” *Gabriel Farias Iribarren | Industria Textil, Moda y Retail | Blog #1 Aprovechamiento de Moda. Industria Textil y Retail. Artículos y noticias del sector, sourcing sustentable y moda sostenible. Profesionales del sector.*, 2018.
<https://gabrielfariasiribarren.com/fibras-textiles-naturales-vegetales/> (accessed Apr. 04, 2022).
- [39] S. Jayabal and U. Natarajan, “Influence of fiber parameters on tensile, flexural, and impact properties of nonwoven coir-polyester composites,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 54, no. 5–8, pp. 639–648, 2011, doi: 10.1007/s00170-010-2969-8.
- [40] K. J. Anusavice, *PHILLIPS. CIENCIA DE LOS MATERIALES DENTALES - Kenneth J. Anusavice.* .
- [41] H. R, *Mecánica de materiales.*, Tercera. México DF: Prentice-Hall Hispanoamericana SA. México, 1988.

- [42] ASTM, "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials D3039/D3039M," *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 9, pp. 1–13, 2014, doi: 10.1520/D3039.
- [43] ASTM, "Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials D790," *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. 9, pp. 1–12, 2002, doi: 10.1520/D0790-17.2.
- [44] ASTM, "Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials D7264," *Annu. B. ASTM Stand.*, vol. i, pp. 1–11, 2007, doi: 10.1520/D7264.
- [45] M. P. Groover, "Fundamentos de manufactura moderna," in *Fundamentos de manufactura moderna*, 3rd ed., 2007 McGraw-Hill Interamericana de España S.L., Ed. España: McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2007, 1996, p. 1024.
- [46] C. V. Raymond A. Serway, *Fundamentos de fisica Raymond A Serway-Chris Vuille*, Décima. México DF: CENGAGE, 2015.

ANEXOS

ANEXO 1.Norma ASTM D3039

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D3039/D3039M – 17

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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 (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

1.4 This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- 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

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

Current edition approved Oct. 15, 2017. Published November 2017. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2014 as D3039/D3039M – 14. DOI: 10.1520/D3039_D3039M-17.

²For 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.

- 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 Properties 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 Gages
- 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.

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*—average 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^{ts}*—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_{g, f}*—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.
 - δ —extensional displacement.
 - ε*—general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.
 - ε*—indicated normal strain from strain transducer or extensometer.
 - σ*—normal stress.
 - ν*—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° 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 tooled 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 ± 0.0025 mm [± 0.0001 in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.025 mm [± 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_x) and width plane (B_y) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

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

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1 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

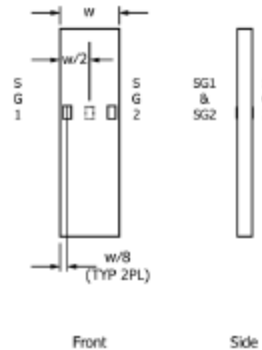


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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 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 µε). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

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

$$B_z = \frac{2/3 (\epsilon_2 - \epsilon_3)}{\epsilon_{\text{max}}} \times 100 \quad (2)$$

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, %;
- $\epsilon_1, \epsilon_2, \text{ and } \epsilon_3$ = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, µε; and
- ϵ_{max} = $((\epsilon_1 + \epsilon_2)/2 + \epsilon_3)/2$

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 (ϵ_{max}) 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 µε with an ϵ_{max} of no less than 1000 µε. 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.].³ 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

³ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350-Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁴

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 Ω 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 14.

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/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to

⁴ 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. 133-134.

within $\pm 3^{\circ}\text{C}$ [$\pm 5^{\circ}\text{F}$] and the required relative vapor level to within $\pm 3\%$. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

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

8. Sampling and Test Specimens

8.1 *Sampling*—Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice 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 tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

8.2.1.2 *Use of Tabs*—Tabs are not required. The key factor in the selection of specimen tolerances and gripping methods is the successful introduction of 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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

^a See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^a

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, ^b
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 symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	arbitrary cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	arbitrary cloth	—	—

^a Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

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.

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]ns 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:

$$L_{min} = F^u h / 2F^a \quad (3)$$

where:

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

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

8.2.3 Detailed Examples—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves insuffi-

cient 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 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.

8.3.4 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.

- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1992, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETERS WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
NO DECIMAL ± 0.1
 ± 0.05
 ± 0.02
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO \overline{AB} WITHIN $\pm 5^\circ$.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $1.6\sqrt{R}$ (SYMBOLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETERS.)
 6. UNLESS 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{AB} , 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.

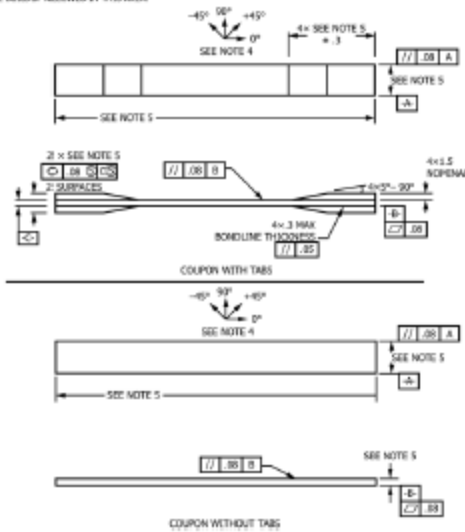


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

10.3 If no explicit conditioning process is performed, the specimen conditioning process shall be reported as "unconditioned" and the moisture content as "unknown."

II. 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:*

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

11.2.2 Following final specimen machining, measure the specimen. The thickness and width shall be measured at three places in the gage section and report the averages of the thickness and width for the calculation of area to the accuracy in 7.1. Determine the specimen area as $A = w \times h$. Record the average area in units of mm^2 ($in.^2$).

Note 8—The test requester may request that additional measurements be performed after the machined specimens have gone through any conditioning or environmental exposure.

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

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
+0.001	+0.002	+0.003
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION TOLERANCE RELATIVE TO \perp WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64V (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: PATTERN, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO \perp , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

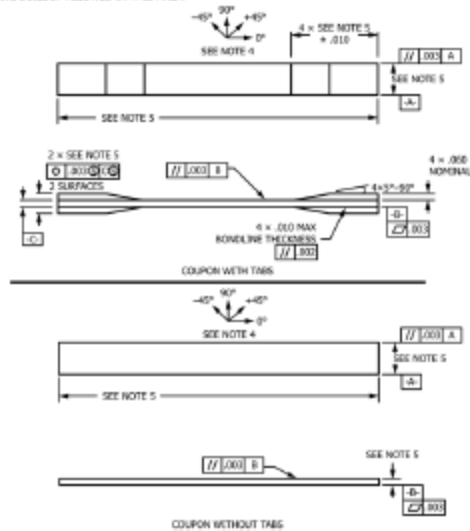


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

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 min^{-1} .

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

Num: 9—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as elevated temperature testing of a moist specimen place unre-

alistic 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 10—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 emery cloth (suggested grit of 80 to 180) 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 tabs. 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:

ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
 ϵ_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 recom-

mended. 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 11—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.

$$F^{ult} = P^{max}/A \quad (5)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (6)$$

where:

F^{ult} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
 P^{max} = maximum force before failure, N [lbf];
 σ_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 11.2.2, mm^2 [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:

ϵ_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;
 δ_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 12—To minimize potential effects of bending it is recommended

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Ranges		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point $\mu\epsilon^a$	End Point $\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 ^b	3000	2000

^a 1000 $\mu\epsilon$ = 0.001 absolute strain.

^b This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 8000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

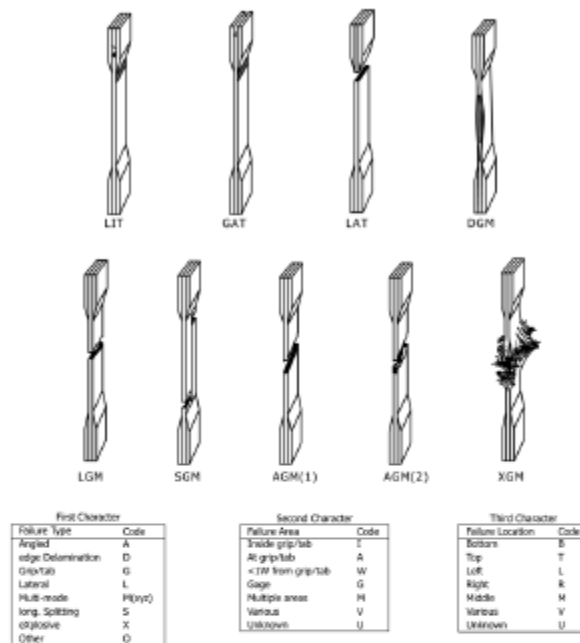


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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.

$$E^{chord} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (8)$$

where:

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

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 13—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 14—If bonded resistance strain gages are being used, the error

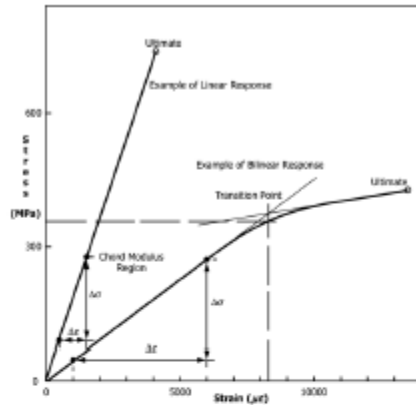


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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), ϵ_v , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied force), ϵ_l , 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.

$$v = -\Delta \epsilon_v / \Delta \epsilon_l \quad (9)$$

where:

- v = Poisson's ratio;
- $\Delta \epsilon_l$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta \epsilon_v$ = 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 longi-

tudinal 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:

$$\bar{x} = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (10)$$

$$s_{x-1} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) / (n-1)} \quad (11)$$

$$CV = 100 \times s_{x-1} / \bar{x} \quad (12)$$

where:

- \bar{x} = sample mean (average);
- s_{x-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.
- 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 Bias⁵

- 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 suggest 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.

