



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“EFECTO DE LA SECUENCIA DE APILAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TERMOMECAÑICAS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO MECÁNICO (MDA) DEL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRAS NATURAL (CHAMBIRA) Y SINTÉTICA.”

Autor: Dennis Patricio Salazar Garcés

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

Ambato - Ecuador

Marzo - 2023

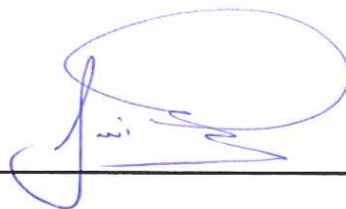
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“EFECTO DE LA SECUENCIA DE APILAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TERMOMECAÑICAS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO MECÁNICO (MDA) DEL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRAS NATURAL (CHAMBIRA) Y SINTÉTICA”**, elaborado por el Sr. Dennis Patricio Salazar Garcés, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804855920, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, marzo 2023



Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Dennis Patricio Salazar Garcés** con C.I. 1804855920, declaro que las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“EFECTO DE LA SECUENCIA DE APILAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TERMOMECAÑICAS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO MECÁNICO (MDA) DEL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRAS NATURAL (CHAMBIRA) Y SINTÉTICA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad, como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, marzo 2023



Dennis Patricio Salazar Garcés

C.I. 1804855920

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

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

Ambato, marzo 2023



Dennis Patricio Salazar Garcés

C.I. 1804855920

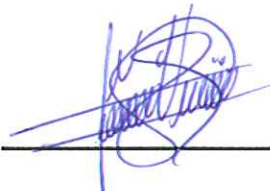
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Dennis Patricio Salazar Garcés de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo El tema: **“EFECTO DE LA SECUENCIA DE APILAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TERMOMECAÑICAS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO MECÁNICO (MDA) DEL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRAS NATURAL (CHAMBIRA) Y SINTÉTICA”**.

Ambato, marzo 2023

Para constancia firman:



Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

A mis padres Patricio y Alexandra, quienes, con su infinito amor y apoyo incondicional, me acompañaron a cada paso durante este proceso.

A mis hermanos, Isaac y Camila, que son mi fuente de motivación y sin los cuales nada de esto sería posible.

A toda mi familia y personas que formaron parte de este increíble viaje e hicieron posible alcanzar esta meta.

Dennis Patricio.

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien, siempre alimentó mi espíritu y me dio las fuerzas para llegar a este momento tan especial en mi vida.

A mis padres Patricio y Alexandra, que han sido mi motor para poder alcanzar todos los objetivos que me he planteado.

A mis tías y abuelitos, que estuvieron día a día estuvieron presentes apoyándome de distintas maneras y dándome consejo para seguir adelante.

A la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMABTO, por abrirme sus puertas y permitirme formar parte. A los docentes y compañeros que formaron parte durante estos años.

Al Ing. Juan Paredes, por depositar su confianza en mí y por la ayuda brindada para poder terminar mis estudios con éxito.

Dennis Patricio.

ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I	xvii
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Tema	1
1.2. Antecedentes investigativos	1
1.3. Objetivos	4
1.3.1. Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos específicos	4
1.4. Fundamentación teórica	4
1.4.1. Materiales compuestos	4
1.4.2. Clasificación de los materiales compuestos	5
1.4.3. Componentes de los materiales compuestos	6
1.4.4. Ensayos para el análisis de la caracterización del material compuesto	15
CAPÍTULO II	24
2. METODOLOGÍA	24
2.1. Diagrama de flujo del trabajo experimental	24
2.2. Materiales	26
2.3. Métodos	27
2.3.1. Nivel o tipo de investigación	27
2.4. Población y muestra	29
2.4.1. Población	29
2.4.2. Muestra	29
2.5. Hipótesis	31

2.6.	Señalamiento de variables.....	31
2.6.1.	Variable independiente	31
2.6.2.	Variable dependiente.....	31
2.6.3.	Término de relación	31
2.7.	Operacionalización de variables	32
2.7.1.	Variable independiente: Materiales compuestos.....	32
2.7.2.	Variable dependiente: Propiedades del material compuesto.....	33
2.8.	Procedimiento para la elaboración de los compuestos.....	34
2.8.1.	Adquisición de materiales	34
2.8.2.	Codificación del nuevo material compuesto	34
2.8.3.	Distribución de las probetas de tracción, flexión e impacto.	35
2.8.4.	Determinación de las propiedades físicas de la fibra	36
2.8.5.	Determinación de la cantidad de matriz en función del peso de la fibra.....	39
2.8.6.	Elaboración de probetas	40
2.9.	Parámetros para el ensayo de materiales.....	45
2.9.1.	Ensayo de tracción	45
2.9.2.	Ensayo de flexión.....	47
2.9.3.	Ensayo de impacto	48
2.9.4.	Análisis Dinámico Mecánico DMA.....	49
CAPÍTULO III.....		51
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1.	Interpretación y tabulación de los resultados	51
3.1.1.	Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción.....	51
3.1.2.	Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a flexión	79
3.1.3.	Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a impacto.....	107
3.1.4.	Fichas de recolección de datos de probetas DMA	135
3.2.	Análisis y discusión de resultados	163
3.2.1.	Análisis resultados a tracción.....	167
3.2.2.	Análisis resultados a flexión	168
3.2.3.	Análisis resultados a impacto.....	171
3.2.4.	Análisis dinámico mecánico	172
3.3.	Módulo de Elasticidad Tracción vs Análisis Dinámico Mecánico DMA.....	174
CAPÍTULO IV.....		182

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	182
4.1. Conclusiones.....	182
4.2. Recomendaciones	184
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	185

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Densidad lineal y volumétrica de la fibra de chambira.....	11
Tabla 1.2: Propiedades mecánica de algunas fibras naturales incluyendo chambira.	12
Tabla 1.3: Características de las matrices termoestables	15
Tabla 1.4: Términos viscoelásticos.....	22
Tabla 2.1: Materiales empleados en la fabricación de los materiales compuestos	27
Tabla 2.2: Tipos de factores de entrada y propiedades	30
Tabla 2.3: Casos de secuencia de laminados a realizar.....	31
Tabla 2.4: Variable independiente	32
Tabla 2.5: Variable dependiente	33
Tabla 2.6: Codificación de las probetas	35
Tabla 2.7: Cálculo de la densidad de la fibra natural.....	37
Tabla 2.8: Cálculo de la densidad de la fibra de vidrio.....	37
Tabla 2.9: Cálculo de la densidad de la fibra de carbono	38
Tabla 2.10: Cálculo de la densidad de la fibra de kevlar	38
Tabla 2.11: Cálculo cantidad de matriz necesarias para los nuevos materiales.....	40
Tabla 2.12: Procedimiento	45
Tabla 3.1: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 1	52
Tabla 3.2: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 2	54
Tabla 3.3: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 3	56
Tabla 3.4: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 4	58
Tabla 3.5: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 5	60
Tabla 3.6: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 6	62
Tabla 3.7: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 7	64
Tabla 3.8: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 8	66
Tabla 3.9: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 9	68
Tabla 3.10: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 10	70
Tabla 3.11: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 11	72
Tabla 3.12: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 12	74
Tabla 3.13: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 13	76
Tabla 3.14: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 14	78
Tabla 3.15: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 1	80
Tabla 3.16: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 2	82

Tabla 3.17: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 3	84
Tabla 3.18: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 4	86
Tabla 3.19: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 5	88
Tabla 3.20: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 6	90
Tabla 3.21: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 7	92
Tabla 3.22: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 8	94
Tabla 3.23: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 9	96
Tabla 3.24: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 10	98
Tabla 3.25: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 11	100
Tabla 3.26: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 12	102
Tabla 3.27: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 13	104
Tabla 3.28: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 14	106
Tabla 3.29: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 1	108
Tabla 3.30: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 2	110
Tabla 3.31: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 3	112
Tabla 3.32: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 4	114
Tabla 3.33: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 5	116
Tabla 3.34: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 6	118
Tabla 3.35: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 7	120
Tabla 3.36: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 8	122
Tabla 3.37: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 9	124
Tabla 3.38: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 10	126
Tabla 3.39: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 11	128
Tabla 3.40: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 12	130
Tabla 3.41: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 13	132
Tabla 3.42: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 14	134
Tabla 3.43: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 1	136
Tabla 3.44: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 2	138
Tabla 3.45: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 3	140
Tabla 3.46: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 4	142
Tabla 3.47: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 5	144
Tabla 3.48: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 6	146
Tabla 3.49: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 7	148

Tabla 3.50: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 8	150
Tabla 3.51: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 9	152
Tabla 3.52: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 10	154
Tabla 3.53: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 11	156
Tabla 3.54: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 12	158
Tabla 3.55: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 13	160
Tabla 3.56: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 14	162
Tabla 3.57: Tabulación de resultados de ensayos	166
Tabla 3.58 Propiedades mecánicas vs DMA caso 1	174
Tabla 3.59 Propiedades mecánicas vs DMA caso 2	175
Tabla 3.60 Propiedades mecánicas vs DMA caso 3	175
Tabla 3.61 Propiedades mecánicas vs DMA caso 4	176
Tabla 3.62 Propiedades mecánicas vs DMA caso 5	176
Tabla 3.63 Propiedades mecánicas vs DMA caso 6	177
Tabla 3.64 Propiedades mecánicas vs DMA caso 7	177
Tabla 3.65 Propiedades mecánicas vs DMA caso 8	178
Tabla 3.66 Propiedades mecánicas vs DMA caso 9	178
Tabla 3.67 Propiedades mecánicas vs DMA caso 10	179
Tabla 3.68 Propiedades mecánicas vs DMA caso 11	179
Tabla 3.69 Propiedades mecánicas vs DMA caso 12	180
Tabla 3.70 Propiedades mecánicas vs DMA caso 13	180
Tabla 3.71 Propiedades mecánicas vs DMA caso 14	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Representación de un material compuesto	5
Figura 1.2: Clasificación de los materiales compuestos	6
Figura 1.3: Tipos de refuerzo más comunes	7
Figura 1.4: Clasificación de las fibras naturales	8
Figura 1.5: Fibras de chambira.....	9
Figura 1.6: Tejido de chambira	10
Figura 1.8 Urdimbre y trama.....	10
Figura 1.7 Urdimbre y trama.....	10
Figura 1.9 Propiedades mecánicas de la fibra de chambira	11
Figura 1.10 Estructura molecular polímero termoestable	13
Figura 1.11 Estructura molecular polímero termoplástico.....	13
Figura 1.12 Fórmula estructural aromática de la resina base.....	14
Figura 1.13 Máquina universal de ensayos y probeta de tracción	17
Figura 1.14 Ensayo de flexión y deflexión de un material	17
Figura 15 Máquina tipo caída de masas de Impacto	18
Figura 1.16 Termograma DMA resultante.....	19
Figura 1.17 Relación entre deformación (ϵ) y esfuerzo (σ), con un ángulo de desface (δ)	20
Figura 1.18 Relación entre ángulo de desface y comportamientos elásticos y viscoelásticos.....	20
Figura 1.19 Relación entre módulo real, imaginario y complejo.....	21
Figura 1.20 Formas para calcular Tg	23
Figura 2.1 Diagrama de flujo del trabajo experimental	25
Figura 2.2 Trenzas de fibra de Chambira sin procesar.....	34
Figura 2.3: Distribución de probetas para corte laser	36
Figura 2. 4 Máquina universal de ensayos WAW600B	45
Figura 2. 5 Ensayo a flexión	47
Figura 2. 6 Ensayo a flexión	49
Figura 2. 7 Análisis dinámico mecánico	50
Figura 3. 1 Esfuerzo máximo a tracción por cada caso.....	167
Figura 3. 2 Módulo de elasticidad por cada caso	168

Figura 3. 3 Esfuerzo máximo a flexión por cada caso	168
Figura 3. 4 Módulo elástico por cada caso.....	169
Figura 3. 5 Deflexión por cada caso.....	170
Figura 3. 6 Energía de fallo por cada caso	171
Figura 3. 7 Módulo de almacenamiento por cada caso	172
Figura 3. 8 Módulo de pérdida por cada caso	173
Figura 3. 9 Módulo global por cada caso	173
Figura 3. 10 Tg (°C) por cada caso	174
Figura 3.11 Propiedades mecánicas vs DMA caso 1	175
Figura 3.12 Propiedades mecánicas vs DMA caso 2	175
Figura 3.13 Propiedades mecánicas vs DMA caso 3	176
Figura 3.14 Propiedades mecánicas vs DMA caso 4	176
Figura 3.15 Propiedades mecánicas vs DMA caso 5	177
Figura 3.16 Propiedades mecánicas vs DMA caso 6	177
Figura 3.17 Propiedades mecánicas vs DMA caso 7	178
Figura 3.18 Propiedades mecánicas vs DMA caso 8	178
Figura 3.19 Propiedades mecánicas vs DMA caso 9	179
Figura 3.20 Propiedades mecánicas vs DMA caso 10	179
Figura 3.21 Propiedades mecánicas vs DMA caso 11	180
Figura 3.22 Propiedades mecánicas vs DMA caso 12	180
Figura 3.23 Propiedades mecánicas vs DMA caso 13	181
Figura 3.24 Propiedades mecánicas vs DMA caso 14	181

RESUMEN

En este proyecto se detalla el efecto de la secuencia de apilamiento referente a las propiedades termomecánicas y mecánicas del composite a base de fibra natural (chambira) reforzado con fibra sintética (vidrio, carbono y kevlar) y resina epoxi. Los laminados compuestos fueron fibra de chambira pura/epoxi, fibra sintética pura/epoxi e híbrido fibra de chambira/sintética/epoxi; mismos que fueron moldeados mediante proceso de infusión y sometidos a un curado y finalmente a corte laser CO2.

Se realizó un estadístico descriptivo, ya que por la asimetría de los casos únicamente es posible analizar la incidencia de la secuencia de apilamiento sobre las propiedades mecánicas y termomecánicas mediante DMA de los compuestos.

Una vez completados los ensayos y tabulados los resultados, mediante fichas y gráficos, se pudo observar que existe una notoria ventaja del compuesto puro de fibra de carbono, ya que supera ampliamente al resto de compuestos en todos los ensayos. Para los compuestos híbridos se observó que no existe un marcado dominio ya que unos compuestos se comportan mejor que otros dependiendo de las pruebas a las que hayan sido sometidos. Respecto a la temperatura de transición vítrea se pudo corroborar con lo indicado por el fabricante en la ficha técnica, donde menciona que la temperatura a la cual la resina epoxi se cristaliza es de 91 grados centígrados y en los resultados del análisis dinámico mecánico realizado se obtuvieron valores que siempre oscilaron los 90 grados centígrados.

Palabras Claves: Transición Vitrea, Termomecánicas, Fibra de Chambira, Fibras sintéticas, DMA, Tracción, Flexión

ABSTRACT

This project details the effect of the stacking sequence regarding the thermomechanical and mechanical properties of the composite based on natural fiber (chambira) reinforced with synthetic fiber (glass, carbon and kevlar) and epoxy resin. The composite laminates were pure chambira fiber/epoxy, pure synthetic fiber/epoxy, and hybrid chambira fiber/synthetic/epoxy; They were molded by infusion process and subjected to curing and finally CO2 laser cutting.