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	s_x	S_x	$S_{x\%}$	S_{μ}/\bar{x}	$S_{\mu}/\bar{x}\%$
Strength, ksi						
A	342.09	6.40	10.68	3.12	3.73	
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Me						
A	23.57	0.65	0.65	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.66	3.54
F	3.95	0.06	0.04	0.09	1.01	2.28
G	8.47	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	0.06	0.09	12.47	15.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	3.25	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

⁵A research report is available from ASTM International Headquarters. Request RR-D30-1003.

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.⁶ 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°)
- B IM-6/3501-6 uni-tape (90°)
- C IM-6/3501-6 uni-tape (90/0°)
- F Glass/epoxy fabric (7701 glass/Ciba R 7376 Epoxy)-warp aligned
- G Carbon/epoxy fabric (66106 carbon/Ciba R 6376)

15.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/X and S_R/X represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

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

ity (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

⁶ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D3039/D3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

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 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2855, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923; Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

ANEXO 2. Norma ASTM-D790

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: D790 – 17

Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D790; 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 (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

1. Scope^a

1.1 These test methods are used to determine the flexural properties of unreinforced and reinforced plastics, including high modulus composites and electrical insulating materials utilizing a three-point loading system to apply a load to a simply supported beam (specimen). The method is generally applicable to both rigid and semi-rigid materials, but flexural strength cannot be determined for those materials that do not break or yield in the outer surface of the test specimen within the 5.0 % strain limit.

1.2 Test specimens of rectangular cross section are injection molded or, cut from molded or extruded sheets or plates, or cut from molded or extruded shapes. Specimens must be solid and uniformly rectangular. The specimen rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports.

1.3 Measure deflection in one of two ways; using crosshead position or a deflectometer. Please note that studies have shown that deflection data obtained with a deflectometer will differ from data obtained using crosshead position. The method of deflection measurement shall be reported.

Note 1—Requirements for quality control in production environments are usually met by measuring deflection using crosshead position. However, more accurate measurement may be obtained by using an deflection indicator such as a deflectometer.

Note 2—Materials that do not rupture by the maximum strain allowed under this test method may be more suited to a 4-point bend test. The basic difference between the two test methods is in the location of the maximum bending moment and maximum axial fiber stresses. The maximum axial fiber stresses occur on a line under the loading nose in 3-point bending and over the area between the loading noses in 4-point bending. A four-point loading system method can be found in Test Method D6272.

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

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved July 1, 2017. Published July 2017. Originally approved in 1970. Last previous edition approved in 2015 as D790 – 15^ε. DOI: 10.1529/D0790-17.

1.5 The text of this standard references notes and footnotes that provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

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.

Note 3—This standard and ISO 178 address the same subject matter, but differ in technical content.

1.7 This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D638 Test Method for Tensile Properties of Plastics
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
- D4101 Specification for Polypropylene Injection and Extrusion Materials
- D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
- D6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

² 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.

^aA Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved). The Mar 08 20 09 18 GMT 2022
Downloaded/printed by
FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA (FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
 E2309 Practices for Verification of Displacement Measuring Systems and Devices Used in Material Testing Machines
 2.2 ISO Standard³
 ISO 178 Plastics—Determination of Flexural Properties

3. Terminology

3.1 **Definitions**—Definitions of terms applying to these test methods appear in Terminology D883 and Annex A2 of Test Method D638.

4. Summary of Test Method

4.1 A test specimen of rectangular cross section rests on two supports in a flat-wise position and is loaded by means of a loading nose located midway between the supports. Unless testing certain laminated materials (see 7 for guidance), a support span-to-depth (of specimen) ratio 16:1 shall be used. The specimen is deflected until rupture occurs in the outer surface of the test specimen or until a maximum strain (see 5.1.6) of 5.0 % is reached, whichever occurs first.

4.2 **Procedure A** is designed principally for materials that break at comparatively small deflections and it shall be used for measurement of flexural properties, particularly flexural modulus, unless the material specification states otherwise. Procedure A employs a strain rate of 0.01 mm/mm/min (0.01 in./in./min) and is the preferred procedure for this test method.

4.3 **Procedure B** is designed principally for those materials that do not break or yield in the outer surface of the test specimen within the 5.0 % strain limit when Procedure A conditions are used. Procedure B employs a strain rate of 0.10 mm/mm/min (0.10 in./in./min).

4.4 Type I tests utilize crosshead position for deflection measurement.

4.5 Type II tests utilize an instrument (deflectometer) for deflection measurement.

4.6 The procedure used and test type shall be reported

NOTE 4—Comparative tests may be run in accordance with either procedure, provided that the procedure is found satisfactory for the material being tested. Tangent modulus data obtained by Procedure A tends to exhibit lower standard deviations than comparable results obtained by means of Procedure B.

5. Significance and Use

5.1 Flexural properties as determined by this test method are especially useful for quality control and specification purposes. They include:

5.1.1 **Flexural Stress (σ_f)**—When a homogeneous elastic material is tested in flexure as a simple beam supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress in the outer surface of the test specimen occurs at the midpoint. Flexural stress is calculated for any point on the load-deflection curve using equation (Eq 3) in Section 12 (see Notes 5 and 6).

NOTE 5—Eq 3 applies strictly to materials for which 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 if Eq 3 is used to calculate stress for materials that are not true Hookean materials. The equation is valid for obtaining comparison data and for specification purposes, but only up to a maximum fiber strain of 5 % in the outer surface of the test specimen for specimens tested by the procedures described herein.

NOTE 6—When testing highly orthotropic laminates, the maximum stress may not always occur in the outer surface of the test specimen.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. If Eq 3 is used to calculate stress, it will yield an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence of highly orthotropic laminates.

5.1.2 **Flexural Stress for Beams Tested at Large Support Spans (σ_f)**—If support span-to-depth ratios greater than 16 to 1 are used such that deflections in excess of 10 % of the support span occur, the stress in the outer surface of the specimen for a simple beam is reasonably approximated using equation (Eq 4) in 12.3 (see Note 7).

NOTE 7—When large support span-to-depth ratios are used, significant end forces are developed at the support noses which will affect the moment in a simple supported beam. Eq 4 includes additional terms that are an approximate correction factor for the influence of these end forces in large support span-to-depth ratio beams where relatively large deflections exist.

5.1.3 **Flexural Strength (σ_{fM})**—Maximum flexural stress sustained by the test specimen (see Note 6) during a bending test. It is calculated according to Eq 3 or Eq 4. Some materials that do not break at strains of up to 5 % give a load deflection curve that shows a point at which the load does not increase with an increase in strain, that is, a yield point (Fig. 1, Curve b), *Y*. The flexural strength is calculated for these materials by letting *P* (in Eq 3 or Eq 4) equal this point, *Y*.

5.1.4 **Flexural Offset Yield Strength**—Offset yield strength is the stress at which the stress-strain curve deviates by a given strain (offset) from the tangent to the initial straight line portion of the stress-strain curve. The value of the offset must be given whenever this property is calculated.

NOTE 8—Flexural Offset Yield Strength may differ from flexural strength defined in 5.1.3. Both methods of calculation are described in the annex to Test Method D638.

5.1.5 **Flexural Stress at Break (σ_{fB})**—Flexural stress at break of the test specimen during a bending test. It is calculated according to Eq 3 or Eq 4. Some materials give a load deflection curve that shows a break point, *B*, without a yield point (Fig. 1, Curve a) in which case $\sigma_{fB} = \sigma_{fM}$. Other materials give a yield deflection curve with both a yield and a break point, *B* (Fig. 1, Curve b). The flexural stress at break is calculated for these materials by letting *P* (in Eq 3 or Eq 4) equal this point, *B*.

5.1.6 **Stress at a Given Strain**—The stress in the outer surface of a test specimen at a given strain is calculated in accordance with Eq 3 or Eq 4 by letting *P* equal the load read

⁴ For a 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.

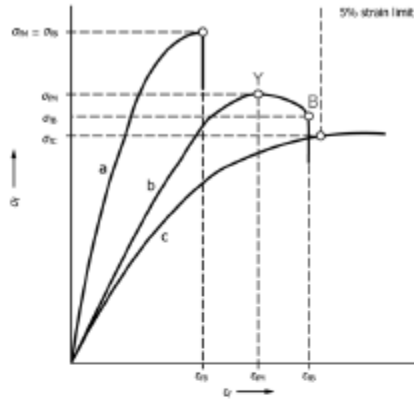


FIG. 1 Typical Curves of Flexural Stress (σ) Versus Flexural Strain (ϵ)

from the load-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for highly orthotropic laminates, see Note 6).

5.1.7 *Flexural Strain, ϵ_f* —Nominal fractional change in the length of an element of the outer surface of the test specimen at midspan, where the maximum strain occurs. Flexural strain is calculated for any deflection using Eq 5 in 12.4.

5.1.8 *Modulus of Elasticity:*
 5.1.8.1 *Tangent Modulus of Elasticity*—The tangent modulus of elasticity, often called the “modulus of elasticity,” is the ratio, within the elastic limit, of stress to corresponding strain. It is calculated by drawing a tangent to the steepest initial straight-line portion of the load-deflection curve and using Eq 6 in 12.5.1 (for highly anisotropic composites, see Note 9).

5.1.8.2 *Secant Modulus*—The secant modulus is the ratio of stress to corresponding strain at any selected point on the stress-strain curve, that is, the slope of the straight line that joins the origin and a selected point on the actual stress-strain curve. It shall be expressed in megapascals (pounds per square inch). The selected point is chosen at a pre-specified stress or strain in accordance with the appropriate material specification

or by customer contract. It is calculated in accordance with Eq 6 by letting m equal the slope of the secant to the load-deflection curve. The chosen stress or strain point used for the determination of the secant shall be reported.

5.1.8.3 *Chord Modulus (E_c)*—The chord modulus is calculated from two discrete points on the load deflection curve. The selected points are to be chosen at two pre-specified stress or strain points in accordance with the appropriate material specification or by customer contract. The chosen stress or strain points used for the determination of the chord modulus shall be reported. Calculate the chord modulus, E_c using Eq 7 in 12.5.2.

5.2 Experience has shown that flexural properties vary with specimen depth, temperature, atmospheric conditions, and strain rate as specified in Procedures A and B.

5.3 Before proceeding with these test methods, refer to the ASTM specification of the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters, or combination thereof, covered in the ASTM material specification shall take precedence over those mentioned in these test methods. Table 1 in Classification System D4000 lists the ASTM material specifications that currently exist for plastics.

6. Apparatus

6.1 *Testing Machine*—A testing machine capable of being operated at constant rates of crosshead motion over the range indicated and comprised of the following:

6.1.1 *Load Frame*—The stiffness of the testing machine shall be such that the total elastic deformation of the system does not exceed 1 % of the total deflection of the test specimen during testing, or appropriate corrections shall be made.

6.1.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member holding the specimen supports;

6.1.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying the loading nose.

6.1.2 *Loading Noses and Supports*—The loading nose and supports shall have cylindrical surfaces.

6.1.2.1 The radii of the loading nose and supports shall be 5.0 ± 0.1 mm (0.197 ± 0.004 in.) unless otherwise specified in an ASTM material specification or as agreed upon between interested parties.

6.1.2.2 *Other Radii for Loading Noses and Supports*—Alternative loading noses and supports are permitted to be used in order to avoid excessive indentation or failure due to stress concentration directly under the loading nose or if required by an ASTM material specification. If alternative loading nose and support radii are used, the dimensions of the loading nose and supports shall be clearly identified in the test report and reference shall be made to any applicable specifications.

(1) Alternative supports shall have a minimum radius of 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in.) When testing specimens 3.2 mm or greater in depth, the radius of the loading nose and supports are permitted to be up to 1.6 times the specimen depth.

(2) The arc of the loading nose in contact with the specimen shall be sufficiently large to prevent contact of the specimen with the sides of the nose. Alternative loading noses shall be sufficiently large to prevent contact of the specimen

with the sides of the nose. The maximum radius of the loading nose shall be no more than four times the specimen depth.

6.1.3 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 Procedure A or B.

6.1.4 Load Indicator—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total load applied to specimen when in position on the flex fixture. 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.

6.1.5 Deflection Measuring Device—The deflection measuring device used shall be selected from the following two choices:

6.1.5.1 Type I—Crosshead Position Indicating System—A suitable deflection indicating mechanism capable of showing the amount of change in crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the crosshead movement. The crosshead position indicating system shall be verified in accordance with Practice E2309 and minimally meet the requirements of a Class B system for use in determining strain.

Note 10—Machine compliance correction may be applied to correct for lost motion and deflection in the load frame, drive mechanism, load sensor and other elements in order to give a more precise measurement of the deflection of the test specimen. Many manufacturer's machines and/or software packages perform this machine compliance correction. **Appendix X1** also provides a means of determining the compliance correction.

6.1.5.2 Type II—Deflection Indicator (Deflectometer)—A suitable instrument for more accurately determining the deflection of the specimen at its midpoint (beneath the loading nose). This instrument shall be essentially free of inertia at the specified speed of testing. The deflection indicator system shall be verified in accordance with Practice E83 and minimally meet the requirements of a Class B-2 instrument for modulus and a Class C instrument for other strain measurements.

Note 11—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, it has been found useful to also record load-time data.

Note 12—Practice E83 is intended for extensometers. As such it references gauge length which is not applicable to deflectometers. To satisfy the "fixed value" and "fixed error" requirements in Table 1 of Practice E83, an effective gauge length of 50 mm can be assumed.

6.2 Micrometers—Apparatus for measuring the width and thickness of the test specimen shall comply with the requirements of Test Method D5947.

7. Test Specimens

7.1 Test specimens that are cut from sheets, plates, or molded or extruded shapes, or molded to the desired finished dimensions are acceptable. The actual dimensions used shall be measured in accordance with Test Methods D5947. The depth of the specimen shall be defined as the thickness of the material. The depth shall not exceed the width (see **Note 13**). The crosssection of the specimens shall be rectangular with

opposite sides flat and parallel (± 0.2 mm) and adjacent sides perpendicular along the full length of the specimen.

7.2 Whenever possible, the original surface of the sheet shall be unaltered. However, where testing machine limitations make it impossible to follow the above criterion on the unaltered sheet, one or both surfaces shall be machined to provide the desired dimensions, and the location of the specimens with reference to the total depth shall be noted. Consequently, any specifications for flexural properties on thicker sheets must state whether the original surfaces are to be retained or not. When only one surface was machined, it must be stated whether the machined surface was on the tension or compression side of the beam. Any necessary polishing of specimens shall be done only in the lengthwise direction of the specimen.

Note 13—The value obtained on specimens with machined surfaces may differ from those obtained on specimens with original surfaces.

7.3 Sheet Materials (Except Laminated Thermosetting Materials and Certain Materials Used for Electrical Insulation, Including Vulcanized Fiber and Glass Bonded Mica):

7.3.1 Materials 1.6 mm ($1/16$ in.) or Greater in Thickness—Specimen width shall not exceed one fourth of the support span for specimens greater than 3.2 mm ($1/8$ in.) in depth. Specimens 3.2 mm or less in depth shall be 12.7 mm ($1/2$ in.) in width. The specimen shall be long enough to allow for overhanging on each end of at least 10% of the support span, but in no case less than 6.4 mm ($1/4$ in.) on each end. Overhang shall be sufficient to prevent the specimen from slipping through the supports. A support span of 16 ± 1 times the depth of the specimen is used for these specimens.

7.3.2 Materials Less than 1.6 mm ($1/16$ in.) in Thickness—The specimen shall be 50.8 mm (2 in.) long by 12.7 mm ($1/2$ in.) wide, tested flatwise on a 25.4-mm (1-in.) support span.

Note 14—Use of the formulas for simple beams cited in these test methods for calculating results presumes that beam width is small in comparison with the support span. Therefore, the formulas do not apply rigorously to these dimensions.

Note 15—Where machine sensitivity is such that specimens of these dimensions cannot be measured, wider specimens or shorter support spans, or both, may be used, provided the support span-to-depth ratio is at least 14 to 1. All dimensions must be stated in the report (see also **Note 14**).

7.4 Laminated Thermosetting Materials and Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation, Including Vulcanized Fiber and Glass-Bonded Mica—For paper-base and fabric-base grades over 25.4 mm (1 in.) in nominal thickness, the specimens shall be machined on both surfaces to a depth of 25.4 mm. For glass-base and nylon-base grades, specimens over 12.7 mm (0.5 in.) in nominal depth shall be machined on both surfaces to a depth of 12.7 mm. The support span-to-depth ratio shall be chosen such that failures occur in the outer fibers of the specimens, due only to the bending moment. As a general rule, support span-to-specimen depth ratios of 16:1 are satisfactory when the ratio of the tensile strength to shear strength is less than 8 to 1, but the support span-to-depth ratio must be increased for composite laminates having relatively low shear strength in the plane of the laminate and relatively high tensile strength parallel to the support span (32:1 or 40:1).

are recommended). When laminated materials exhibit low compressive strength perpendicular to the laminations, they shall be loaded with a large radius loading nose (up to four times the specimen depth to prevent premature damage to the outer fibers).

7.5 Molding Materials (Thermoplastics and Thermosets)—The preferred specimen dimensions for molding materials is 12.7 mm (0.5 in.) wide, 3.2 mm (0.125 in.) thick, and 127 mm (5.0 in.) long. They are tested flatwise on the support span, resulting in a support span-to-depth ratio of 16:1 (tolerance ± 1). Thicker specimens are to be avoided if they exhibit significant sink marks or bubbles when molded.