A descriptive statistic was performed, since due to the asymmetry of the cases it is only possible to analyze the incidence of the stacking sequence on the mechanical and thermomechanical properties by means of DMA of the compounds.

Once the tests were completed and the results tabulated, using records and graphs, it was possible to observe that there is a clear advantage of the pure carbon fiber composite, since it far exceeds the rest of the compounds in all the tests. For the hybrid compounds, it was observed that there is no marked domain since some compounds behave better than others depending on the tests to which they have been subjected. Regarding the glass transition temperature, it could be corroborated with what is indicated by the manufacturer in the technical data sheet, where it mentions that the temperature at which the epoxy resin crystallizes is 91 degrees Celsius and in the results of the mechanical dynamic analysis carried out, values were obtained. which always hovered around 90 degrees Celsius.

Keywords: Glass transition, Thermomechanics, Chambira fiber, Synthetic fibers, DMA, Traction, Flexion

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Tema

“EFECTO DE LA SECUENCIA DE APILAMIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y TERMOMECAÑICAS MEDIANTE ANÁLISIS DINÁMICO MECÁNICO (MDA) DEL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRAS NATURAL (CHAMBIRA) Y SINTÉTICA”

1.2. Antecedentes investigativos

Para el desarrollo del trabajo investigativo a continuación es necesario recurrir a investigaciones cuyo enfoque este puesto en el análisis y la caracterización de los materiales compuestos a base de matriz polimérica epoxi a su vez reforzado con fibras naturales, las cuales serán de inmenso aporte antes del desarrollo del trabajo experimental.

En el trabajo de investigación presentado por la editorial Elsevier con tema: “EFFECT OF SATCKING SEQUENCE ON THE PERFORMANCE OF HYBRID NATURAL/SYNTHETIC FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES LAMINATES”, en donde se estudia la influencia de la secuencia de apilamiento sobre las propiedades mecánicas y termomecánicas, encontrando que la cantidad de fibra sintética y el posicionamiento de las fibras tienen un papel sobresaliente. En el caso de las propiedades mecánicas la combinación S7 (5 capas de fibra de 0vidrio y epoxi), presentó las propiedades mecánicas más altas. Los valores obtenidos de la resistencia a la tracción, a la flexión y al impacto fueron 146.3, 167.6, y 188.7% veces mayor que la de la combinación S0 (5 capas de fibra de yute y epoxi), respectivamente. Observando los compuestos híbridos, S6 (fibra de vidrio, yute y epoxi) presentó las propiedades mecánicas más altas, con un 32.8 y un 299.3% más de módulo de tracción y flexión, respectivamente, comparado con S0; y un 21.9 y 131.1% más de módulo de tracción y flexión, respectivamente, que S7.

Del análisis dinámico mecánico DMA, encontró la estabilidad térmica adecuada de los compuestos netamente puros (fibra de vidrio y epoxi) y los laminados compuestos híbridos. El laminado híbrido reveló los valores de módulo de almacenamiento más altos, entre otros, lo que confirma los resultados de la prueba de flexión. Además, el

caso de laminado compuesto híbrido exhibió el mayor efecto de amortiguación entre todos, mientras que la temperatura de transición vítrea T_g ($^{\circ}\text{C}$), no se vio afectado por la secuencia de apilamiento y el tipo de fibra. [1]

De acuerdo con la tesis realizada por el Ingeniero Víctor Gómez, del Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial CIDESI, titulado “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES COMPUESTOS MANUFACTURADOS FUERA DE AUTOCLAVE”, se pudo observar que, existe una marcada tendencia en el módulo de almacenamiento, el cual va disminuyendo, lo que significa que conforme aumenta la temperatura el material se vuelve menos rígido. Independientemente del proceso de manufactura utilizado para la elaboración de las probetas, se observa un comportamiento semejante, un valor alto en el módulo de almacenamiento es un claro indicador que el material es más rígido debido a un mayor entrecruzamiento en las cadenas poliméricas.

Los cambios que se pueden observar en la gráfica de Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) vs Módulo de almacenamiento E (Pa), hacen parte del estudio del comportamiento viscoelástico, en donde la primera sección muestra que una fracción del refuerzo y la matriz no poseen un buen contacto, esto a consecuencia de las cavidades formadas, por lo que al aplicarle temperatura el compuesto se empieza a deformar de una manera acelerada, una segunda parte nos sugiere que existe una relajación térmica en el material compuesto para temperaturas más altas. [2]

Tomando como referencia el trabajo experimental realizado por Carrasco Mauricio de la Universidad Técnica de Ambato de la carrera de Ingeniería Mecánica, titulado: “MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS CON MATRIZ POLIÉSTER Y FIBRA DE CARBONO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN”; en donde se somete a un material a ensayos de tracción y flexión con la finalidad de obtener la información necesaria para determinar las propiedades mecánicas y sus posibles aplicaciones. Una vez realizados los ensayos se obtuvieron valores de deformación, elongación y esfuerzo, los cuales se obtuvieron de una configuración a base de resina poliéster y fibra sintética (carbono) por medio de un proceso de infusión (vacío), y con un valor máximo de resistencia de 356 MPA. [3]

Según William Revelo y Jorge Tapia de la Escuela Politécnica Nacional, en su investigación “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON TEJIDOS DE FIBRA DE CABUYA MEDIANTE INFUSIÓN AL VACÍO” mencionan que se fabricaron probetas basados en las especificaciones detalladas en las normas (ASTM D3093/D3039M – 17) para tracción, y (ASTM D7264/D7264M – 15) para flexión y (ASTM D5628) para los ensayos de impacto. Para la obtención de las probetas se combinaron partes de resina y catalizador junto con configuraciones de refuerzo de tal modo que garantizaron propiedades mecánicas óptimas. Una vez obtenidas las probetas junto con su respectivo curado se realizó su caracterización mediante los ensayos, en donde se pudo observar que el compuesto con refuerzo de fibra natural de 0.438 de fracción volumétrica fue 179.58 % y 146.70% veces menor para los valores de resistencia y módulo respectivamente. En cuanto al ensayo de flexión, el compuesto con tejido de 0.423 de fracción volumétrica se distingue por tener un aumento del 87.65 % en la resistencia y 283.02% en el módulo. Con respecto a los ensayos de impacto, la configuración que tenía un tejido con parte volumétrica de 0.423 y energía media de falla de 0.67 [J], consiguió mejorar en un 891.14%; por último, al emplear el proceso de infusión al vacío se resolvió que ante la ausencia del aire en el sistema se puede incorporar mayor cantidad de refuerzo, ante lo que aumentará la fracción volumétrica de los compuestos y sus propiedades mecánicas. [4]

Por último, en la tesis realizada por Edwin Cunalata y Celso Jiménez de la Escuela Politécnica Nacional, con el tema: “CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE YUTE PRECARGADA MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN”, donde se tiene por finalidad determinar y evaluar cual es la afectación de una precarga sobre las propiedades de un material compuesto a base de matriz polimérica la cual estará reforzada con un tejido de fibra natural como es el Yute. Para realizar este trabajo experimental se diseñó un molde sobre el cual se podía precargar el refuerzo a la vez que se comprimía junto con la matriz durante el proceso de obtención de los compuestos. A, continuación para la obtención de las probetas se recurrió a las normas ASTM D 638-14, ASTM D 790-10 y ASTM D 5420-14, para los ensayos de tracción, flexión e impacto respectivamente. Comparando los resultados obtenidos se pudo evidenciar que, el compuesto reforzado con fibra de yute a una precarga de 9V (9

vueltas del tornillo sinfín para la carga), con fracción volumétrica del 5%, con estireno y 2 semanas de curado fue el compuesto que presentó el mayor valor de resistencia a la tracción con un valor de 35 MPa, la cual representó un incremento del 76 % con respecto al compuesto únicamente con resina poliéster. En cambio, el compuesto reforzado con fibra de yute con una precarga de 6V, mostró el mayor valor de módulo elástico con 1936 MPa, lo cual representa un incremento del 65%. [5]

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar los parámetros para la secuencia de apilamiento del compuesto de matriz epoxi reforzado con fibras naturales (chambira) y sintética.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades mecánicas y termomecánicas mediante el análisis dinámico mecánico (MDA).
- Analizar las propiedades en tensión, flexión, y compresión de un material compuesto.
- Determinar el efecto del análisis de la secuencia de apilamiento a un material compuesto de matriz epoxi con fibra natural y sintética.

1.4. Fundamentación teórica

Continuando con el desarrollo del presente trabajo investigativo, se vio la necesidad de recurrir a información adicional con la estricta finalidad de adentrar en el conocimiento acerca de los materiales compuestos que tengan como refuerzo fibras naturales, del mismo modo buscar información sobre el proceso de obtención de los materiales compuestos, abordando apartados como: infusión al vacío, materiales compuestos, ensayos mecánicos y ensayos termomecánicos, mismos que serán facilitados de tesis, libros, artículos científicos, normas, acompañado de un orden de apartados como se presentan a continuación.

1.4.1. Materiales compuestos

Se define como material compuesto a la combinación macroscópica de más de dos o más materiales distintos, los cuales poseen una interfase discreta y reconocible que los divide. Es por esta razón que son heterogéneos (en todo su volumen, sus propiedades no son las mismas). Existe en la naturaleza materiales compuestos (madera, hueso),

pero gran parte de la combinación de materiales de la actualidad son diseñados, creados y fabricados por el hombre. [6]

El objetivo de diseñar un material compuesto es lograr la combinación de propiedades que no muestra por sí solo ningún material y también incorporar las mejores características de cada uno de los materiales que lo componen. Un gran número de compuestos están representados por diferentes combinaciones de metales, cerámicas, y polímeros.[7]

Un material compuesto se compone de dos partes, el refuerzo y la matriz, las principales ventajas de los materiales compuestos son su alta resistencia y rigidez, las cuales se combinan con una baja densidad, en comparación con la mayoría de materiales, razón por la cual permite reducir el peso de los materiales.

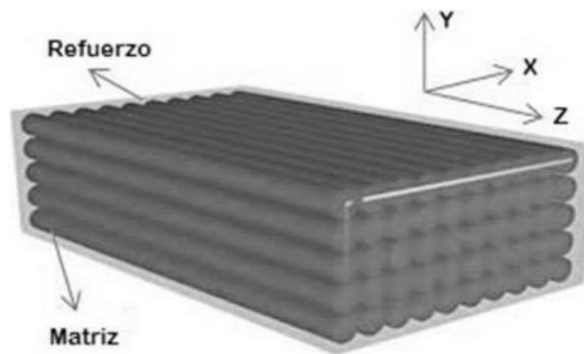


Figura 1.1: Representación de un material compuesto [8].

1.4.2. Clasificación de los materiales compuestos

Debido a que los componentes de los materiales compuesto afectan directamente en las propiedades, es importante estudiar cómo están clasificados, métodos o técnicas de procesamiento y fabricación, y sus distintas propiedades y/o posibilidades de aplicación.

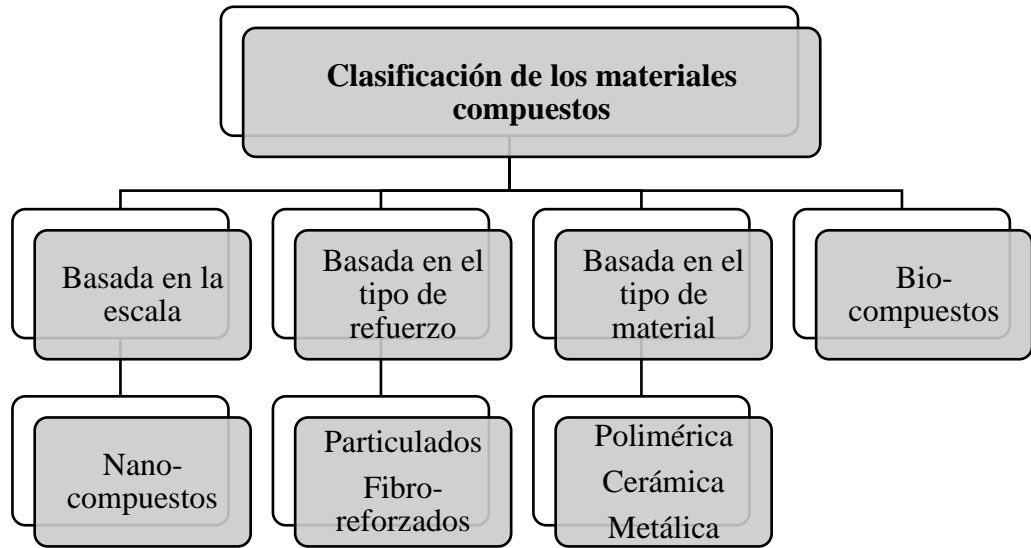


Figura 1.2: Clasificación de los materiales compuestos [9]

Los materiales compuestos más comunes se constituyen de una matriz polimérica tipo resina termoestable (poliéster, fenólica, epoxi o viniléster), reforzada con un material de tipo particulado o fibra. Sin embargo, la matriz puede ser, además de polimérica, de naturaleza metálica o cerámica, con diferentes opciones de materiales particulados o fibras disponibles para su reforzamiento, en función del desempeño o propiedad de interés. En este sentido, dependiendo del tipo de matriz utilizada, los materiales compuestos se clasifican en: compuestos de matriz polimérica (PMC, por sus siglas en inglés polymer matrix composite), compuestos de matriz cerámica (CMC, ceramic matrix composite) o compuestos de matriz metálica (MMC, por sus siglas en inglés metal matrix composite). [9]

1.4.3. Componentes de los materiales compuestos

Un material compuesto está formado por dos fases evidentemente: la fase de refuerzo y la matriz.

1.4.3.1. Refuerzo (fibras)

La fase de refuerzo proporciona la fuerza y rigidez. En la mayoría de los casos, el refuerzo es más duro, más fuerte y más rígido que la matriz. El refuerzo suele ser una fibra o una partícula. Los compuestos de partículas tienen dimensiones que son aproximadamente igual en todas las direcciones, puede ser esféricas, plaquetas, o de cualquier otra geometría regular o irregular. Los compuestos de partículas tienden a ser mucho más débiles y menos rígidos que los compuestos de fibra continua, pero por lo general son mucho menos costosos. Los compuestos reforzados con partículas

generalmente contienen menos refuerzo (hasta 40 a 50 porcentaje de volumen) debido a dificultades de procesamiento y fragilidad.