7.6 High-Strength Reinforced Composites, Including Highly Orthotropic Laminates—The span-to-depth ratio shall be chosen such that failure occurs in the outer fibers of the specimens and is due only to the bending moment. As a general rule, support span-to-depth ratios of 16:1 are satisfactory when the ratio of the tensile strength to shear strength is less than 8 to 1, but the support span-to-depth ratio must be increased for composite laminates having relatively low shear strength in the plane of the laminate and relatively high tensile strength parallel to the support span (32:1 or 40:1 are recommended). For some highly anisotropic composites, shear deformation can significantly influence modulus measurements, even at span-to-depth ratios as high as 40:1. Hence, for these materials, an increase in the span-to-depth ratio to 60:1 is recommended to eliminate shear effects when modulus data are required, it should also be noted that the flexural modulus of highly anisotropic laminates is a strong function of ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with tensile modulus, which is not stacking-sequence dependent.

8. Number of Test Specimens

8.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials or molded specimens.

8.2 For each sample of anisotropic material in sheet form, test at least five specimens cut in the desired direction. For the purposes of this test, “lengthwise” designates the principal axis of anisotropy and shall be interpreted to mean the direction of the sheet known to be stronger in flexure. “Crosswise” indicates the sheet direction known to be weaker in flexure and shall be at 90° to the lengthwise direction. The direction of test, whether it be lengthwise, crosswise, or some angle relative to these shall be noted in the report.

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 **Procedure A:**

10.1.1 Use an untested specimen for each measurement. Measure the width and depth of the specimen to the nearest 0.03 mm (0.001 in.) at the center of the support span. For specimens less than 2.54 mm (0.100 in.) in depth, measure the depth to the nearest 0.003 mm (0.0005 in.). These measurements shall be made in accordance with Test Methods D5947.

10.1.2 Determine the support span to be used as described in Section 7 and set the support span to within 1% of the determined value.

10.1.3 For flexural fixtures that have continuously adjustable spans, measure the span accurately to the nearest 0.1 mm (0.004 in.) for spans less than 63 mm (2.5 in.) and to the nearest 0.3 mm (0.012 in.) for spans greater than or equal to 63 mm (2.5 in.). Use the actual measured span for all calculations. For flexural fixtures that have fixed machined span positions, verify the span distance the same as for adjustable spans at each machined position. This distance becomes the span for that position and is used for calculations applicable to all subsequent tests conducted at that position. See Annex A2 for information on the determination of and setting of the span.

10.1.4 Calculate the rate of crosshead motion as follows and set the machine for the rate of crosshead motion as calculated by Eq 1:

$$R = ZL^2/6d \tag{1}$$

where:

- R = rate of crosshead motion, mm (in.)/min,
- L = support span, mm (in.),
- d = depth of beam, mm (in.), and
- Z = rate of straining of the outer fiber, mm/mm/min (in./in./min). Z shall be equal to 0.01.

In no case shall the actual crosshead rate differ from that calculated using Eq 1, by more than $\pm 10\%$.

10.1.5 Align the loading nose and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel and the loading nose is midway between the supports. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading nose and supports. The loading nose should be close to, but not in contact with the specimen (see Note 16).

Note 16—The parallelism of the apparatus may be checked by means of a plate with parallel grooves into which the loading nose and supports will fit when properly aligned (see A2.3).

10.1.6 Apply the load to the specimen at the specified crosshead rate, and record simultaneous load-deflection data.

10.1.7 Measure deflection either by measurement of the motion of the loading nose relative to the supports (crosshead position) (Type I) or by a deflection indicator (deflectometer) under the specimen in contact with it at the center of the support span, the gauge being mounted stationary relative to the specimen supports (Type II). Load-deflection curves are used to determine the flexural strength, chord or secant modulus or the tangent modulus of elasticity, and the total work as measured by the area under the load-deflection curve. Perform the necessary toe compensation (see Annex A1) to correct for seating and indentation of the specimen and deflections in the machine.

10.1.8 Terminate the test when the maximum strain in the outer surface of the test specimen has reached 0.05 mm/mm (in./in.) or at break if break occurs prior to reaching the maximum strain (Notes 17 and 18). The deflection at which this strain will occur is calculated by letting r equal 0.05 mm/mm (in./in.) in Eq 2:

$$D = rL^2/6d \quad (2)$$

where:

D = midspan deflection, mm (in.),
 r = strain, mm/mm (in./in.),
 L = support span, mm (in.), and
 d = depth of beam, mm (in.).

NOTE 17—For some materials that do not yield or break within the 5% strain limit when tested by Procedure A, the increased strain rate allowed by Procedure B (see 10.2) may induce the specimen to yield or break, or both, within the required 5% strain limit.

NOTE 18—Beyond 5% strain, this test method is not applicable. Some other mechanical property might be more relevant to characterize materials that neither yield nor break by either Procedure A or Procedure B within the 5% strain limit (for example, Test Method D638 may be considered).

10.2 Procedure B:

10.2.1 Use an untested specimen for each measurement.

10.2.2 Test conditions shall be identical to those described in 10.1, except that the rate of straining of the outer surface of the test specimen shall be 0.10 mm/mm (in./in.)/min.

10.2.3 If no break has occurred in the specimen by the time the maximum strain in the outer surface of the test specimen has reached 0.05 mm/mm (in./in.), discontinue the test (see Note 18).

11. Retests

11.1 Values for properties at rupture shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Retests shall be made for any specimen on which values are not calculated.

12. Calculation

12.1 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.

12.2 Flexural Stress (σ_f):

$$\sigma_f = 3PL/2bd^2 \quad (3)$$

where:

σ = stress in the outer fibers at midpoint, MPa (psi),
 P = load at a given point on the load-deflection curve, N (lbf),
 L = support span, mm (in.),
 b = width of beam tested, mm (in.), and
 d = depth of beam tested, mm (in.).

NOTE 19—Eq 3 is not valid if the specimen slips excessively between the supports.

12.3 Flexural Stress for Beams Tested at Large Support Spans (σ_f):

$$\sigma_f = (3PL/2bd^2)[1 + 6(D/L)^2 - 4(d/L)(D/L)] \quad (4)$$

where:

σ_f , P , L , b , and d = the same as for Eq 3, and
 D = deflection of the centerline of the specimen at the middle of the support span, mm (in.).

NOTE 20—When large support span-to-depth ratios are used, significant end forces are developed at the support noses, which will affect the moment in a simple supported beam. Eq 4 includes additional terms that are an approximate correction factor for the influence of these end forces in large support span-to-depth ratio beams where relatively large deflections exist.

12.4 Flexural Strain, ϵ_f —Nominal fractional change in the length of an element of the outer surface of the test specimen at midspan, where the maximum strain occurs. It may be calculated for any deflection using Eq 5:

$$\epsilon_f = 6Dd/L^2 \quad (5)$$

where:

ϵ_f = strain in the outer surface, mm/mm (in./in.),
 D = maximum deflection of the center of the beam, mm (in.),
 L = support span, mm (in.), and
 d = depth, mm (in.) of beam tested.

12.5 Modulus of Elasticity:

12.5.1 Tangent Modulus of Elasticity:

$$E_B = L^3m/4bd^3 \quad (6)$$

where:

E_B = modulus of elasticity in bending, MPa (psi),
 L = support span, mm (in.),
 b = width of beam tested, mm (in.),
 d = depth of beam tested, mm (in.), and
 m = slope of the tangent to the initial straight-line portion of the load-deflection curve, N/mm (lbf/in.) of deflection.

12.5.2 Chord Modulus (E_f):

$$E_f = (\sigma_f - \sigma_n)/(\epsilon_f - \epsilon_n) \quad (7)$$

where:

σ_f and σ_n = the flexural stresses, calculated from Eq 3 or Eq 4 and measured at the predefined points on the load deflection curve, and ϵ_f and ϵ_n = the flexural strain values, calculated from Eq 5 and measured at the predetermined points on the load deflection curve.

12.6 Arithmetic Mean—For each series of tests, the arithmetic mean of all values obtained shall be calculated to three significant figures and reported as the "average value" for the particular property in question.

12.7 Standard Deviation—The standard deviation (estimated) shall be calculated as follows and be reported to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{x}^2)/(n-1)} \quad (8)$$

where:

s = estimated standard deviation,
 X = value of single observation,
 n = number of observations, and

\bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

13. Report

- 13.1 Report the following information:
 - 13.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, principal dimensions, and previous history (for laminated materials, ply-stacking sequence shall be reported),
 - 13.1.2 Method of specimen preparation,
 - 13.1.3 Direction of cutting and loading specimens, when appropriate,
 - 13.1.4 Conditioning procedure,
 - 13.1.5 Depth and width of specimen,
 - 13.1.6 Reference to this international standard, the Procedure used (A or B), and type test performed (I or II), for example D790-AI. If Type I test, specify if machine compliance is used.
 - 13.1.7 Support span length,
 - 13.1.8 Support span-to-depth ratio if different than 16:1,
 - 13.1.9 Radius of supports and loading noses, if different than 5 mm. When support and/or loading nose radii other than 5 mm are used, the results shall be identified as being generated by a modified version of this test method and the referring specification referenced as to the geometry used.
 - 13.1.10 Rate of crosshead motion,
 - 13.1.11 Flexural strain at any given stress, average value and standard deviation,
 - 13.1.12 If a specimen is rejected, reason(s) for rejection,
 - 13.1.13 Tangent, secant, or chord modulus in bending, average value, standard deviation, and the strain level(s) used if secant or chord modulus,
 - 13.1.14 Flexural strength (if desired), average value, and standard deviation,
 - 13.1.15 Stress at any given strain up to and including 5 % (if desired), with strain used, average value, and standard deviation,
 - 13.1.16 Flexural stress at break (if desired), average value, and standard deviation,
 - 13.1.17 Type of behavior, whether yielding or rupture, or both, or other observations, occurring within the 5 % strain limit, and
 - 13.1.18 Date of specific version of test used.

14. Precision and Bias

14.1 Tables 1 and 2 are based on a round-robin test conducted in 1984, in accordance with Practice E691, involving six materials tested by six laboratories using Procedure A. For each material, all the specimens were prepared at one source. Each "test result" was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

Note 21—Caution: The following explanations of r and R (14.2 – 14.2.3) are intended only to present a meaningful way of considering the approximate precision of these test methods. The data given in Tables 1 and 2 should not be applied rigorously to the acceptance or rejection of materials, as those data are specific to the round robin and may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of these test methods should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific

TABLE 1 Flexural Strength

Material	Mean, 10 ³ psi	Values Expressed in Units of % of 10 ³ psi			
		V _w ^a	V _{re} ^b	r ^c	R ^d
ABS	9.99	1.59	6.05	4.44	17.2
DAP thermocast	14.3	6.58	6.58	18.6	18.6
Cast acrylic	16.3	1.67	11.3	4.73	32.0
GR polyester	19.5	1.43	2.14	4.05	6.06
GR polycarbonate	21.0	5.16	6.05	14.6	17.1
SMC	26.0	4.76	7.19	13.5	20.4

^a V_w = within-laboratory coefficient of variation for the indicated material. It is obtained by first pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories: $S_r = \sqrt{[(s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2]/n}$ ¹⁰² then $V_w = (S_r \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$.
^b V_{re} = between-laboratory reproducibility, expressed as the coefficient of variation: $S_{re} = \sqrt{S_b^2 + S_r^2}$ ¹⁰² where S_b is the standard deviation of laboratory means. Then: $V_{re} = (S_{re} \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$.
^c r = within-laboratory critical interval between two test results = 2.8 × V_w.
^d R = between-laboratory critical interval between two test results = 2.8 × V_{re}.

TABLE 2 Flexural Modulus

Material	Mean, 10 ³ psi	Values Expressed in units of % of 10 ³ psi			
		V _w ^a	V _{re} ^b	r ^c	R ^d
ABS	336	4.79	7.69	13.6	21.8
DAP thermocast	485	2.89	7.18	8.15	20.4
Cast acrylic	810	13.7	10.1	28.8	48.4
GR polyester	816	3.49	4.20	8.91	11.9
GR polycarbonate	1790	5.52	5.52	15.6	15.6
SMC	1950	10.9	13.8	30.8	36.1

^a V_w = within-laboratory coefficient of variation for the indicated material. It is obtained by first pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories: $S_r = \sqrt{[(s_1)^2 + (s_2)^2 + \dots + (s_n)^2]/n}$ ¹⁰² then $V_w = (S_r \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$.
^b V_{re} = between-laboratory reproducibility, expressed as the coefficient of variation: $S_{re} = \sqrt{S_b^2 + S_r^2}$ ¹⁰² where S_b is the standard deviation of laboratory means. Then: $V_{re} = (S_{re} \text{ divided by the overall average for the material}) \times 100$.
^c r = within-laboratory critical interval between two test results = 2.8 × V_w.
^d R = between-laboratory critical interval between two test results = 2.8 × V_{re}.

laboratories. The principles of 14.2 – 14.2.3 would then be valid for such data.

14.2 Concept of "r" and "R" in Tables 1 and 2—If S_r and S_{re} have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing five specimens for each test result, then:

14.2.1 Repeatability—Two test results obtained within one laboratory shall be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material. r is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory.

14.2.2 Reproducibility—Two test results obtained by different laboratories shall be judged not equivalent if they differ by more than the R value for that material. R is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories.

14.2.3 The judgments in 14.2.1 and 14.2.2 will have an approximately 95 % (0.95) probability of being correct.

14.3 Bias—Make no statement about the bias of these test methods, as there is no standard reference material or reference test method that is applicable.

15. Keywords

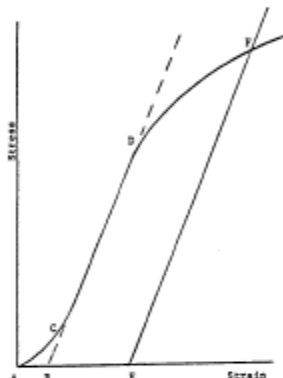
15.1 flexural properties; plastics; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (see 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

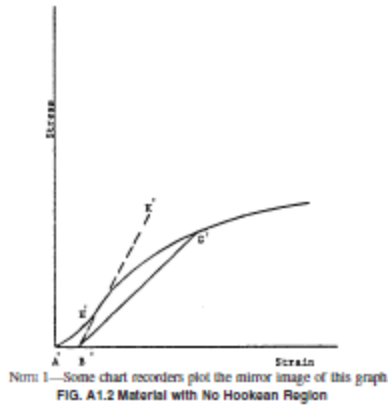


NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.
FIG. A1.1 Material with Hookean Region

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.

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see 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 (see 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.



A2. MEASURING AND SETTING SPAN

A2.1 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 stress, modulus, and strain, and the loading nose or noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of your results when using these adjustable span fixtures.

A2.2 Measurement of Span:

A2.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in the calculation of results.

A2.2.2 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. A2.1 and A2.2).

A2.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm (0.004 in.), measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.



FIG. A2.1 Markings on Fixed Specimen Supports



FIG. A2.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

A2.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a consistent day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose, 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. A2.3.

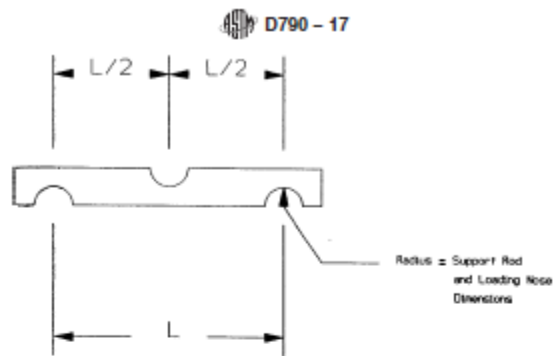


FIG. A2.3 Fixture Used to Set Loading Nose and Support Spacing and Alignment

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. DEVELOPMENT OF A FLEXURAL MACHINE COMPLIANCE CORRECTION

XI.1 Introduction

XI.1.1 Universal Testing instrument drive systems always exhibit a certain level of compliance that is characterized by a variance between the reported crosshead displacement and the displacement actually imparted to the specimen. This variance is a function of load frame stiffness, drive system wind-up, load cell compliance and fixture compliance. To accurately measure the flexural modulus of a material, this compliance should be measured and empirically subtracted from test data. Flexural modulus results without the corrections are lower than if the correction is applied. The greater the stiffness of the material the more influence the system compliance has on results.

XI.1.2 It is not necessary to make the machine compliance correction when a deflectometer/extensometer is used to measure the actual deflection occurring in the specimen as it is deflected.

XI.2 Terminology

XI.2.1 *Compliance*—The displacement difference between test machine drive system displacement values and actual specimen displacement.

XI.2.2 *Compliance Correction*—An analytical method of modifying test instrument displacement values to eliminate the amount of that measurement attributed to test instrument compliance.

XI.3 Apparatus

XI.3.1 Universal Testing machine

XI.3.2 Load cell

XI.3.3 Flexure fixture including loading nose and specimen supports

XI.3.4 Computer Software to make corrections to the displacements

XI.3.5 Steel bar, with smoothed surfaces and a calculated flexural stiffness of more than 100 times greater than the test material. The length should be at least 13 mm greater than the support span. The width shall match the width of the test specimen and the thickness shall be that required to achieve or exceed the target stiffness.

XI.4 Safety Precautions

XI.4.1 The universal testing machine should stop the machine crosshead movement when the load reaches 90 % of load cell capacity, to prevent damage to the load cell.

XI.4.2 The compliance curve determination should be made at a speed no higher than 2 mm/min. Because the load builds up rapidly since the steel bar does not deflect, it is quite easy to exceed the load cell capacity.

XI.5 Procedure

NOTE X1.1—A new compliance correction curve should be established each time there is a change made to the setup of the test machine, such as, load cell changed or reinstallation of the flexure fixture on the machine. If the test machine is dedicated to flexural testing, and there are no changes to the setup, it is not necessary to re-calculate the compliance curve.

NOTE X1.2—On those machines with computer software that automatically make this compliance correction; refer to the software manual to determine how this correction should be made.

XI.5.1 The procedure to determine compliance follows:

XI.5.1.1 Configure the test system to match the actual test configuration.

XI.5.1.2 Place the steel bar in the test fixture, duplicating the position of a specimen during actual testing.

X1.5.1.3 Set the crosshead speed to 2 mm/min, or less and start the crosshead moving in the test direction recording crosshead displacement and the corresponding load values.

X1.5.1.4 Increase load to a point exceeding the highest load expected during specimen testing. Stop the crosshead and return to the pre-test location.

X1.5.1.5 The recorded load-deflection curve, starting when the loading nose contacts the steel bar to the time that the highest load expected is defined as test system compliance.