Los compuestos de fibra continua normalmente tienen una orientación preferida, mientras que las fibras discontinuas generalmente tienen una orientación aleatoria. Ejemplos de refuerzos continuos incluyen orientaciones: unidireccional, tejidos (0° - 90°) y helicoidales, mientras que los ejemplos de refuerzos discontinuos son las fibras cortadas y tejidos aleatoriamente. [10]

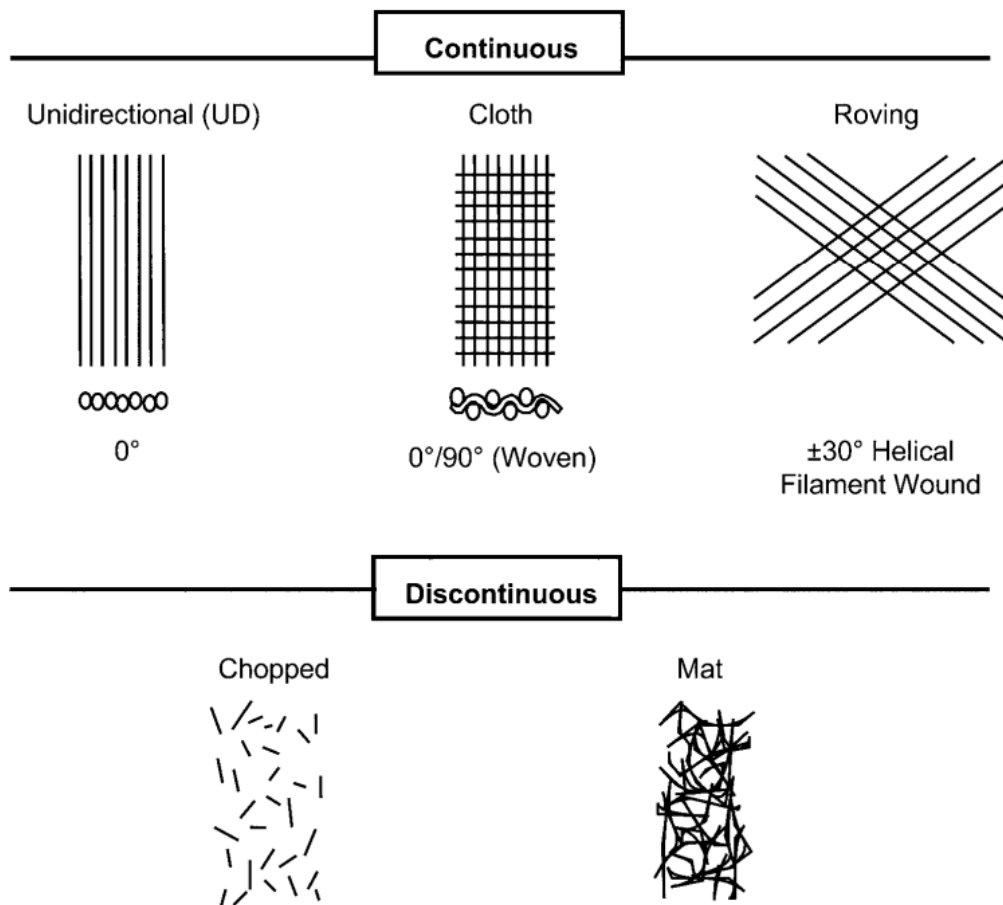


Figura 1.3: Tipos de refuerzo más comunes [10].

1.4.3.1.1. Clasificación de las fibras

Las fibras o refuerzo se pueden clasificar según sea el origen: orgánicas y naturales, o como fibras convencionales.

a) Fibras convencionales

Son las más comunes en la fabricación de los materiales compuestos actuales, entre las fibras más utilizadas se encuentra: las fibras de carbono, las poliméricas y las

inorgánicas, perteneciendo esta categoría las fibras de vidrio, utilizadas en su mayoría por su alta resistencia, coste bajo, rigidez y conductividad eléctrica con relación a otras fibras, lo cual hace de estas fibras la más adecuadas para diversas aplicaciones. [11]

b) Fibras naturales

Las fibras naturales son aquellas que se obtienen a partir de los vegetales, los animales y los minerales. Las fibras vegetales son la principal fuente de explotación gracias a su alta disponibilidad y gran renovabilidad en un corto lapso de tiempo, siendo esta nuestro enfoque principal de estudio, **fibra de chambira**.

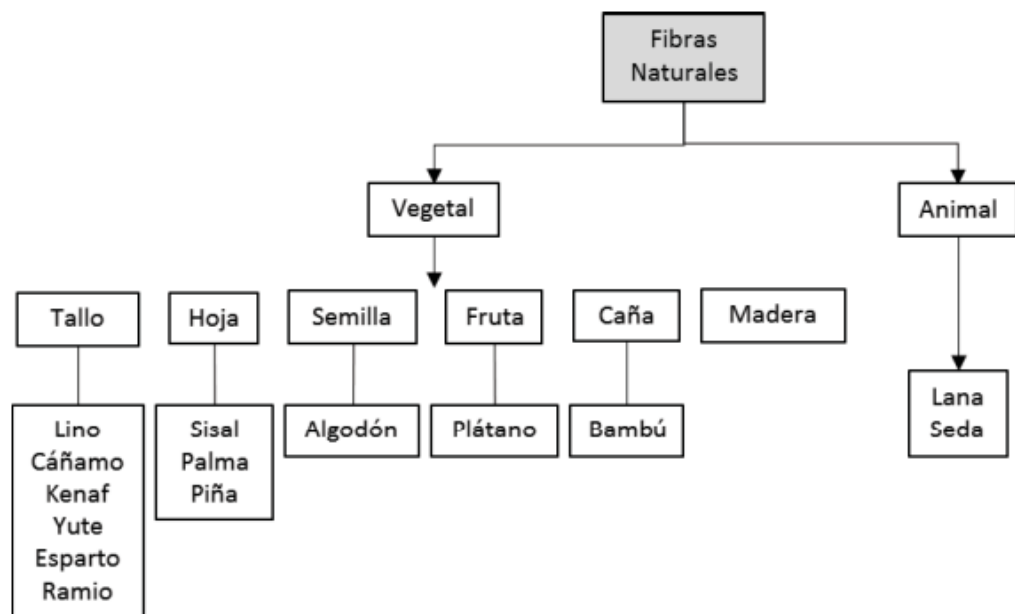


Figura 1.4: Clasificación de las fibras naturales [12].

1.4.3.1.1.1. Fibra de Chambira

Extraída de la *Astrocaryum Chambira* (Arecaceae) popularmente conocido como *Astrocaryum* o *Cumare* dependiendo del lugar de donde se la extraiga, hace parte del grupo de fibras vegetales blandas no vasculares celulósicas, que se obtiene de la palma de Chambira, por lo general de palmeras propias del sitio que están ubicadas en las cuencas de la amazonia intertropical de Sudamérica, donde se pueden hallar diferentes especies de fibra existentes en Brasil, Perú, Colombia, Ecuador, Panamá y Costa Rica. En el Perú se pueden encontrar alrededor 16 especies de *Astrocaryum*. Cuatro de estas se encuentran en la amazonia ecuatoriana, este es el caso de la *Astrocaryum Aculeatum* y la *Astrocaryum Vulgare* que crece en el este amazónico del Perú y son empleados

principalmente en la elaboración de bolsas nativas, mecedoras y redes de pesca. Mientras que en Brasil se halla la fibra del tipo de *Astrocaryum Arenarium* que madura en zonas semiáridas y se utiliza para fabricaciones de cuerda. Por otra parte, en países como Ecuador, Colombia, Costa Rica y Panamá que generalmente poseen bosques húmedos relativamente altos, encuentra la *Astrocaryum Standleyanum* misma que es aprovechada para la elaboración de sombreros, hamacas y bolsas. Asimismo, existe una baja en la importancia sobre la producción y extracción de fibras de especies como es el caso de la *Astrocaryum Jaguaní* y la *Urostachys*. Afortunadamente, no sucede lo mismo con la *Astrocaryum Chambira* ya que es considerada una de las especies más importantes para la producción de fibras vegetales en la región occidental amazónica ecuatoriana donde habitan etnias indígenas como: los Borá, Chacobo, Cofán, Huaorani, Secoya, entre otras; mismas que son las principales etnias que poseen como principal fuente de empleo la domesticación de fibras, redes de pesca, shigras, hamacas tejidas a partir de la fibra [13].



Figura 1.5: Fibras de chambira [Autor].

1.4.3.1.1.2. Producción de fibra de chambira en el Ecuador

Las fibras de chambira se encuentran al interior de las palmas, *Astrocaryum chambira* (chambira) es una especie que juega un papel importante en la vida de los pueblos indígenas, de gran valor económico para estos grupos aborígenes que los utilizan para hacer artesanías haciendo de esta su principal actividad.

La chambira es una de las palmeras que destaca en amazonia, ya que, incluidos sus frutos, es conocida por su fibra, la cual es utilizada tradicionalmente en la fabricación de prendas de vestir, casas (chozas), herramientas y artesanías. Para su uso, se tiñen, hilan y tejen, formando parte del patrimonio vivo de varios pueblos indígenas. De igual forma que otras especies de palmeras, la chambira ha sido explotada en exceso,

perdiendo valor para los nativos amazónicos. Conjuntamente con el declive paulatino de la transmisión de conocimientos entre generaciones.[14]

1.4.3.1.1.3. Tejido de fibra de chambira

El tejido se trata de un proceso de trenzado de múltiples hebras de fibra, procedentes de distintas naturalezas (vegetal, animal o sintéticas) con desplazamiento controlado numéricamente; las hebras se entrelazan de tal manera que forman ángulos que van entre los 10° y 80° , pudiéndose incluir también fibras a 0° . La Figura a continuación muestra un esquema de la distribución de las hebras de fibra [15].



Figura 1.6: Tejido de chambira [Autor].

Cuando se habla de tejidos como refuerzos en un material compuesto, se está hablando generalmente de tejidos que se son básicamente bidimensionales y bidireccionales, siendo estas dos direcciones la de urdimbre y la de trama [15].

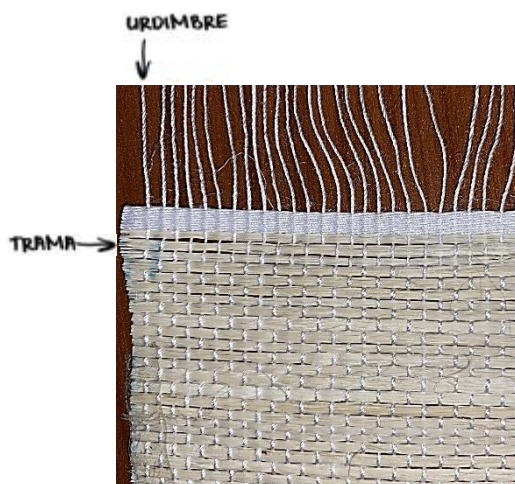


Figura 1.8 Urdimbre y trama [Autor].

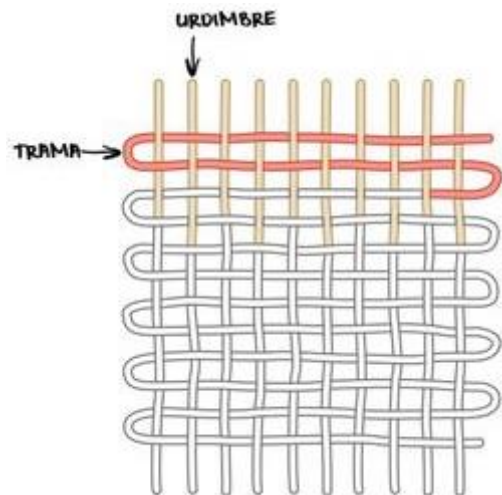


Figura 1.7 Urdimbre y trama [12].

1.4.3.1.1.4. Características físicas

La fibra de chambira se compone esencialmente de fibras de celulosa no vasculares, lo que las hace lo suficientemente flexibles como para ser valiosas para la fabricación

de bolsos y hamacas. El contenido de celulosa es superior a los reportados para otras fibras comerciales. De esta manera, la fibra de chambira se diferencia de la mayoría de las fibras Monocotiledóneas, que están compuestas de tejido vascular con paredes celulares lignificadas [16].

En comparación con otros tipos de fibra de *Astrocaryum* (*Jauari*, *Prengustatum* y *Standleyanum*), la chambira provee fibras de muy buena calidad. Las propiedades mecánicas tales como la densidad, el espesor y la resistencia a la tracción son mejores en la fibra de chambira debido a su alto contenido de celulosa (93.9 %) y su bajo porcentaje de lignina (4.2%), lo cual permite desarrollar una alta resistencia a la tracción [13].

$\rho_v(Kg/m^3)$	$\rho_l(mg/cm)$
1247 ±60	1247±60

Tabla 1.1: Densidad lineal y volumétrica de la fibra de chambira [13]

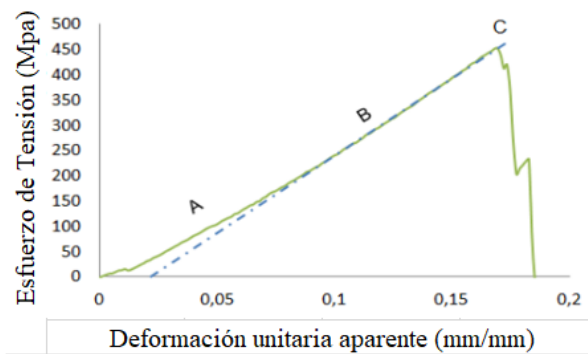


Figura 1.9 Propiedades mecánicas de la fibra de chambira [13]

La figura 10 nos muestra el comportamiento de la deformación vs el esfuerzo de tensión de la fibra de chambira, misma que está comprendida en un rango de 450 – 500 MPa.

Una vez pasado por un proceso de trenzado, las fibras disminuyen su resistencia a la tensión en comparación con las fibras que se encuentran sin hilar, como es el caso del bambú y la cuerda de Cumare. A continuación, se presenta una tabla en donde se indica las propiedades de las fibras naturales incluido la fibra de chambira. [13]

Fibra	ρ (kg/m ³)	Resistencia Tensión (MPa)	Resistencia Tensión específica (MPa*m ³ /kg)	Referencia
E-Glass	2550	2400	0.94	(A.K. Bledzki, 2010)
Lino	1500	600-1000	0.40-0.67	(K. Oksmana, 2003)
Sisal	1320	500-855	0.38-0.65	(T Goswami, 1997)
Jute	1230	187-773	0.15-0.63	(Pickering, 2008) (Flavio de Andrade Silva, 2008)
Cáñamo	1350	580-1100	0.43-0.81	(A.K. Bledzki, 2010)
Algodón	1210	287-597	0.24-0.49	(Nele Defoirdt, 2010)
Henequén	1400	430-580	0.31-0.41	(Pickering, 2008)
Bambú hilado	850	95-119	0.11-0.14	(Pickering, 2008)
Bambú	897	341-503	0.38-0.56	(Porras Holguin, 2009)
Cumare (haz)	1240	422-622	0.34-0.5	(Nele Defoirdt, 2010)
Cumare cuerda	1317	104-150	0.08-0.11	E. presente

Tabla 1.2: Propiedades mecánica de algunas fibras naturales incluyendo chambira [13]

1.4.3.2. La matriz

La fase continua es la matriz, las resinas epoxis son el tipo de matriz más común, la cual es un polímero, se pueden encontrar también matrices de metálicas o cerámicas. Los polímeros tienen baja resistencia y rigidez, los metales tienen resistencia y rigidez, pero alta ductilidad, y las cerámicas tienen alta resistencia y rigidez, pero son frágiles. La matriz realiza varias funciones críticas, entre ellas está su principal función de transmitir las cargas a las que se encuentra sometida las fibras a través de una interfaz, además del mantenimiento de las fibras en la orientación y espaciamiento apropiados, protegiéndolos de la abrasión y del medio ambiente. En compuestos de matriz polimérica y metálica que forman una fuerte unión entre la fibra y la matriz. En los compuestos de matriz cerámica, el objetivo es a menudo aumentar la tenacidad en lugar de la fuerza y la rigidez; por lo tanto, un bajo Es deseable la unión de fuerza interfacial. [10]

Hay que tener en cuenta que el tipo y cantidad de refuerzo que se vaya a emplear en la fabricación del material compuesto va a determinar las propiedades finales del material.