X1.5.2 Procedure to apply compliance correction is as follows:

X1.5.2.1 Run the flexural test method on the material at the crosshead required for the measurement.

X1.5.2.2 It is preferable that computer software be used to make the displacement corrections, but if it is not available compliance corrections can be made manually in the following manner. Determine the range of displacement (D) on the load versus displacement curve for the material, over which the modulus is to be calculated. For Young's Modulus that would be the steepest region of the curve below the proportional limit. For Secant and Chord Moduli that would be at specified level of strain or specified levels of strain, respectively. Draw two vertical lines up from the displacement axis for the two chosen displacements (D1, D2) to the load versus displacement curve for the material. In some cases one of these points maybe at zero displacement after the toe compensation correction is made. Draw two horizontal lines from these points on the load displacement curve to the Load (P) axis. Determine the loads (L1, L2).

X1.5.2.3 Using the Compliance Correction load displacement curve for the steel bar, mark off L1 and L2 on the Load (P) axis. From these two points draw horizontal lines across till they contact the load versus displacement curve for the steel bar. From these two points on the load deflection curve draw two vertical lines downwards to the displacement axis. These two points on the displacement axis determine the corrections (c1, c2) that need to be made to the displacements measurements for the test material.

X1.5.2.4 Subtract the corrections (c1, c2) from the measured displacements (D1, D2), so that a true measure of test specimen deflection (D1-c1, D2-c2) are obtained.

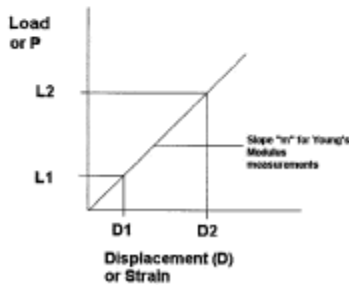


FIG. X1.1 Example of Modulus Curve for a Material

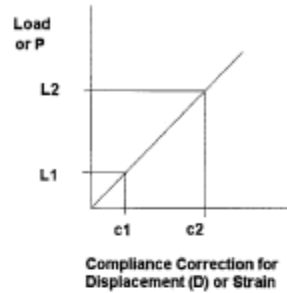


FIG. X1.2 Compliance Curve for Steel Bar

XI.6 Calculations

X1.6.1 Calculation of Chord Modulus

X1.6.1.1 Calculate the stresses (σ_1 , σ_2) for load points L1 and L2 from Fig. X1.1 using the equation in 12.2, Eq 3.

X1.6.1.2 Calculate the strains (ϵ_1 , ϵ_2) for displacements D1-c1 and D2-c2 from Fig. X1.3 using the equation in 12.4, Eq 5.

X1.6.1.3 Calculate the flexural chord modulus in accordance with 12.5.2, Eq 7.

X1.6.2 Calculation of Secant Modulus

X1.6.2.1 Calculation of the Secant Modulus at any strain along the curve would be the same as conducting a chord modulus measurement, except that $\sigma_1 = 0$, $L_1 = 0$, and $D_1 - c_1 = 0$.

X1.6.3 Calculation of Young's Modulus

X1.6.3.1 Determine the steepest slope "m" along the curve, below the proportional limit, using the selected loads L1 and L2 from Fig. X1.1 and the displacements D1-c1 and D2-c2 from Fig. X1.3.

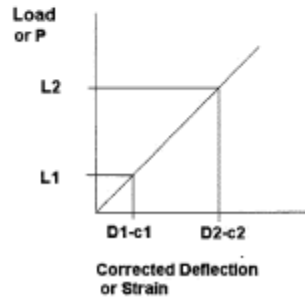


FIG. X1.3 Example of the Material Curve Corrected for the Compliance Corrected Displacement or Strain

X1.6.3.2 Calculate the Young's modulus in accordance with 12.5.1, Eq 6.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D790 - 15^o) that may impact the use of this standard. (July 1, 2017)

(1) Revised 6.1.5.1, 6.1.5.2, 13.1.6
(2) Added Note 10 and Note 12.

(3) Added Practice E83 to 2.1.

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 19405-2900, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9800 (phone), 610-832-9805 (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) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

ANEXO 3. Ficha técnica resina poliéster

	Ficha técnica	SINERGIA QUIMICA SAS NIT: 813.005.938-5
	RESINA POLIESTER 856	<i>Página 1 de 3</i>

Otros nombres: Resina poliéster Orto ftálica, pre-acelerada de propósito general.

1. APLICACIONES

- > Sistemas reforzados de mediana exigencia mecánica y química.
- > No es apta para fabricación de botes o tanques.
- > Laminación manual y para aplicaciones de propósito general.

2. FORMA DE APLICACION

La resina POLIESTER 856 es apropiada para trabajar por laminación manual, o moldeo a máquina (spray up), y para sistemas cargados. Los laminados obtenidos tienen buena resistencia mecánica.

La resina se suministra al 70% en sólidos y puede ser modificada por el usuario con la adición de Estireno monómero hasta un 25% máximo, según su aplicación particular.

A la resina POLIESTER 856 se le puede agregar "Cabocil o flowsil" para conferirle tixotropía y evitar así el chorreo en laminados verticales.

3. ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES DE LA RESINA LIQUIDA

Propiedad	Unidad	Valor MIN	Valor MAX	Método
Apariencia	Rosada transparente			ASTM D2090
Viscosidad ⁽¹⁾ Brookfield	cP @ 25°C	1500	2500	ASTM D2196
Sólidos	% nvm	68	72	ASTM D1259
Peso específico	@ 25°C		1.17	ASTM D1963
Acidez	mg KOH/g		42	ASTM D1639
Tiempo de gel (2)	min @ 25°C	7	10	ASTM D2471
Tiempo de máxima exotermita	min @ 25°C	14	25	ASTM D2471
Temperatura de máxima exotermita	°C	140	150	ASTM D2471
Estabilidad	meses		4	

La información y recomendaciones que aparecen en esta hoja son a nuestro entender enteramente confiables. Los Consumidores y clientes deberán realizar su propia investigación y verificación sobre el uso seguro de este material

Este documento es propiedad exclusiva de SINERGIA QUIMICA SAS

	Ficha técnica	SINERGIA QUIMICA SAS NIT: 813.005.938-5
	RESINA POLIESTER 856	

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA
(Sin reforzar)

Propiedad	Método	Sist. Internacional Und/Vr	Sist. Und.		Inglés Valor
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	45	psi	6,526.70
Módulo	ASTM D638	GPa	3.6	Kpsi	522.13
Deformación	ASTM D638	%	2.4	%	2.4
Flexión					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	MPa	113	psi	16,389.26
Módulo	ASTM D790	GPa	3.77	Kpsi	546.80
Deformación	ASTM D790	%	3.52	%	3.52
HDT					
Dureza	ASTM D2583	%	5.46	%	5.46
Absorción de agua (24h a 23 °C)	ASTM D570	°C	60	°F	140
		Barcol	42	Barcol	42

(1) Ciclo de curado: 24 horas a 25°C, 3 horas a 80°C.

PROPIEDADES DE LA RESINA CURADA
(Reforzada)

Propiedad	Método	Sistema Internacional Unidad Valor	Sistema Unidad	Inglés Valor	
Tensión					
Esfuerzo de tensión	ASTM D638	MPa	63	psi	9,137.37
Módulo	ASTM D638	GPa	9.13	Kpsi	1,324.95
Deformación	ASTM D638	%	1.33	%	1.33
Flexión					
Esfuerzo de flexión	ASTM D790	MPa	165	psi	23,931.23
Módulo	ASTM D790	GPa	8.54	Kpsi	1,238.62
Deformación	ASTM D790	%	2.38	%	2.38

La información y recomendaciones que aparecen en esta hoja son a nuestro entender enteramente confiables. Los Consumidores y clientes deberán realizar su propia investigación y verificación sobre el uso seguro de este material

Este documento es propiedad exclusiva de SINERGIA QUIMICA SAS

	Ficha técnica	SINERGIA QUIMICA SAS NIT: 813.005.938-5
	RESINA POLIESTER 856	Página 3 de 3

4. ALMACENAMIENTO

La resina POLIESTER 856 tiene un tiempo de vida equivalente a cuatro meses desde el momento de su fabricación, siempre y cuando el producto esté almacenado a condiciones de temperatura y humedad adecuadas. Se recomienda almacenar el producto en un lugar fresco a una temperatura menor de 25°C para obtener la máxima estabilidad. Se suministra en tambores metálicos de 230 kg. , Garrafas de 20 kg , Galon de 4 kg y 1kg.

Por ser un producto que contiene aditivos se debe agitar antes de usarlo para lograr una homogenización de estos



La información y recomendaciones que aparecen en esta hoja son a nuestro entender enteramente confiables. Los Consumidores y clientes deberán realizar su propia investigación y verificación sobre el uso seguro de este material

Este documento es propiedad exclusiva de SINERGIA QUIMICA SAS

ANEXO 4. Ficha técnica fibra de coco



[INICIO](#) [PRODUCTOS](#) [NUESTRA EMPRESA](#) [CONTÁCTENOS](#)

COMPOSICIÓN QUÍMICA

Lignita	42.5%
Celulosa	32.3%
Pentosa	14.7%
Grasas saponificables	5.1%
Grasas insaponificables	0.7%
Cenizas	3.5%
Proteínas	1.2%



[INICIO](#) [PRODUCTOS](#) [NUESTRA EMPRESA](#) [CONTÁCTENOS](#)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Longitud	Entre 10 – 25 cm.
Diámetro	Entre 0.1 – 1.5 mm.
Capacidad de estiramiento	29.04%
Módulo de rigidez	1.2984 dinas/cm ²
Conductividad térmica	0.043 a 0.045 W/mk
Difusión de vapor en agua (DIN)	Óptima
Tolerancia de los espesores	+10% / -0%
Comportamiento al fuego	Clase B2
Olor	Inodoro
Putrescibilidad	Nula

ANEXO 5.Cotización TyG



Bogotá D.C, 20 de Marzo del 2022

Señores:
Hernán Camilo Fonseca Ballesteros
Ciudad

ASUNTO: COTIZACION FABRICACION Y MECANIZADOS

Por medio de la presente le estamos cotizando los siguientes trabajos. Como se describe a continuación:

1. PROPUESTA ECONOMICA

Fecha	20/03/2022
Cliente:	Hernan Camilo Fonseca Ballesteros

Cantidad	Descripción	V.unitario	Total
1	varilla lisa plata eje 8mm x 400mm	\$ 14,000	\$ 14,000
1	Mecanizo de varilla lisa de plata	\$ 30,000	\$ 30,000
1	Platina De Aluminio 5 Pulgadas X 1/2 X 350mm - Cnc	\$ 70,000	\$ 70,000
1	Mano de obra para elaboración de soporte ensayo a flexión	\$ 60,000	\$ 60,000
SUBTOTAL			\$ 174,000
IVA (19%)			\$ 33,060
VALOR TOTAL			\$ 207,060

2. CONDICIONES DE VENTA

- Tiempo de Entrega 15 DIAS
- Validez de la oferta 5 días

Cordialmente,

ANDRES LOZANO
Ing. Mecánico

ANEXO 6.SWA Lab.Químico

	LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS	LAB-P-0002-FE
	COTIZACIÓN SERVICIOS	Versión: 8
		Aprobado: 2022-03-07

COT 22-001

Mosquera, Cundinamarca, 6 de junio de 2022

Señores:

CAMILO FONSECA BALLESTEROS
 Abn. Gr. (a) (Ita) Camilo Fonseca Ballesteros
 Bogotá D.C.

Reciba un cordial saludo por parte del Laboratorio de Ensayos Mecánicos y Químicos de Soldaduras West Arco S.A.S.

Agradecemos su confianza en nuestros servicios. Luego de la revisión inicial, informamos a usted(es) que nuestro Laboratorio se encuentra en la capacidad de realizar los ensayos y/o servicios solicitados bajo las siguientes condiciones técnico – comerciales:

Descripción del servicio	Norma / Código	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Disponibilidad equipos y personal para tratamiento fisicoquímico de fibras	Sin norma (ver notas)	1	\$ 378,000	\$ 378,000
VALOR DEL SERVICIO (antes de IVA)			3	378,000
IVA DEL SERVICIO (19%)			3	71,820
VALOR DEL SERVICIO (IVA INCLUIDO)			3	449,820

NOTA 1: Para mayor información sobre esta oferta y para resolver cualquier inquietud relacionada con el servicio contratado, comuníquese con el Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial.

NOTA 2: La información obtenida o creada como resultado de los ensayos es confidencial, solo se enviará a un tercero con autorización del contratante.

TIEMPO DE ENTREGA ESTIMADO		
Cantidad de muestras:	No aplica	Tiempo de entrega estimado:
		No aplica
Días Hábiles (Lunes a Viernes)		

Aplica a partir del día en que se reciben las muestras, se completa la información Mercaladministrativa correspondiente (orden de compra o servicio, información de muestras, probetas en nuestras instalaciones) y se tenga registrado el pago de cada servicio / disponibilidad de cupo de crédito en las instalaciones de Soldaduras West Arco. El tiempo de servicio formal será confirmado por escrito.

CONDICIONES COMERCIALES:	CONDICIONES TÉCNICAS:
Condición de pago: Anticipado	Las muestras deberán ser entregadas en nuestras instalaciones, por favor solicitar instrucciones para recepción de probetas al Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial
Descuento en ensayos autorizado: 0 %	
Asesor Comercial asignado: Soporte Técnico en Campo	Las muestras deberán acompañarse por un documento que indique los datos de ensayo aplicables (espesores nominales, diámetros nominales, especificación del metal base, coladas, identificación de cada muestra, entre otros.)
Oferta válida hasta el: 15 de junio de 2022	Horario recepción de muestras: L - V de 7:30 a 3:45 p.m.
Soldaduras West Arco S.A.S. es:	El valor del ensayo aplica sobre muestras preparadas y conformes con la geometría y características especificadas.
1. Régimen común	
2. Automatizador según RES. 10180 del 21 de noviembre de 2008	
3. Gran contribuyente. responsable de IVA	
4. Agentes de Retención Impuesto sobre Ventas RES. 0007584 de marzo 11 de 2009	
5. Actividad Económica ICA 103 CIU 2(11)	
Para pagos favor realizar consignación o transferencia electrónica a la cuenta de ahorros Bancolombia No. 03141803823 Convenio 32218 a nombre de Soldaduras West Arco S.A.S., además por favor colocar como referencia / consignante el N.I.T. de la compañía o identificación de la persona a la cual se emitirá la factura de servicio	Todos los servicios se prestan con soporte y alcance que el Laboratorio de Ensayos Mecánicos o el Laboratorio de Ensayos Químicos tiene establecido para el ensayo aplicable. Para mayor información sobre verificación / soporte de ensayo por favor comunicarse con el Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial.
* Conforme a la ley vigente nuestra compañía ha implementado el proceso de facturación electrónica, se solicitará su confirmación de correo electrónico para radicación de factura y los adjuntos / anexos requeridos para la aceptación de la misma una vez sea prestado el servicio.	* Los testigos de ensayo, una vez sea prestado el servicio, se conservarán durante treinta (30) días calendario a partir de la fecha de emisión de informe. Si pasados los días de conservación indicados no se ha hecho solicitud escrita de devolución de los mismos, se procederá a su desecho.
Los valores anteriormente relacionados ya tienen aplicado el descuento autorizado. El descuento aplica solamente para el servicio de ensayos mecánicos y/o químicos.	Las muestras deberán ser entregadas con identificación unívoca y realizada preferentemente de manera indeleble.

	LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS	
	COTIZACIÓN SERVICIOS	LAB-P-0002-FS
		Versión: 8
		Aprobado: 2022-03-07


<p align="center">CONDICIONES y/o ANOTACIONES ESPECÍFICAS A LA OFERTA</p> <p>* Las muestras deberán venir certificadas uniformemente y, de preferencia, en medio indeleble.</p> <p>* Las muestras deberán ser acompañadas por un ofido rentario que indique datos de contacto (nombre empresa, nombre persona contacto, dirección, teléfono, ciudad), datos de muestra (tipo y cantidad de ensayo requerido, identificación de la muestra, espesor nominal, diámetro nominal, especificación y grado de metal base) y datos de informe (copias, títulos, estampas adicionales, etcétera).</p> <p>* La cotización se hace con base en las condiciones que el Cliente requiere y con la autorización de la Dirección del Laboratorio.</p>
--

Agradecemos su atención, quedamos atentos a sus comentarios e inquietudes.

Cordialmente,

Juan Manuel Penagos Martínez
 Asesor Técnico Comercial
 Calle 2 # 10-40 Parque Industrial San Jorge – Manz. P-2 Lote 11 al 14, Mosquera – Cundinamarca (Colombia)
 PBX + 57 301 354 1006
 laboratorio@west.com.co
 Soldadura West Arco S.A.S.

ANEXO 7.SWA Lab.Mecánico

	LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS	LAB.P.0002.F6
	COTIZACIÓN SERVICIOS	Versión: 8
		Aprobado: 2022-03-07

COT 22-084

Mosquera, Cundinamarca, 24 de mayo de 2022

Señores:
CAMILO FONSECA BALLESTEROS
 Atn. Sr. (s) (Ra) Camilo Fonseca Ballesteros
 Bogotá D.C.

Reciba un cordial saludo por parte del Laboratorio de Ensayos Mecánicos y Químicos de Soldaduras West Arco S.A.S.

Agradecemos su confianza en nuestros servicios. Luego de la revisión inicial, informamos a usted(es) que nuestro Laboratorio se encuentra en la capacidad de realizar los ensayos y/o servicios solicitados bajo las siguientes condiciones técnico – comerciales:

Descripción del servicio	Norma / Código	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
Ensayo de tracción al material base	Sin norma (ver notas)	1	\$ 203,000	\$ 203,000
VALOR DEL SERVICIO (antes de IVA)			\$	203,000
IVA DEL SERVICIO (19%)			\$	38,570
VALOR DEL SERVICIO (IVA INCLUIDO)			\$	241,570

NOTA 1: Para mayor información sobre esta oferta y para resolver cualquier inquietud relacionada con el servicio contratado, comuníquese con el Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial


NOTA 2: La información obtenida o creada como resultado de los ensayos es confidencial, solo se enviará a un tercero con autorización del contratante

TIEMPO DE ENTREGA ESTIMADO			
Cantidad de muestras:	A convenir	Tiempo de entrega estimado:	A convenir
Días Hábiles (Lunes a Viernes)			
Aplica a partir del día en que se reciben las muestras, se completa la información técnico-administrativa correspondiente (orden de compra o servicio, información de muestras, probetas en nuestras instalaciones) y se tenga registrado el pago de cada servicio / disponibilidad de cupo de crédito en las instalaciones de Soldaduras West Arco. El tiempo de servicio formal será confirmado por escrito.			