1.4.3.2.1. Los polímeros

Químicamente se puede definir a un polímero como un material formado por la agrupación de grandes moléculas, mismas que están constituidas por una cadena repetitiva de moléculas pequeñas o grupos de átomos simples, unidas unas a otras por enlaces covalentes simples. [17]

1.4.3.2.2. Clasificación de los polímeros

Los polímeros se clasifican dependiendo el comportamiento y capacidad de procesamiento que tiene frente al calor, encontramos dos grupos predominantes:

- Termoestables
- Termoplásticos

Los polímeros termoestables son aquellos que no pueden ser remodelados por efectos de la temperatura, a nivel molecular son polímeros entrecruzados y son resinas de mucha rigidez los cuales cuando se les aplica calor se descomponen químicamente (carbonización). [17]

Las resinas son un tipo de polímero termoestable, el cual se combina con distintos tipos de refuerzos con la finalidad de aumentar las propiedades mecánicas de los compuestos laminados obtenidos.

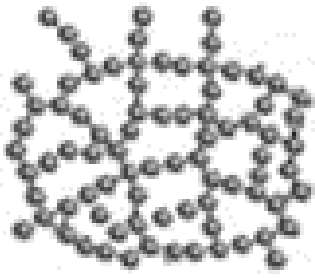


Figura 1.10 Estructura molecular polímero termoestable [18]

Los materiales termoplásticos son polímeros que se encuentran formando estructuras lineales o ramificadas, lo que permite la conducción del calor. Cuando los termoplásticos se calientan a determinadas temperaturas pasan de un estado sólido a líquido, facilitando así su moldeabilidad según nuestros intereses, su uso comercial es mayor y hacen parte de un grupo importante dentro de los polímeros. [17]

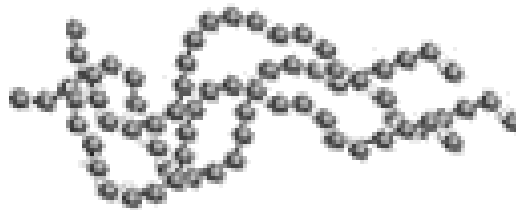


Figura 1.11 Estructura molecular polímero termoplástico [18]

Las resinas tienen un amplio campo de aplicación gracias a su variedad de aplicaciones, en las cuales pueden actuar como matriz o fase continua de un material compuesto. Generalmente las resinas termoestables tienen una buena estabilidad dimensional, estabilidad térmica resistencia química y propiedades eléctricas. [19]

- Resina Poliéster
- Resina Viniléster
- Resinas Epoxi
- Resinas Fenólicas

En el presente trabajo investigativo nos enfocaremos en las matrices poliméricas termoestables, especialmente en la resina epoxi la cual se utilizó a lo largo de la investigación durante el proceso de fabricación de las probetas.

1.4.3.2.2.1. Resina epoxi

Químicamente hablando las resinas epoxi trabajan cuando reacciona un radical epoxi con un extenso grupo de radicales orgánicos, los cuales forman enlaces cruzados. Un radical epoxi está formado por un átomo de oxígeno unido a dos de carbono, el cual una vez polimerizado forma una molécula de gran peso que se conoce como polímero. La mayoría de las resinas utilizadas en los procesos de laminación se combinan mediante estructuras aromáticas (en forma de columna vertebral), en donde las propiedades de los materiales compuestos obtenidos son superiores, entre ellas la flexibilidad. El proceso de curado se da por la reacción de un agente de curado, normalmente la reacción se controla con el uso de catalizadores. [20]

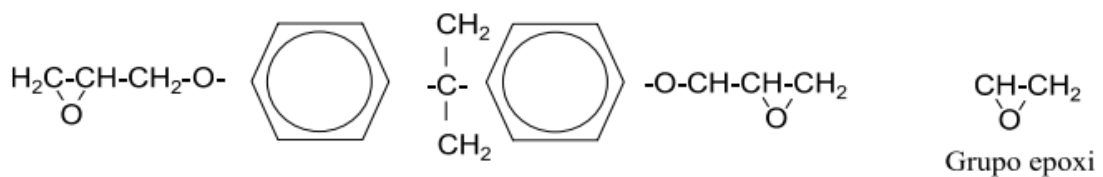


Figura 1.12 Fórmula estructural aromática de la resina base [20]

La resina epoxi es superior en cuanto a resistencia sobre las resinas poliéster, es por esto que pueden someterse a temperaturas más elevadas (hasta 180°C). Adicionalmente la capacidad de adherencia a otros materiales es buena, con baja contracción al momento de la polimerización y alta resistencia al agua, ácidos, bases y disolventes, lo cual permite que el moldeo sea de alta calidad durante los procesos de fabricación. [20]

Propiedad	Matriz				
	Poliéster Insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Viniléster	Resina Poliamidas
Densidad (g/cm ³)	1,17-1,26	1,17-1,25	1,25-1,3	1,17-,125	1,27-1,42
Alargamiento (%)	<3	6-ago	<3	3,5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de Moldeo (°C)	T _{amb} hasta 180	T _{amb} hasta 7180	150-190	T _{amb} hasta 175	-350
Temperatura de Reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260
Propiedades reológicas	Muy buenas				Función de la resina
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría de la pieza				
Contracción de fraguado (%)	6-10	1-3	0,5-1,5	0,1-1	0,5-0,7
Contracción posterior (%)	Hasta 3	Prácticamente ninguna	Hasta 0,4	Hasta 1	Casi ninguna
Resiste a:	Agua, soluciones acuosas, fuel, gasolina	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	37 % HCL, ClO ₂ , agua salina, alquitranes	
No resiste a:	Agua hirviendo, ácidos y lejías, benzol y alcohol	Agua hirviendo, ésteres, ácidos y bases, cetonas	Ácidos y bases concentradas	H ₂ SO ₄ AL 75% NaCl al 6% NaOH al 15% agua hirviendo	
Inflamabilidad	No auto extingible	Difícilmente inflamable, después arde	Difícilmente inflamable	No auto extingible	

Tabla 1.3: Características de las matrices termoestables [13]

1.4.4. Ensayos para el análisis de la caracterización del material compuesto

El comportamiento mecánico de los materiales describe la respuesta de los materiales a las cargas mecánicas o la deformación. La respuesta de estos puede entenderse en términos de los efectos básicos de las cargas mecánicas sobre las deformaciones o el

movimiento atómico. Una comprensión simple del comportamiento y los defectos del material en todos los niveles es, por lo tanto, un requisito previo esencial para el desarrollo de una caracterización fundamental del comportamiento mecánico de los materiales. [21]

Para la caracterización de los materiales compuestos se fabrican probetas del material bajo especificaciones determinadas para poder realizar una evaluación mediante ensayos (pruebas), mismas que están basadas en normativas desarrolladas por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

- Ensayos de tracción – ASTM D3039/3039M – 08
- Ensayos de flexión – ASTM D7264/7264M – 07
- Ensayos de impacto – ASTM D5628
- Análisis dinámico mecánico – ASTM D7028 – 07

1.4.4.1. Ensayos a tracción

Para la caracterización de un material a tracción es necesario la realización de un ensayo de tracción. Los resultados obtenidos de esta prueba proveen una información de diseño básica acerca del proceder mecánico de los materiales para aplicaciones en ingeniería.

A lo largo del avance en el estudio de nuevos materiales y procesos, las propiedades en tracción facilitan el contraste entre un material y otro. Como resultado del ensayo de tracción, se obtienen valores como: esfuerzo máximo de tracción, módulo de elasticidad y porcentaje de elongación; las cuales se pueden utilizar para predecir el comportamiento de un material bajo condiciones de carga distintas.

El ensayo de tracción está normalizado (ASTM D3039/3039M – 08), y se lo realiza en una máquina universal de ensayos, la cual somete a una probeta del material a una fuerza de tracción creciente, registrando en cada intervalo la carga aplicada y la deformación (incremento de longitud) experimentado por la probeta de ensayo. [22]

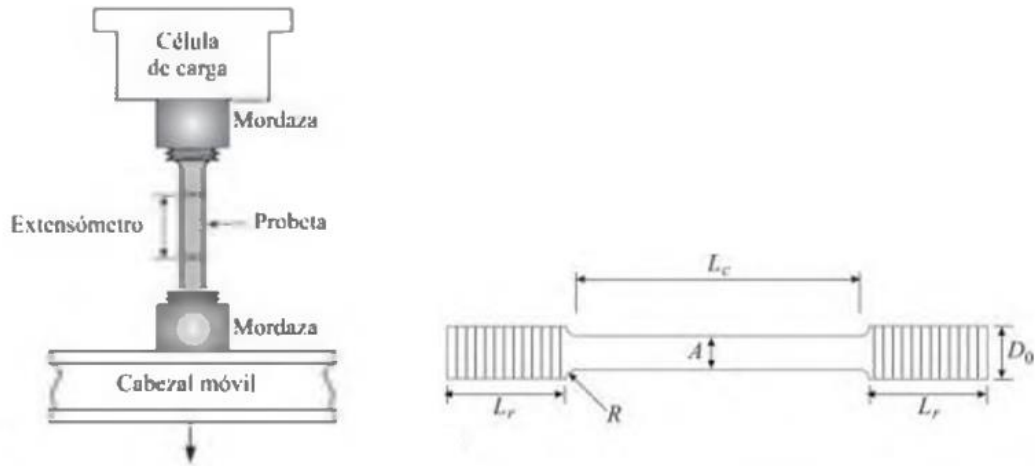


Figura 1.13 Máquina universal de ensayos y probeta de tracción. [22]

1.4.4.2. Ensayos de flexión

Los ensayos a flexión son realizados con base en la norma ASTM D7264/7264M – 07, el cual determina propiedades como la rigidez a la flexión y la resistencia de un material de matriz polimérica. El método para la realización de este ensayo corresponde a un sistema de tres puntos, en donde se coloca una probeta sobre dos apoyos simples y se la somete a una carga en su eje central, doblándola o hasta que se rompa y de esta manera poder determinar sus propiedades. Para este tipo de ensayos se utiliza una maquina universal de ensayos y las propiedades a flexión pueden verse afectadas a causa de varios factores como son la superficie de la probeta, el espesor de la probeta, velocidad de realización del ensayo, entre otras; las cuales afectarán directamente los resultados. [23]

De igual forma que en los ensayos mecánicos de tracción e impacto, las probetas deben cumplir especificaciones como: largo, ancho, espesor o aspectos superficiales; mismas que se detallan en las normativas respectivas a cada ensayo y deben tenerse en cuenta para evitar resultados erróneos en los ensayos. Es así que una correcta selección y preparación de las probetas será importante para la realización de los ensayos.

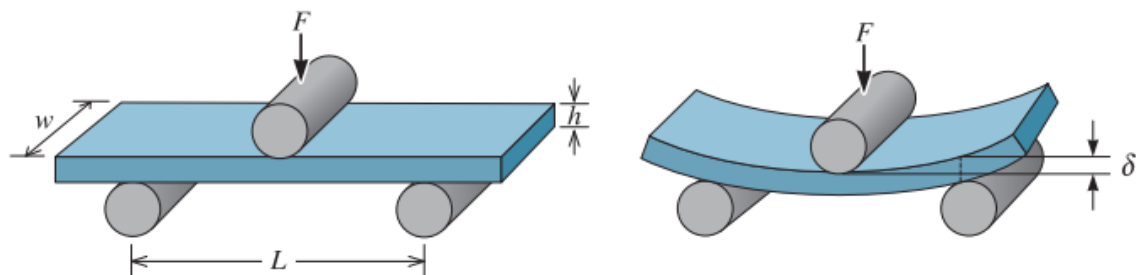


Figura 1.14 Ensayo de flexión y deflexión de un material. [24]

1.4.4.3. Ensayos de impacto

El propósito de las pruebas de impacto es medir la capacidad de un material/forma/producto para resistir el impacto. Se prueba en términos de objetos que golpean a altas velocidades. Los resultados sobre el material probado después del choque se pueden estudiar y pueden ayudar a comprender el rendimiento del material en servicio.

El ensayo consiste en un aparato de prueba con una bola/dardo que se deja caer verticalmente desde diferentes alturas. Hay un tubo guía que asegura que la bola/dardo caiga en el centro de la muestra de prueba que se coloca sobre un soporte rígido. Se mide la altura del rebote, o alternativamente, el intervalo de tiempo entre dos rebotes sucesivos. Debe anotarse cualquier daño visible, con el objetivo de obtener el 50% de las muestras fallidas (denominada energía media de falla, masa x altura). [25]



Figura 15 Máquina tipo caída de masas de Impacto. [26]

1.4.4.4. Análisis dinámico mecánico (DMA)

Para comprender de mejor manera lo que es el Análisis Dinámico Mecánico, es necesario entender algunos fundamentos básicos que se estudiarán a lo largo del presente apartado. El DMA es una técnica empleada para determinar las propiedades mecánicas y viscoelásticas de un material, especialmente los polímeros.

Un polímero, específicamente los termoestables, exhiben comportamientos distintos, debido a su conformación. Para empezar, para que un plástico pueda ser considerado como un sólido elástico, sus cadenas poliméricas deben tener suficiente cohesión entre sí; pero, por otra parte, a causa de la composición misma de las uniones entre las

cadenas poliméricas (enlaces de menor fortaleza) van a presentan cierta tendencia a fluir como si de líquido se tratara, de esta forma presentando un comportamiento similar a un líquido viscoso. Es esta dualidad en el comportamiento de los polímeros a lo que llamamos un comportamiento viscoelástico. [27]

A diferencia de los ensayos mecánicos comúnmente realizados (tracción - flexión - impacto), estos son ensayos estáticos, en donde se determinan las propiedades de resistencia y deformación en las probetas bajo la influencia de una única fuerza aplicada. En un ensayo mecánico dinámico, la probeta es sometida a una carga la cual se ejerce periódicamente, y además el comportamiento viscoelástico de los polímeros dependerá de otros factores que se toman en cuenta al momento de la realización de estos ensayos como son el tiempo y la temperatura. Este tipo de ensayos nos ayudan a caracterizar de mejor manera los materiales, ya que a medida que transcurre el tiempo, los plásticos empiezan a sentir cambios significativos en las propiedades mecánicas, lo que causa que muchas veces afecte las condiciones de diseño con esta clase de materiales. [28]

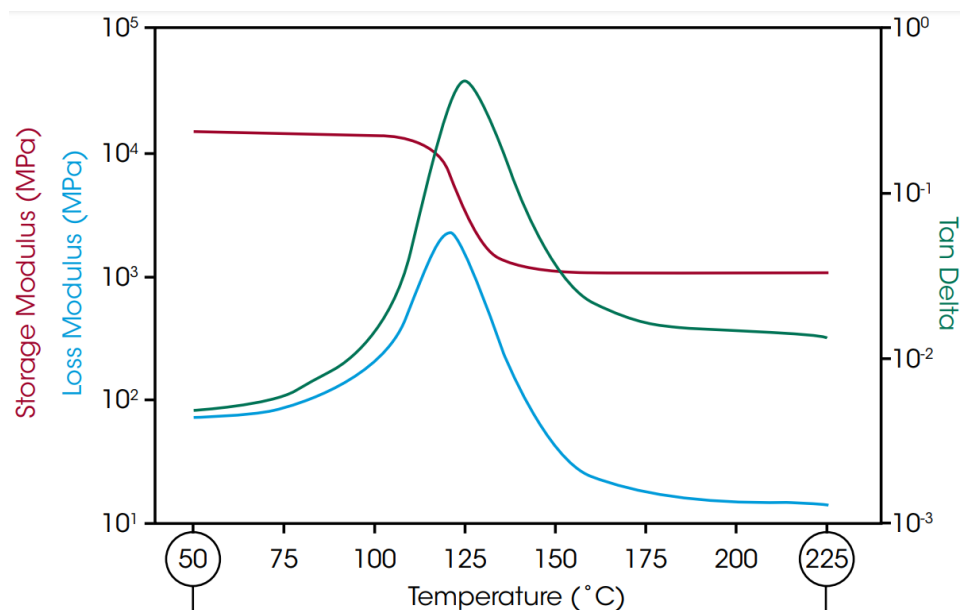


Figura 1.16 Termograma DMA resultante. [29]