CONDICIONES COMERCIALES:	CONDICIONES TÉCNICAS:
Condición de pago: Anticipado	Las muestras deberán ser entregadas en nuestras instalaciones, por favor solicitar instrucciones para recepción de probetas al Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial
Descuento en ensayos autorizados: 0 %	
Asesor Comercial asignado: Soporte Técnico en Campo	Las muestras deberán acompañarse por un documento que indique los datos de ensayo aplicables (espesores nominales, diámetros nominales, especificación del metal base, cotadas, identificación de cada muestra, entre otros.)
Oferta válida hasta el: 15 de junio de 2022	
Soldaduras West Arco S.A.S. es:	Horario recepción de muestras: L - V de 7:30 a 3:45 p.m.
1. Régimen común	El valor del ensayo aplica sobre muestras preparadas y conformes con la geometría y características especificadas.
2. Automatenedor según RES. 10188 del 21 de noviembre de 2008	
3. Gran contribuyente, responsable de IVA	Todos los servicios se prestan con soporte y alcance que el Laboratorio de Ensayos Mecánicos o el Laboratorio de Ensayos Químicos tiene establecido para el ensayo aplicable. Para mayor información sobre verificación / soporte de ensayo por favor comunicarse con el Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial.
4. Agentes de Retención Impuesto sobre Ventas REG. 0002584 de marzo 11 de 2009	
5. Actividad Económica ICA 103 CIUJ 2410	* Los testigos de ensayo, una vez sea prestado el servicio, se conservarán durante treinta (30) días calendario a partir de la fecha de emisión de informe. Si pasados los días de conservación indicados no se ha hecho solicitud escrita de devolución de los mismos, se procederá a su desecho.
Para pagos favor realizar consignación o transferencia electrónica a la cuenta de ahorros Bancolombia No. 03141803823 Convenio 32218 a nombre de Soldaduras West Arco S.A.S., además por favor colocar como referencia / consignante el N.I.T. de la compañía o identificación de la persona a la cual se emitirá la factura de servicio	
* Conforme a la ley vigente nuestra compañía ha implementado el proceso de facturación electrónica, se solicitará su confirmación de correo electrónico para radicación de factura y los adjuntos / anexos requeridos para la aceptación de la misma una vez sea prestado el servicio.	Las muestras deberán ser entregadas con identificación única y realizada preferentemente de manera indeleble.
Los valores anteriormente relacionados ya tienen aplicado el descuento autorizado. El descuento aplica solamente para el servicio de ensayos mecánicos y/o químicos.	

Emitted and revised by:
 Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial

Página 1 de 2

	LABORATORIO DE ENSAYOS MECÁNICOS Y QUÍMICOS	
	COTIZACIÓN SERVICIOS	LAB-P-0002-FS
		Versión: 3 Aprobado: 2022-03-07

CONDICIONES y/o ANOTACIONES ESPECÍFICAS A LA OFERTA

* Las muestras deberán venir identificadas únicamente y, de preferencia, en medio indeleble.

* Las muestras deberán ser acompañadas por un oficio remitente que indique datos de contacto (nombre empresa, nombre persona contacto, dirección, teléfono, ciudad), datos de muestra (tipo y cantidad de ensayo requerido, identificación de la muestra, espesor nominal, diámetro nominal, especificación y grado de metal base) y datos de informe (coladas, rótulos, sellos adicionales, etcólera).

* Si se ha revisado el método de ensayo referido por el Cliente, encontrando que con la capacidad instalada / ofertada no se hace cubrimiento total del mismo. Debido a la revisión ejecutada, el ensayo se oferta únicamente realizado fuera de norma y reportando únicamente carga / esfuerzo máximo obtenido con los medios actualmente dispuestos por el Laboratorio. Favor verificar conformidad contra especificación de producto / requerimientos de proyecto.

Agradecemos su atención, quedamos atentos a sus comentarios e inquietudes.

Cordialmente,

Juan Manuel Penagos Martínez
 Asesor Técnico Comercial
 Calle 2 # 16-43 Parque Industrial San Jorge – Manz. P-2 Lotes 11 al 14, Mosquera – Cundinamarca (Colombia)
 PBX + 57 601 864 1000
 laboratorio@esab.com.co
 Solidaridad West Arco S.A.S.

Emiúdo y revisado por:
 Ingeniero Técnico Comercial END y/o Asesor Técnico Comercial

Página 2 de 2

ANEXO 8. Cálculo soporte 3 puntos

$$R = ZL^2/6d \quad (1)$$

Velocidad de ensayo			
	mm	Eq1	,+10%
R	?	1,365333	1,2288
L	51,2		
d	3,2		
Z	0,01		

where:

R = rate of crosshead motion, mm (in.)/min,
 L = support span, mm (in.),
 d = depth of beam, mm (in.), and
 Z = rate of straining of the outer fiber, mm/mm/min (in./in./min). Z shall be equal to 0.01.

$$D = rL^2/6d \quad (2)$$

Deflección del punzón			
	mm	Eq2	,+10%
D	?	6,826667	6,144
r	0,05		
L	51,2		
d	3,2		

where:

D = midspan deflection, mm (in.),
 r = strain, mm/mm (in./in.),
 L = support span, mm (in.), and
 d = depth of beam, mm (in.).

ANEXO 9. Tratamiento Químico a las fibras de coco

TRATAMIENTO QUIMICO (SODA CAUSTICA Y AGUA DESMINERALIZADA)

Con el fin de disponer de la fibra de coco en las mejores condiciones se realiza tratamiento químico a los 48 gramos de fibra necesarios para elaborar las probetas a tracción y flexión.

Hidróxido de Sodio (NaOH)

$$\rho_{NaOH} = 2,13 \text{ g/cm}^3$$

$$V_{solución} = 800 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{agua} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Concentración de hidróxido de sodio en fracción de masa} = M_{NaOH} = 0,02$$

- se utiliza "la regla de las mezclas" para calcular la fracción de soluto y solvente:

$$V_{NaOH} = \frac{M_{NaOH} \times \rho_{NaOH}}{M_{NaOH} \times \rho_{NaOH} + (1 - M_{NaOH}) \rho_{agua}}$$

Se reemplazan los datos

$$V_{NaOH} = \frac{0,02 \times 2,13 \text{ g/cm}^3}{0,02 \times 2,13 \text{ g/cm}^3 + (1-0,02)1 \text{ g/cm}^3} = 0,0416 \text{ en fracción volumétrica}$$

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

- Calcular volumen (*NaOH*)

$$V_{NaOH} = 0,0416 \times 800 \text{ cm}^3 = 33,32 \text{ cm}^3$$

$$m_{NaOH} = \rho_{NaOH} \times V_{NaOH} = \frac{g}{\text{cm}^3}$$

$$m_{NaOH} = 2,13 \text{ g/cm}^3 * 33,32 \text{ cm}^3 = 70 \text{ gramos}$$

- Calcular volumen (*agua*)

$$V_{agua} = (1 - 0,03332) \times 800 \text{ cm}^3 = 766,72 \text{ cm}^3$$

- Calcular masa de agua

$$m_{agua} = 1 \text{ g/cm}^3 * 766,72 \text{ cm}^3 = 766,72 \text{ gramos}$$

- **Calcular masa total de la solución**

$$m_{TOTAL \text{ solución}} = m_{agua} + m_{NaOH}$$

$$m_{TOTAL \text{ solución}} = 766,72 \text{ gramos} + 70 \text{ gramos} = 837,69 \text{ gramos}$$

Se va utilizar la relación 1:25

Por cada 25 gramos de solución será equivalente a 1 gramo de fibra

- Calcular la masa de fibras que se pueden atacar bajo esta fracción volumétrica

$$m_{fibras} = m_{TOTAL \text{ solución}} * \frac{1 \text{ g fibra}}{25 \text{ g solución}}$$

$$m_{fibras} = 837,69 \text{ gramos} * \frac{1 \text{ g fibra}}{25 \text{ g solución}}$$

$$m_{fibras} = 33,5 \text{ gramos}$$

NOTA *El requerimiento para elaborar las probetas son 48g de fibra de coco, por lo cual se realizará 2 esta preparación para obtener un total de 67gramos*

PROCEDIMIENTO

1. Medir los 70 gramos de soda caustica en la balanza analítica



2. Llenar el vaso de precipitado con los $766,72\text{cm}^3$ de agua destilada, posteriormente adicionar los 70 gramos de soda caustica y utilizar el agitador del laboratorio para que la mezcla quede lo más uniforme



3. medir la cantidad fibra 33,5 gramos en la balanza analítica



4. Adicionar las fibras a la preparación



5.Dejar la solución en reposo 2 horas y retirar las fibras, posteriormente lavar con abundante agua desmineralizada.

6.Dejar sumergidas las fibras 24 horas en agua desmineraliza y luego retirarlas.

7.finalmente lavar con abundante agua y secar en el horno en la temperatura más baja durante 24 horas.