1.4.4.4.1. Pruebas Dinámicas

Un análisis dinámico mecánico consiste en aplicar una carga sinusoidalmente oscilante a las probetas y provocar una deformación de igual manera sinusoidal. Existe una relación entre la tensión y la deformación la cual es importante para determinar las propiedades viscoelásticas del compuesto. [30]

Al momento de aplicar una carga constante al material, los valores de esfuerzo y deformación comienzan a oscilar sinusoidalmente, deformando así la probeta bajo el mismo proceder. [31] Estas ondas se encuentran desfasadas una de otra un ángulo δ , mismo que puede tomar valores entre 0° y 90° , dependiendo la composición del material. [28]

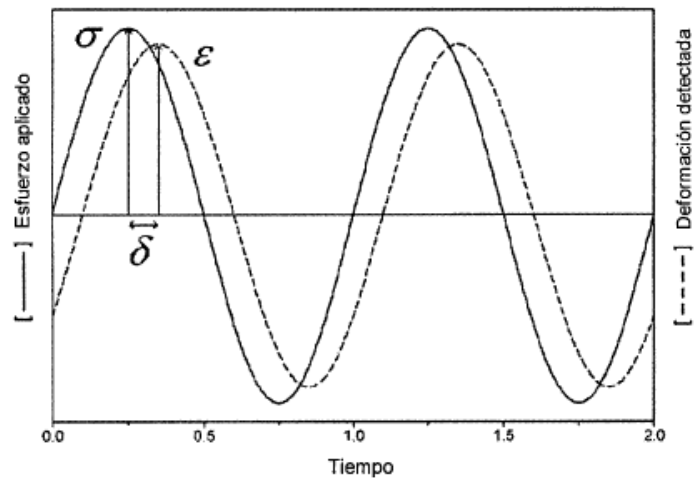


Figura 1.17 Relación entre deformación (ϵ) y esfuerzo (σ), con un ángulo de desfase (δ). [31]

Esencialmente, el ángulo de desfase formado entre el esfuerzo y la deformación, nos puede proporcionar suficiente información sobre la capacidad viscoelástica de un material compuesto. En un caso, un ángulo de desfase pequeño quiere decir que el compuesto es altamente elástico; un ángulo de desfase grande muestra que el compuesto es en extremo viscoso. [30]

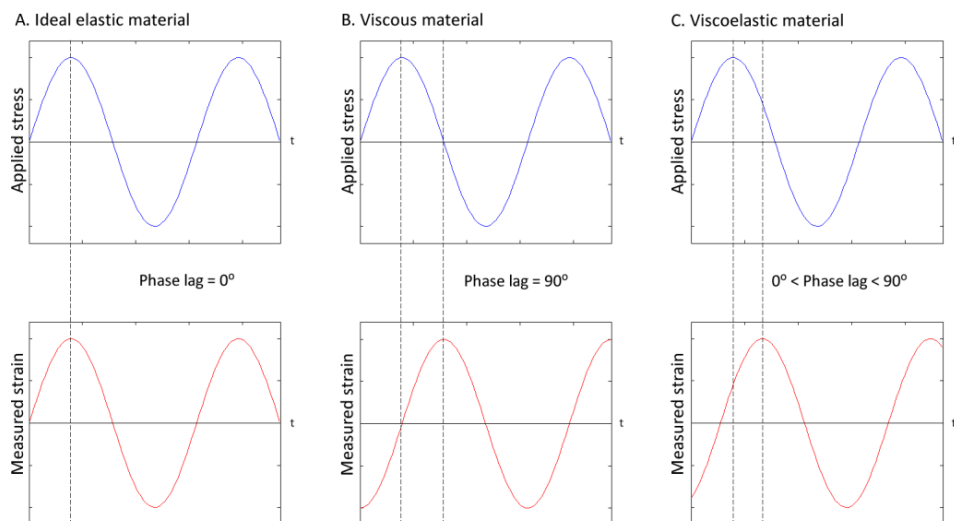


Figura 1.18 Relación entre ángulo de desfase y comportamientos elásticos y viscoelásticos. [30]

El análisis dinámico mecánico nos facilita la comprensión y el estudio de los efectos viscosos y elásticos presentes en los materiales, empezando por la respuesta del compuesto a la onda del esfuerzo se calcula, un **módulo complejo (E^*)**, este módulo

no es más que una medida de la resistencia que opone el material a la deformación y reúne dos respuestas, una **elástica**, por medio del **módulo de almacenamiento (E')**, y otra **viscosa**, por medio **del módulo de pérdida (E'')**, valores que son monitoreados como parte de una función que involucra a la frecuencia y temperatura. [32]

$$E^*(\omega, t) = E'(\omega, t) + iE''(\omega, t)$$

Ec. 1.1

Donde:

E^* = módulo complejo (MPa)

E'' = módulo de pérdida (MPa)

E' = módulo de almacenamiento (MPa)

ω = frecuencia del sistema (Hz)

t = temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

i = unidad imaginaria

Por lo regular se suelen representar los módulos de almacenamiento y pérdida junto al ángulo de desfase en un esquema similar al de la Fig 19. Definimos entonces al módulo complejo como la suma compleja del módulo de almacenamiento o real y el módulo de pérdida o imaginario. [28]

$$E^* = E' + iE''$$

Ec. 1.2

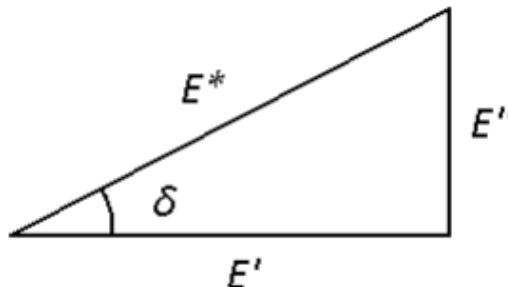


Figura 1.19 Relación entre módulo real, imaginario y complejo. [28]

Es posible calcular algunos de los valores de los módulos elásticos, viscoelásticos, complejos o la tangente de pérdida, partiendo del análisis dinámico mecánico, las

ecuaciones empleadas y su significado se encuentran descritos en la tabla a continuación.

Término	Ecuación	Importancia
Módulo complejo (E^*)	$E^* = E' + iE''$	Módulo global que representa la rigidez del material; componentes elásticos y viscosos combinados
Módulo elástico (E')	$E' = (\sigma_o/\gamma_o)\cos \delta$	Módulo de almacenamiento; mide la energía almacenada y representa la porción elástica
Módulo viscoso (E'')	$E'' = (\sigma_o/\gamma_o)\sen \delta$	Módulo de pérdida; contribución del componente viscoso sobre el polímero que fluye bajo tensión
Tangente de pérdida ($\tan \delta$)	$\tan \delta = E''/E'$	Amortiguación o índice de viscoelasticidad; compara módulos viscosos y elásticos

Tabla 1.4: Términos viscoelásticos. [30]

1.4.4.4.2. Temperatura de transición vítrea

La transición vítrea es la variación o cambio del estado de un material, desde un estado cristalino o semi-cristalino hacia un estado viscoso o elástico, o viceversa. Esta transición se presenta a una temperatura denominada temperatura de transición vítrea o Tg (glass transition). [33]

La temperatura a la cual ocurre este cambio puede ser evaluada mediante formas distintas.

- Evaluando la curva del módulo de almacenamiento
- A partir del valor del pico máximo de la curva del módulo de pérdida
- Mediante el valor máximo de la tangente de pérdida

Todas las maneras descritas anteriormente nos ponen a disposición valores de transición vítrea que son, en ocasiones, significativamente distintos unos con otros. Si tomamos como referencia la curva de la tangente de pérdida ($\tan \delta$), el pico de la curva representa el valor máximo de Tg, pero, por el contrario, si realizamos un onset (punto de corte de la tangente a la curva en el punto de comienzo de decaimiento de la curva

módulo de almacenamiento E' con la tangente en el punto de inflexión) de la curva de E' , obtendremos el valor menor para T_g . [34]

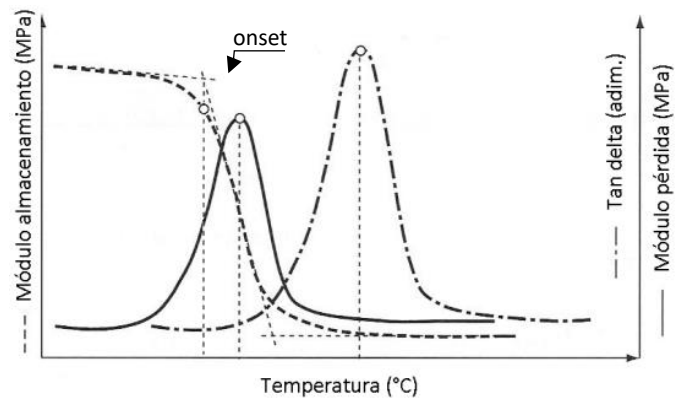
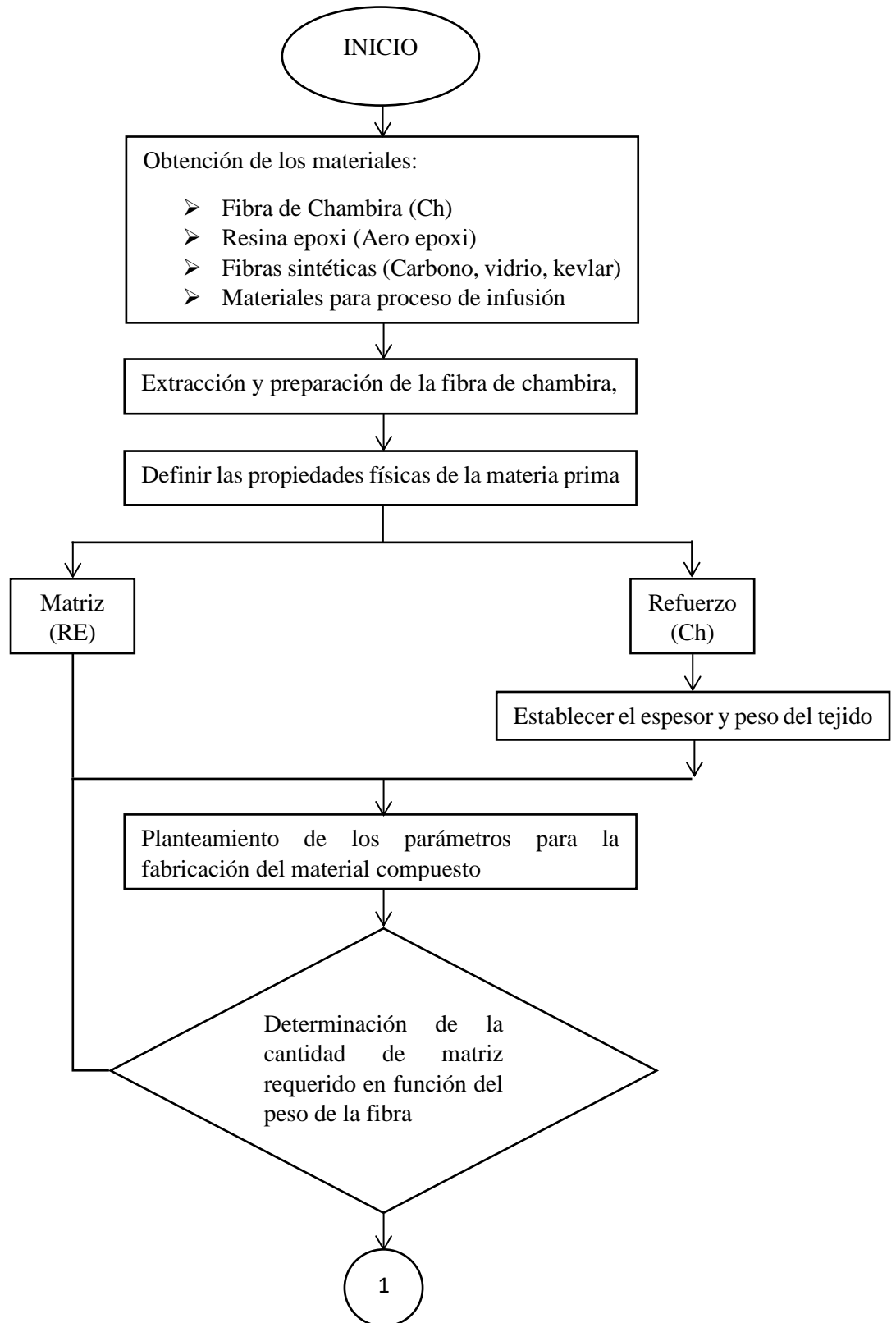


Figura 1.20 Formas para calcular T_g . [34]

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Diagrama de flujo del trabajo experimental



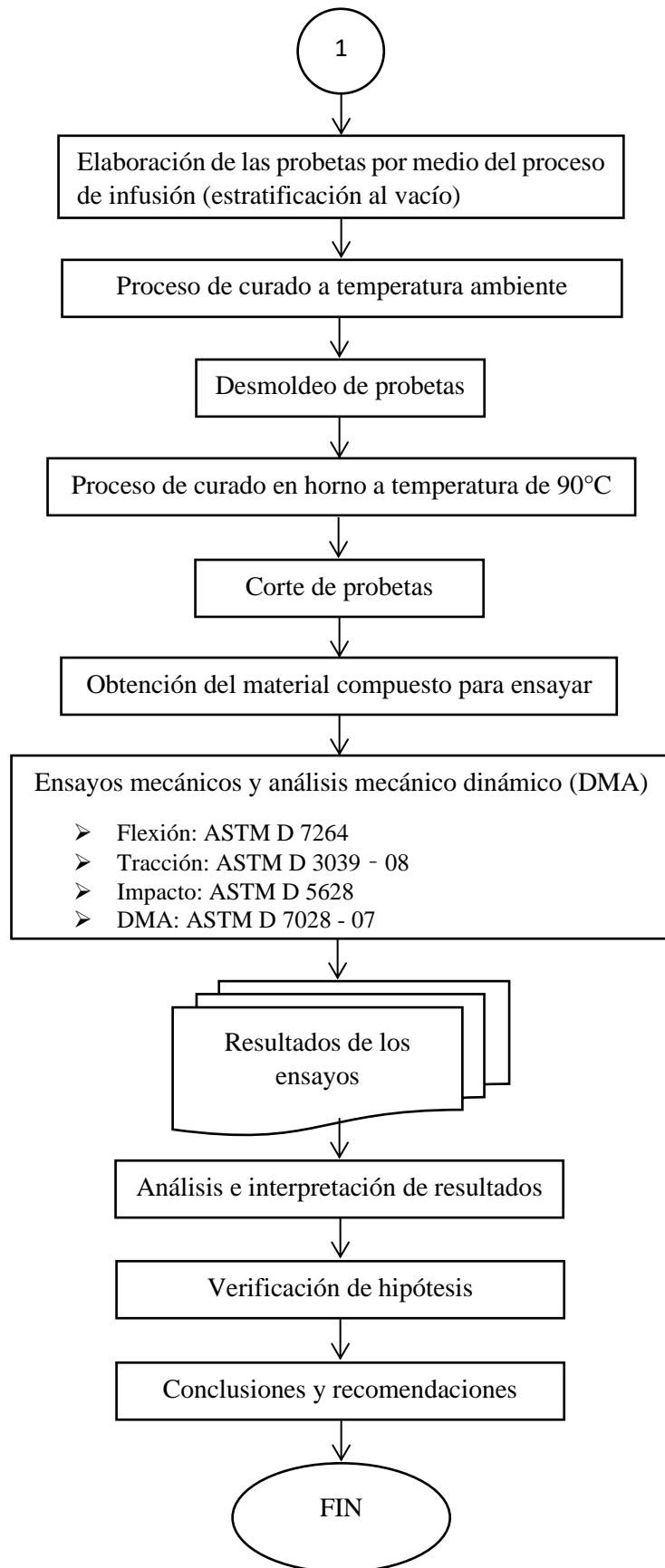



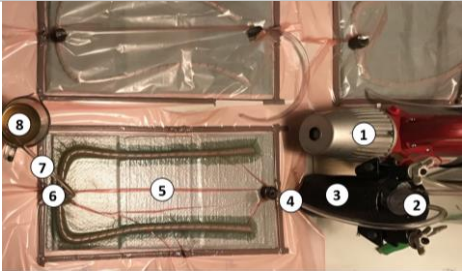


Figura 2.1 Diagrama de flujo del trabajo experimental [Autor]

2.2. Materiales

Para la elaboración del presente trabajo experimental, se hizo uso de los siguientes materiales:

Material	Detalle	Imagen
Resina Epoxi (RE)	Resina: AEROPOXY PR2032 Catalizador: PH3660 $\rho = 1.16 \text{ g/cm}^3$ [35]	
Fibra de Chambira (Ch)	Tejido de fibra de Chambira, extraída de Astrocaryum de manera natural, previamente secado y curado	
Fibras sintéticas	Fibras sintéticas: <ul style="list-style-type: none"> ➤ Vidrio (V) ➤ Carbono (C) ➤ Kevlar (K) 	
Sistema Vacuum Bagging	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bomba de vacío 2. Vacuómetro 3. Trampa de resina 4. Manguera de salida 5. Material compuesto 6. Válvula de vacío 7. Manguera de entrada 8. Recipiente de entrada [36] 	






Bomba de vacío	QUALITY QVP-600 4.8 CFM 500 W	
Cinta de vacío	Adherente para realizar sello hermético entre la película plástica y la superficie	
Películas y telas plásticas para el proceso de infusión.	1. Peel PLY: Tela desmoldante 2. Breather: Tela absorbente 3. Bagging Film: Película plástica para vacío [13]	
Balanza electrónica	Utilizada para el cálculo de las propiedades y pesos de los materiales	
Equipo de protección personal	Mandil Guantes Mascarilla	

Tabla 2.1: Materiales empleados en la fabricación de los materiales compuestos [Autor]

2.3. Métodos

2.3.1. Nivel o tipo de investigación

Para la realización de presente trabajo investigativo nos basamos en los niveles de investigación a continuación

2.3.1.1. Investigación exploratoria

El método utilizado es exploratorio, esto debido a que los nuevos materiales compuestos con matriz polimérica epoxi (RE), con refuerzos de fibra de Chambira y fibras sintéticas (Carbono, Vidrio y Kevlar), mediante infusión y con temperaturas de curado, no están plenamente caracterizados, por lo que es importante llevar a cabo análisis y pruebas para comprender mejor su comportamiento, en busca de una combinación cuyas propiedades funcionen enfocadas en posibles aplicaciones industriales futuras para nuestro material.

2.3.1.2. Investigación descriptiva

La investigación descriptiva es de gran importancia para el desarrollo de nuestro trabajo experimental ya que nos ayuda a recopilar los datos obtenidos a partir de las pruebas a tracción, flexión, impacto y análisis mecánico dinámico (DMA). Estos datos deberán ser cuantificables para poder realizar el respectivo análisis estadístico posterior. Finalmente, los datos se detallarán en fichas y tablas de resultados en donde se pueda tener registro de las propiedades analizadas de nuestras probetas.

2.3.1.3. Investigación bibliográfica

El nivel bibliográfico en una investigación nos permite y facilita la recolección de: información, imágenes, datos y toda clase de antecedentes investigativos que sean de aporte en para nuestro trabajo. Esta información la encontramos en libros, tesis, artículos, páginas web, etc. Siempre guardando relación a lo que estamos nos estamos refiriendo, en nuestro caso los materiales compuestos, fibras sintéticas y naturales, resinas epoxi y los procedimientos para la conformación de los materiales.

2.3.1.4. Investigación experimental

Para el desarrollo de nuestra investigación, realizar la experimentación es clave, ya que de este modo vamos a estudiar con un enfoque científico nuestras variables planteadas, por medio del control, manipulación y estudio. La investigación experimental es importante en nuestra tesis porque la información sobre los materiales compuestos con refuerzo de fibra de Chambira es escasa y lo que se busca con esta investigación es aportar para un futuro desarrollo y aplicación dentro de la industria un compuesto a base de fibra de Chambira.

2.4. Población y muestra

2.4.1. Población

El presente trabajo en fase de prueba tiene como población la preparación de probetas a ensayar, para conocer las características mecánicas y dinámicas de las mismas. Las probetas están compuestas de matriz polimérica de resina Epoxi y como refuerzo la fibra de *Astrocaryum Chambira*, para lo cual, según indagaciones anteriores en donde se consiguieron resultados mucho mejores en relación a las propiedades mecánicas, estimamos una parte volumétrica del 70% de matriz y 30% de refuerzo. Es importante mencionar que el refuerzo que constituye la fibra natural está configurado como un tejido plano, las probetas están modeladas por varias capas y combinaciones de fibra sintético con fibra natural. La fabricación de las probetas se lo va a realizar por medio de estratificación al vacío en una superficie de 1.50x2.10 metros, el espesor va a ser definido en concordancia al número de capas y proporción de matriz.

2.4.2. Muestra

La muestra del presente trabajo experimental se basa en la aplicación de un método estadístico descriptivo, orientado a la comparación de las propiedades analizadas de las distintas probetas obtenidas.

Los gráficos estadísticos para comparar, están realizados a partir de las distintas combinaciones y las variables dependientes, que son los módulos, resistencias, energías y ángulos de desfasamiento en el caso del análisis dinámico mecánico, como se presenta en el cuadro a continuación.

Tipo de factores	Factores	Ensayos	Propiedad
Categoricos o cuantitativos	Combinación de las capas	Ensayo a tracción	Resistencia a la tracción (TS)
			Módulo de tracción (TM)
		Ensayo de flexión	Resistencia a la flexión (BS)
			Módulo de flexión (BM)
		Ensayo de impacto	Energía de impacto
		Análisis dinámico mecánico	Módulo de almacenamiento (E´)
	Módulo de pérdida (E´´)		

			Angulo de desfaseamiento (Tan δ)
--	--	--	--

Tabla 2.2: Tipos de factores de entrada y propiedades [Autor]

2.4.2.1. Definición de casos de estudio

Para la determinación del número de combinaciones y definición del número de capas por caso usar, se tuvo como referencia el artículo de Subrata C. Das, con el nombre de *“Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates”*, en donde en la Tabla 3 plantea la formulación de los diferentes tipos de compuestos, mismo que replicaremos con la adición de casos extra que se consideran importantes o podrían tener un comportamiento sobresaliente y sería de utilidad en un futuro para la industria.

Se van a realizar un total de 14 secuencias de apilamiento, en cada una de ellas se van a realizar 4 tipos diferentes de pruebas, tracción, flexión, impacto y análisis dinámico mecánico. La primera secuencia es 5 capas de chambira apiladas, chambira + vidrio, chambira + vidrio + chambira, vidrio + chambira + vidrio, chambira + vidrio + chambira + vidrio, chambira + vidrio + chambira + vidrio + chambira, vidrio + chambira + vidrio + chambira + vidrio, 5 capas de vidrio, 5 capas de carbono, 5 capas de kevlar, chambira + carbono, chambira + kevlar, chambira + carbono + chambira, chambira + kevlar + chambira.

N° combinación	Secuencia de estratificación
S1	Ch+Ch+Ch+Ch+Ch
S2	Ch+V
S3	Ch+V+Ch
S4	V+Ch+V
S5	Ch+V+Ch+V
S6	Ch+V+Ch+V+Ch
S7	V+Ch+V+Ch+V
S8	V+V+V+V+V
S9	C+C+C+C+C
S10	K+K+K+K+K
S11	Ch+C
S12	Ch+K

S13	Ch+C+Ch
S14	Ch+K+Ch
Ch = Chambira V = Vidrio C = Carbono K = Kevlar	

Tabla 2.3: Casos de secuencia de laminados a realizar [Autor]

2.5. Hipótesis

El análisis mecánico dinámico (DMA), conjuntamente con los ensayos mecánicos (tracción flexión, impacto), permitirá tener una mejor caracterización de los laminados de resina epoxi con fibra de chambira y sintética, elaborados bajo el proceso de estratificación al vacío.

2.6. Señalamiento de variables

2.6.1. Variable independiente

Materiales compuestos híbridos, que resultan de la combinación de fibras sintéticas y fibra de chambira con matriz epoxi

2.6.2. Variable dependiente

Propiedades mecánicas, análisis dinámico mecánico

2.6.3. Término de relación

Permitirá

2.7. Operacionalización de variables

2.7.1. Variable independiente: Materiales compuestos

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e instrumentos
Materiales compuestos híbridos son aquellos que resultan de la combinación de dos o más materiales en una geometría y escala predeterminadas, con una gran eficiencia en aplicaciones específicas.	Material Híbrido	Combinaciones de la fibra sintética y natural	¿Cuáles serían las combinaciones de fibra sintética (S) y natural (Ch)?	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Fichas de recolección de datos • Equipos de medición • Conformado al vacío de material compuesto • Normas ASTM • Bibliografía
		Temperatura de Secado	¿Cuáles serían las temperaturas de secado?	

Tabla 2.4: Variable independiente [Autor]

2.7.2. Variable dependiente: Propiedades del material compuesto

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e instrumentos
Se les conoce como propiedades mecánicas a las características internas que posee el material, por lo cual el comportamiento se puede verificar mediante la aplicación de fuerzas externas.	Propiedades Mecánicas	Módulos Resistencias Energías	¿Cuáles serán los módulos, resistencias y energías?	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Fichas de recolección de datos • Equipos de medición • Conformado al vacío de material compuesto • Normas ASTM <ul style="list-style-type: none"> ✓ Tracción ASTM D3039 ✓ Flexión ASTM D7264 ✓ Impacto ASTM D5628 ✓ Análisis Dinámico Mecánico ASTM 5023 • Bibliografía
	Propiedades Dinámicas	Módulos Ángulo de desfase	¿Cuáles serán los módulos, y ángulo de desfase?	

Tabla 2.5: Variable dependiente [Autor]

2.8. Procedimiento para la elaboración de los compuestos

2.8.1. Adquisición de materiales

La fibra de Chambira viene de la palma de *Astrocaryum*, la cual se la encuentra por lo general en la zona norte de la Amazonía ecuatoriana, Pastaza en una de las principales provincias que trabaja con la extracción de la Chambira con fines artesanales. La adquisición fue de trenzas de fibra de chambira gruesa, para posteriormente proceder a deshilar para tener una fibra fina que nos permita el tejido de la misma por artesanos oriundos de la parroquia de Salasaca.



Figura 2.2 Trenzas de fibra de Chambira sin procesar [Autor]

La matriz de resina epoxi marca AEROPOXY PR2032 y el catalizador PH3660, se adquirió en SIMA AUTOMOTRIZ

Para continuar con el proceso de fabricación de los laminados por medio de estratificación al vacío, se hizo la adquisición de materiales como: cinta para el sellado, fundas para el vacío, mantas absorbentes; las cuales son necesarias y se encontró en JEV SOLUCIONES.

2.8.2. Codificación del nuevo material compuesto

Para poder identificar las probetas que se van a analizar a tracción, flexión, impacto y DMA es necesario asignarles un código, de la siguiente manera.

N° combinación n	Secuencia de estratificación	Pruebas a realizarse							
		Tracción	Denom	Flexión	Denom	Impacto	Denom	DMA	Denom
S1	Ch+Ch+Ch+Ch +Ch		TRAC S-1		FLEX S-1		IMPC S-1		DMA S-1

S2	Ch+V	TRAC S-2	FLEX S-2	IMPC S-2	DMA S-2
S3	Ch+V+Ch	TRAC S-3	FLEX S-3	IMPC S-3	DMA S-3
S4	V+Ch+V	TRAC S-4	FLEX S-4	IMPC S-4	DMA S-4
S5	Ch+V+Ch+V	TRAC S-5	FLEX S-5	IMPC S-5	DMA S-5
S6	Ch+V+Ch+V+C h	TRAC S-6	FLEX S-6	IMPC S-6	DMA S-6
S7	V+Ch+V+Ch+ V	TRAC S-7	FLEX S-7	IMPC S-7	DMA S-7
S8	V+V+V+V+V	TRAC S-8	FLEX S-8	IMPC S-8	DMA S-8
S9	C+C+C+C+C	TRAC S-9	FLEX S-9	IMPC S-9	DMA S-9
S10	K+K+K+K+K	TRAC S-10	FLEX S-10	IMPC S-10	DMA S-10
S11	Ch+C	TRAC S-11	FLEX S-11	IMPC S-11	DMA S-11
S12	Ch+K	TRAC S-12	FLEX S-12	IMPC S-12	DMA S-12
S13	Ch+C+Ch	TRAC S-13	FLEX S-13	IMPC S-13	DMA S-13
S14	Ch+K+Ch	TRAC S-14	FLEX S-14	IMPC S-14	DMA S-14
Ch = Chambira V = Vidrio C = Carbono K = Kevlar					

Tabla 2.6: Codificación de las probetas [Autor]

2.8.3. Distribución de las probetas de tracción, flexión e impacto.

Para obtener un mejor aprovechamiento del material es necesario realizar una distribución que genere la menor cantidad de desperdicios posible, para lo cual se utilizó el programa de AutoCAD donde las probetas de tracción tienen una medida de

(25.5x250.5) mm, la de flexión (13.5x160.5) mm, la de impacto (58.5x58.5) Mm y las probetas para el análisis dinámico mecánico (60x13.5) mm.

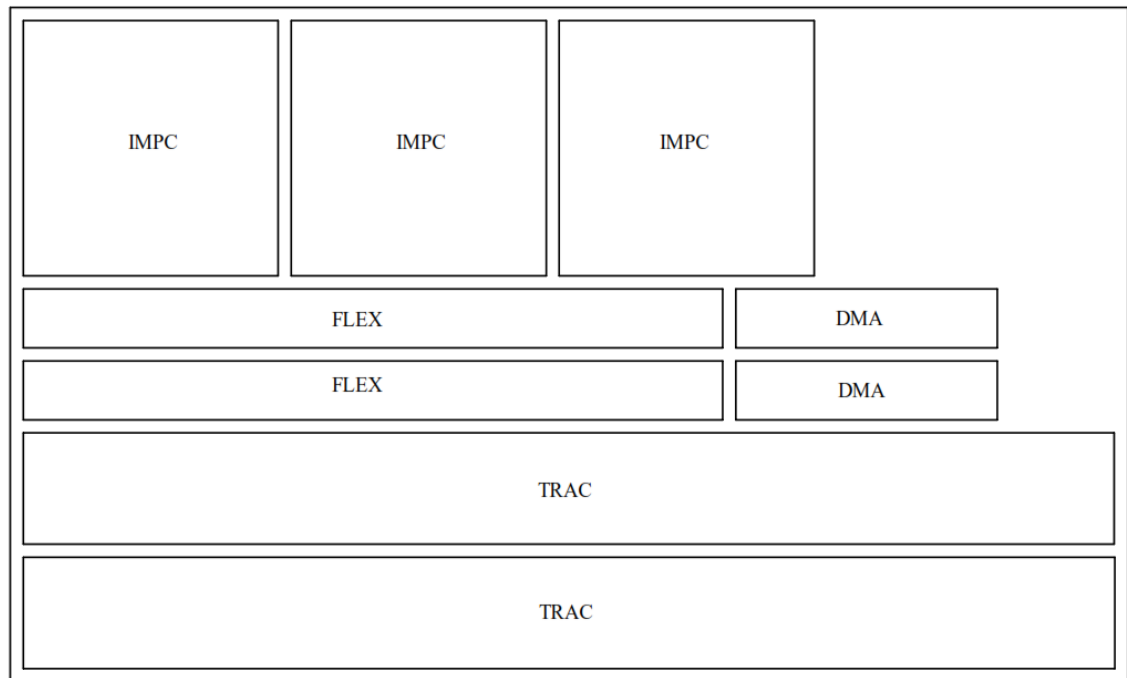


Figura 2.3: Distribución de probetas para corte laser. [Autor]

2.8.4. Determinación de las propiedades físicas de la fibra

En la construcción de un nuevo material compuesto hay que considerar el cálculo o determinación de sus características físicas, principalmente de su densidad, al ser un trabajo en fase de prueba el cálculo de la densidad se lo ejecuta por medio del procedimiento gravitatorio, el cual usa la relación que existe entre su masa y su volumen, valores que se tienen la posibilidad de saber en las probetas a obtenerse por medio de mediciones y la aplicación de la siguiente fórmula

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

Ec. 2.1

Donde:

ρ = Densidad (g/cm³)

m = Masa (g)

v = Volumen (cm³)

➤ **Fibra de Chambira**

Mediante gravimetría se realizó el cálculo para la obtención de la densidad de la fibra de chambira, procedimiento que consiste en vaciar resina en un vaso de precipitación graduado, sumergir una muestra de la fibra y registrar la variación del volumen para posteriormente comparar con el volumen inicial y tener nuestro resultado.

Densidad de la fibra de chambira					
Iteració n	Peso (g)	Volumen inicial (cm3)	Volumen final (cm3)	Variació n (cm3)	Densida d (g/cm3)
1	5.38	400	448.208	48.208	0.112
2	4.74	400	442.104	42.104	0.113
3	4.94	400	447.336	47.336	0.104
4	4.86	400	446.464	46.464	0.105
Promedio					0.108

Tabla 2.7: Cálculo de la densidad de la fibra natural [Autor]

➤ **Fibra de Vidrio**

Mediante gravimetría se realizó el cálculo para la obtención de la densidad de la fibra de vidrio, procedimiento que consiste en vaciar resina en un vaso de precipitación graduado, sumergir una muestra de la fibra y registrar la variación del volumen para posteriormente comparar con el volumen inicial y tener nuestro resultado.

Densidad de la fibra de vidrio					
Iteració n	Peso (g)	Volumen inicial (cm3)	Volumen final (cm3)	Variació n (cm3)	Densida d (g/cm3)
1	12	150	158.64	8.64	1.389
2	15	150	160.28	10.28	1.460
3	18	150	161.27	11.27	1.597
4	21	150	163.26	13.26	1.583
Promedio					0.507

Tabla 2.8: Cálculo de la densidad de la fibra de vidrio [Autor]

➤ **Fibra de Carbono**

Mediante gravimetría se realizó el cálculo para la obtención de la densidad de la fibra de carbono, procedimiento que consiste en vaciar resina en un vaso de precipitación graduado, sumergir una muestra de la fibra y registrar la variación del volumen para posteriormente comparar con el volumen inicial y tener nuestro resultado.

Densidad de la fibra de carbono					
Iteración	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	2.5	100	104	4	0.625
2	8	100	106	6	1.333
3	15	100	112.5	12.5	1.200
4	18	100	114	14	1.286
Promedio					1.111

Tabla 2.9: Cálculo de la densidad de la fibra de carbono [Autor]

➤ **Fibra de Kevlar**

Mediante gravimetría se realizó el cálculo para la obtención de la densidad de la fibra de kevlar, procedimiento que consiste en vaciar resina en un vaso de precipitación graduado, sumergir una muestra de la fibra y registrar la variación del volumen para posteriormente comparar con el volumen inicial y tener nuestro resultado.

Densidad de la fibra de kevlar					
Iteración	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	12	150	160	10	1.200
2	15	150	161	11	1.364
3	18	150	162	12	1.500
4	21	150	164	14	1.500
Promedio					1.391

Tabla 2.10: Cálculo de la densidad de la fibra de kevlar [Autor]

2.8.5. Determinación de la cantidad de matriz en función del peso de la fibra

Para determinar la cantidad de resina y endurecedor (catalizador) necesario, se utilizarán las siguientes ecuaciones. Dichas mediciones son fundamentales ya que dependiendo de cada caso se necesitará más o menos cantidad de matriz, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

$$C. R = \frac{100}{127} * P. F$$

Ec. 2.2

$$C. E = \frac{27}{127} * P. F$$

Ec. 2.3

Donde:

C. R = Cantidad de resina (g)

C. E = Cantidad de endurecedor (g)



P. F = Peso de la fibra (g)



N°	Secuencia de estratificación	Temperatura de curado	Peso de la fibra natural	Peso de la fibra sintética	Cantidad de resina (g)	Cantidad de catalizador	Peso total del material (g)
S1	Ch+Ch+Ch+Ch+C h	90°C	85	-	66.93	18.07	170
S2	Ch+V	90°C	17	14	24.41	6.59	31
S3	Ch+V+Ch	90°C	34	14	37.80	10.20	48
S4	V+Ch+V	90°C	17	28	35.43	9.57	45
S5	Ch+V+Ch+V	90°C	34	28	48.82	13.18	62
S6	Ch+V+Ch+V+Ch	90°C	51	28	62.20	16.80	79
S7	V+Ch+V+Ch+V	90°C	34	42	59.84	16.16	76
S8	V+V+V+V+V	90°C	-	70	55.12	14.88	70
S9	C+C+C+C+C	90°C	-	60	47.24	12.76	60







S10	K+K+K+K+K	90°C	-	125	98.43	26.57	125
S11	Ch+C	90°C	17	12	22.83	6.17	29
S12	Ch+K	90°C	17	25	33.07	8.93	42
S13	Ch+C+Ch	90°C	34	12	36.22	9.78	46
S14	Ch+K+Ch	90°C	34	25	46.46	12.54	59
Ch = Chambira V = Vidrio C = Carbono K = Kevlar							




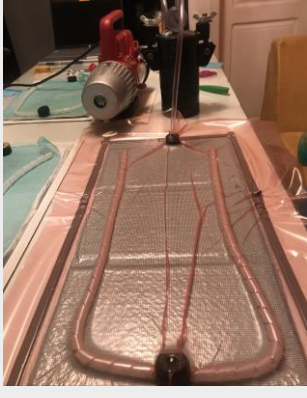

Tabla 2.11: Cálculo cantidad de matriz necesarias para los nuevos materiales [Autor]



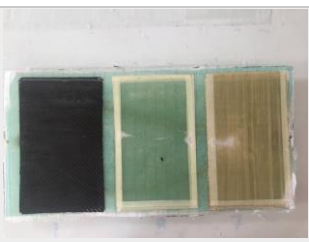
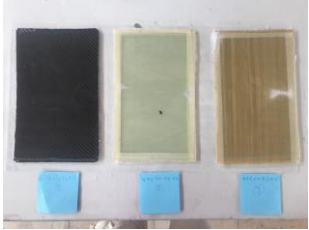

2.8.6. Elaboración de probetas

Procedimiento para preparación de fibra y tejido			
Ítem	Actividades	Descripción	Ilustración
1	Establecer la cantidad de fibra de chambira	Determinar la cantidad de fibra de chambira que se va a emplear en la fabricación de las probetas	
2	Hilado de la fibra	Desfibrilado de la fibra de chambira para continuar con el tejido	

3	Pretejido	Inicio del proceso de tejido con 4 hilos y una pasada	
4	Tejido	Tejido final de la fibra de chambira con 4 hilos y una pasada	
Procedimiento para la elaboración de probetas			
5	Trazado de la fibra de chambira	Con ayuda de un flexómetro y marcadores procedemos a demarcar en base a los planos de distribución establecidos previamente	
6	Trazado de las fibras sintéticas	Repetimos procedimiento anterior con las fibras sintéticas	
7	Cortado de las fibras	Se colocará cinta masking sobre las líneas que delimitan cada trazo para evitar un deshilado y con la ayuda de un estilete o tijera procedemos a recortar	

8	Preparación de la mesa de trabajo	Limpiamos la mesa con tñer y guaie para retirar cualquier residuo de resina que haya quedado	
9	Delimitación de la mesa de trabajo	Dividir y delimitar con butilo las zonas de la mesa donde se van a fabricar las probetas	
10	Encerado de la mesa	Se aplica cera desmoldante sobre la superficie para facilitar del desmoldeo de las probetas	
11	Preparación de materiales para infusión	Corte de materiales complementarios como son malla, camisa y manta de absorción	
12	Colocación de las fibras	Procedemos a colocar las fibras ordenadamente y según los casos que necesitemos dentro de la zona delimitada y previamente encerada	
13	Colocación de la camisa pelable	Colocamos la camisa pelable, previamente recortada a la medida de nuestra zona de trabajo	

14	Colocación de la manta de absorción	Colocamos la manta de absorción sobre la camisa pelable, previamente recortada a la medida de nuestra zona de trabajo	
15	Colocación de la manta de malla	Colocamos la malla sobre la manta de absorción, previamente recortada a la medida de nuestra zona de trabajo	
16	Colocación de la película plástica para vacío	Colocamos película plástica sobre la malla, previamente recortada a la medida de nuestra zona de trabajo, retiramos los plásticos del butilo y realizamos nuestro sello de vacío	
17	Instalación del sistema de vacío	Instalamos el sistema vacuum bagging	
18	Comprobación del vacío	Encendemos la bomba y comprobamos que no existan fugas	

19	Preparación de la resina	Se prepara la mezcla resina-catalizador en base a los cálculos realizador previamente	
20	Encendido de la bomba	Encendemos la bomba para que empiece a succionar la resina del recipiente hasta que bañe por completo a nuestras probetas, dejamos secar por 24 horas.	
21	Desmoldeo	Una vez transcurridas las 24 horas procedemos a retirar las probetas con cuidado para no dañar alguna muestra Probetas obtenidas	 
Procedimiento para el curado y corte de probetas			
22	Curado	Para el curado se dejó las probetas a temperatura ambiente por 3 semana y posteriormente en el horno a una temperatura de 90°C por 2 horas	

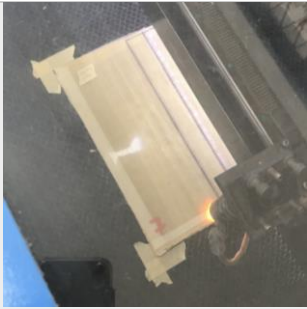
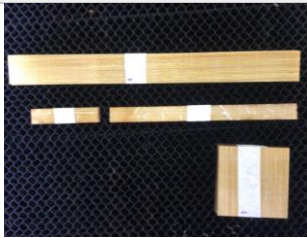
23	Corte	Una vez curadas las probetas, se cortaron mediante corte laser en base a las especificaciones establecidas	
		Probetas finales, listas para ensayos de tracción, flexión, impacto y DMA	

Tabla 2.12: Procedimiento [Autor]

2.9. Parámetros para el ensayo de materiales

Una vez las probetas estén listas, es importante obtener propiedades mecánicas del material, el cual se somete a ensayos destructivos para determinar dichos valores como el esfuerzo máximo la carga máxima, entre otros.

2.9.1. Ensayo de tracción

Ensayo que consiste en aplicar una carga axial de forma gradual por el eje central de la probeta hasta causar una ruptura, para obtener propiedades tales como carga máxima, esfuerzo máximo, módulo de elásticas y porcentaje de elongación, el equipo utilizado para el ensayo fue la Máquina Universal de Ensayos WAW600B basado en la norma ASTM D3039.



Figura 2. 4 Máquina universal de ensayos WAW600B [37]

A continuación, se describen las fórmulas que se aplican para poder calcular la resistencia a la tracción, módulo de elasticidad y ductilidad de los materiales.

➤ **Esfuerzo máximo**

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Ec. 2.4

Donde:

σ = Esfuerzo máximo a la tracción (Mpa)

P = Fuerza aplicada (N)

A = Área de la sección transversal (mm²)

➤ **Deformación por tracción**

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g}$$

Ec. 2.5

Donde:

ε_i = Deformación máxima (mm)

δ_i = Desplazamiento (mm)

L_g = Longitud calibrada (mm)

➤ **Módulo de elasticidad**

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

Ec. 2.6

Donde:

E = Módulo de elasticidad o módulo de Young

$\Delta\sigma$ = Esfuerzo máximo a la tracción entres dos puntos (MPa)

L_g = Deformación entre dos puntos (mm)

➤ **Ductilidad**

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

Ec. 2.7

Donde:

l_f = Longitud final (mm)

l_o = Longitud inicial (mm)

2.9.2. Ensayo de flexión

Ensayo que consiste en analizar una carga vertical ejecutada en el centro de la probeta que esta simplemente apoyada, causando o no una ruptura, para obtener propiedades tales como carga máxima, esfuerzo máximo, módulo de elásticas y porcentaje de elongación, este ensayo se basó en la norma ASTM D7264.

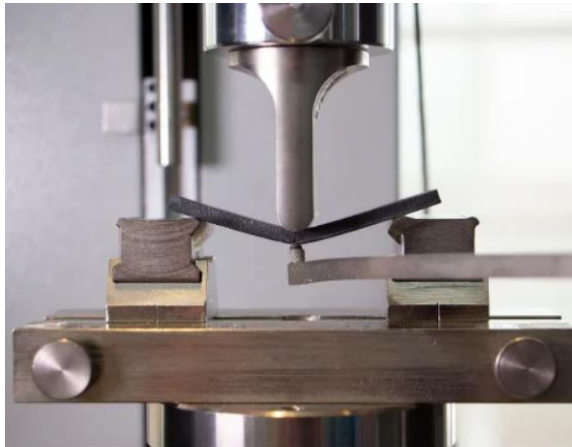


Figura 2. 5 Ensayo a flexión [38]

A continuación, se describen las fórmulas que se aplican para poder calcular las propiedades mecánicas en el ensayo de flexión

➤ **Esfuerzo máximo**

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Ec. 2.8

Donde:

σ = Esfuerzo máximo a la flexión (Mpa)

P = Fuerza aplicada (N)

L = Espacio entre apoyos (mm)

b = Ancho de la probeta (mm)

h = Espesor de la probeta (mm)

➤ **Deformación máxima**

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2}$$

Ec. 2.9

Donde:

ε = Deformación máxima (mm/mm)

δ = Deformación (mm)

➤ **Módulo de elasticidad**

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

Ec. 2.10

Donde:

E = Módulo de elasticidad o módulo de Young

$\Delta\sigma$ = Esfuerzo a la tracción entres dos puntos (MPa)

L_g = Deformación entre dos puntos (mm)

2.9.3. Ensayo de impacto

Ensayo que consiste en dejar caer dardos a través de una máquina estándar a una altura o alturas determinadas, hasta que el material falle. Este ensayo busca analizar la energía media de fallo en función de la altura basádonos en la norma ASTM D5628.



Figura 2. 6 Ensayo a flexión [26]

A continuación, se describen las fórmulas que se aplican para poder calcular las propiedades mecánicas en el ensayo de impacto

➤ **Esfuerzo máximo**

$$MEF = h * w * f$$

Ec. 2.11

Donde:

h = Altura máxima de ruptura (mm)

w = Masa (Kg)

f = Factor de conversión a Joules

2.9.4. Análisis Dinámico Mecánico DMA

Análisis térmico exclusivo para materiales poliméricos por su elasticidad, empleado para la determinación de propiedades mecánicas y viscoelásticas mediante la aplicación de cargas sinusoidales provocando deformaciones, basándonos en la norma ASTM D7028-07. El equipo utilizado para el ensayo fue analizador mecánico DMA 850.

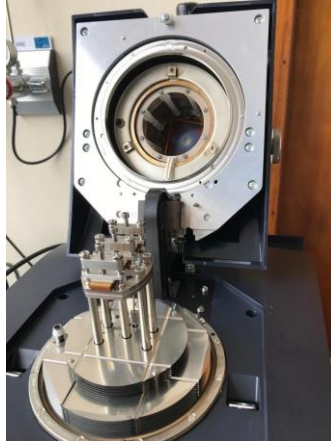


Figura 2. 7 Análisis dinámico mecánico [Autor]

➤ **Módulo complejo**

$$E^* = E' + E''$$

Ec. 2.12

➤ **Módulo de almacenamiento**

$$E' = (\sigma_o/\gamma_o)\cos \delta$$

Ec. 2.13

➤ **Módulo de pérdida**

$$E'' = (\sigma_o/\gamma_o)\sen \delta$$

Ec. 2.14

➤ **Tangente de pérdida (tan δ)**

$$\tan \delta = E''/E'$$

Ec. 2.15


CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

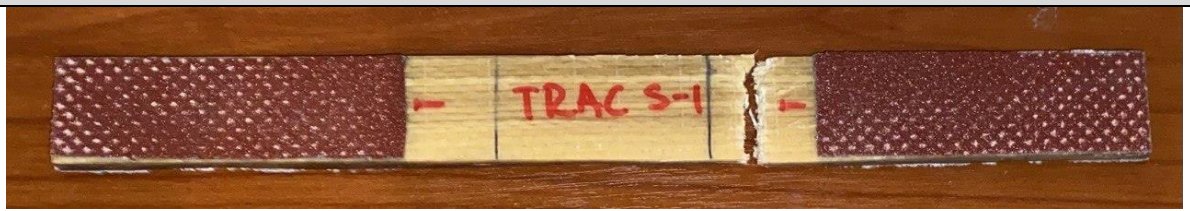
3.1. Interpretación y tabulación de los resultados

Los valores que se lograron constatar y recolectar de los ensayos realizados de tracción, flexión, impacto y DMA; son los que se detallan a continuación.

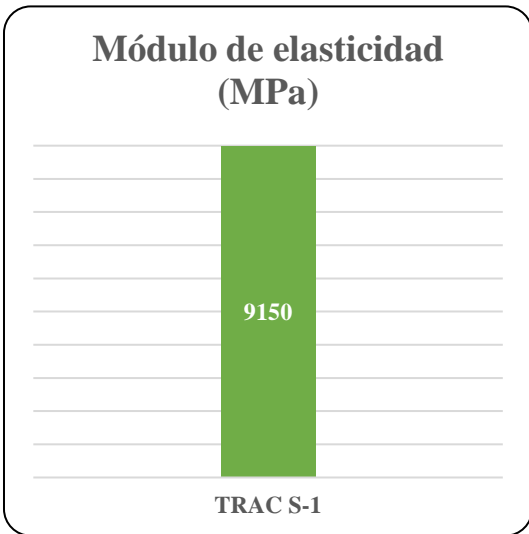
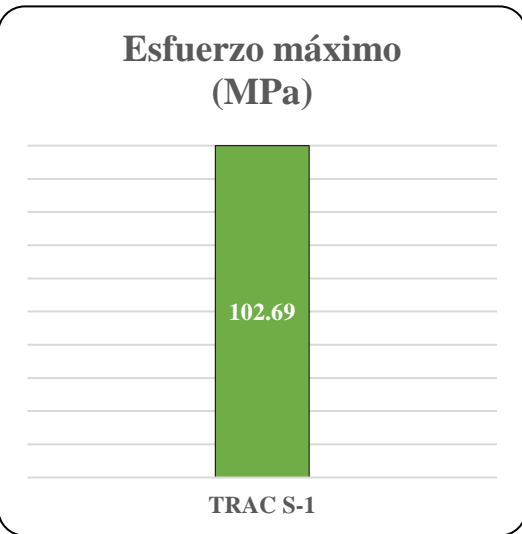
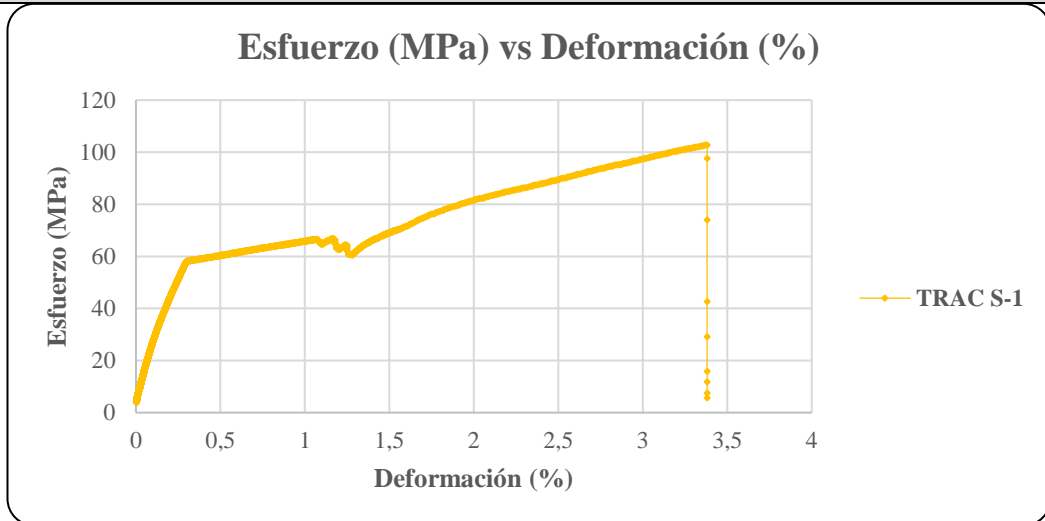
3.1.1. Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	TRAC S-1		
Fecha de ejecución:	22/07/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1	
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.33*e	Peso de la matriz (g):	85	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión	
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+Ch+Ch+Ch+Ch	Espesor promedio (mm):	4.89	
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	12720	59	103	9500	1	LAT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación. La muestra tiene un tipo de fallo LAT, lo que significa que la probeta tiene una ruptura en la parte superior de la misma.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	103	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	1	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	9500	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	12720	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.1: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 1 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-2
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.15*e	Peso de la matriz (g):	31
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V	Espesor promedio (mm):	1.4
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

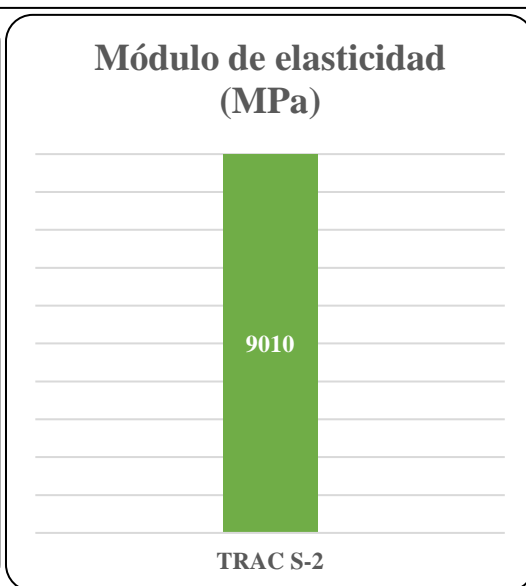
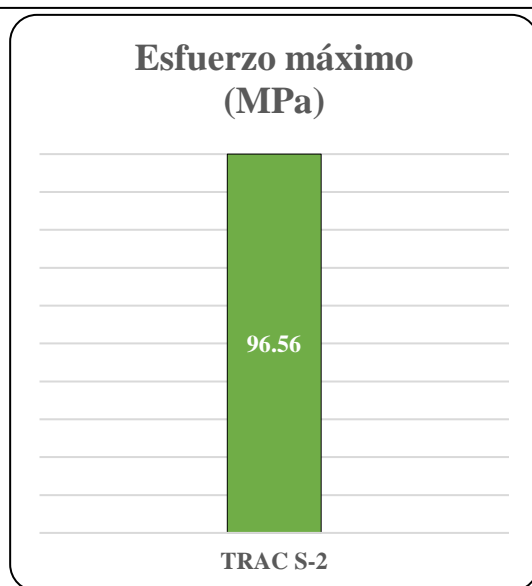
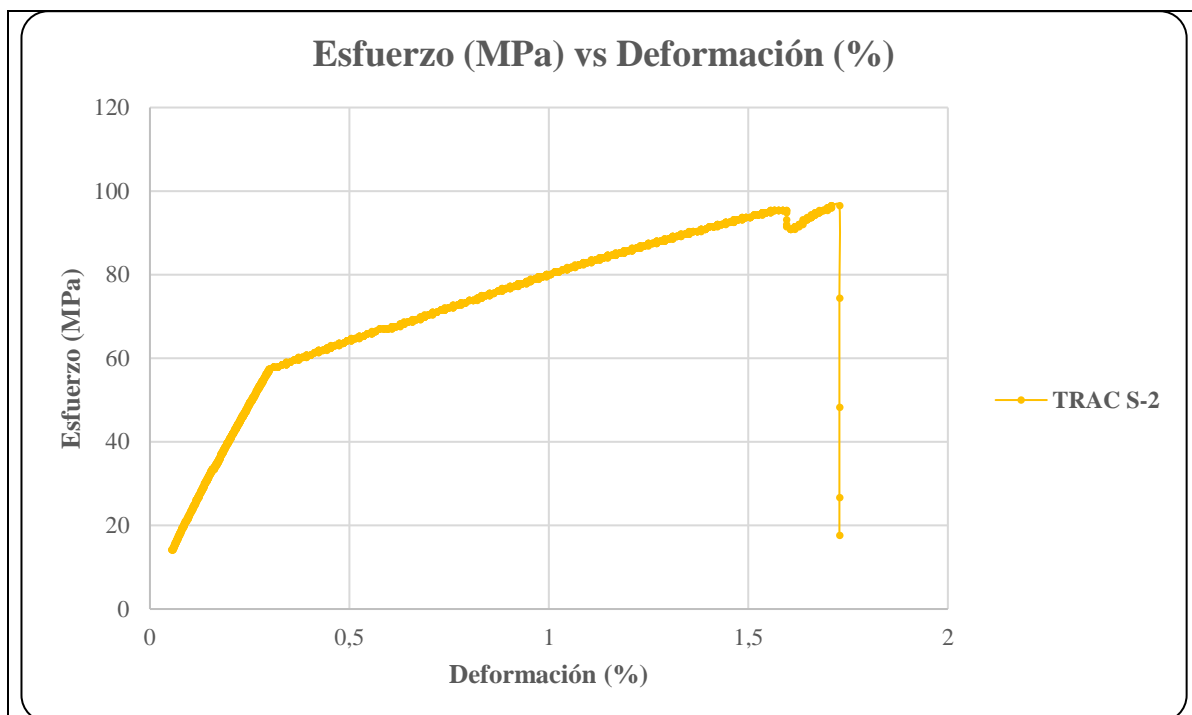
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	3400	61	97	9010	1.5	AGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	97	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	1.5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	9010	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	3400	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.2: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 2 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-3
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.34*e	Peso de la matriz (g):	48
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V+Ch	Espesor promedio (mm):	2.16
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

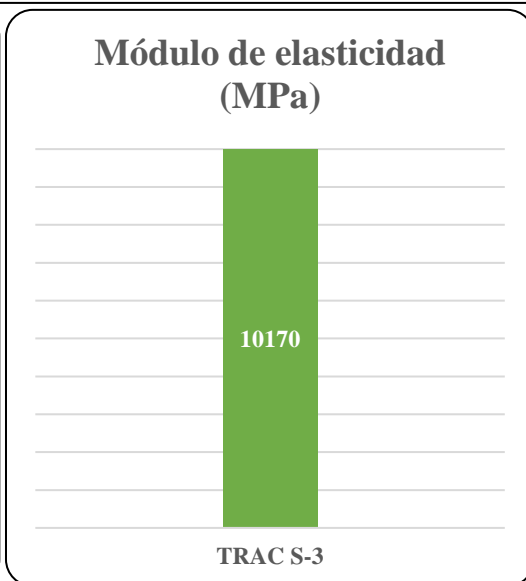
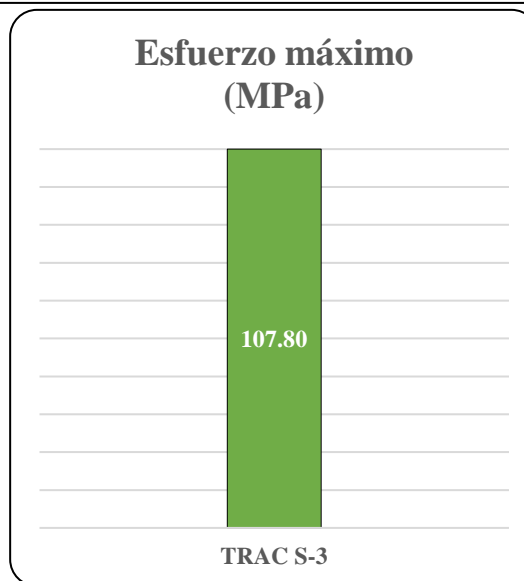
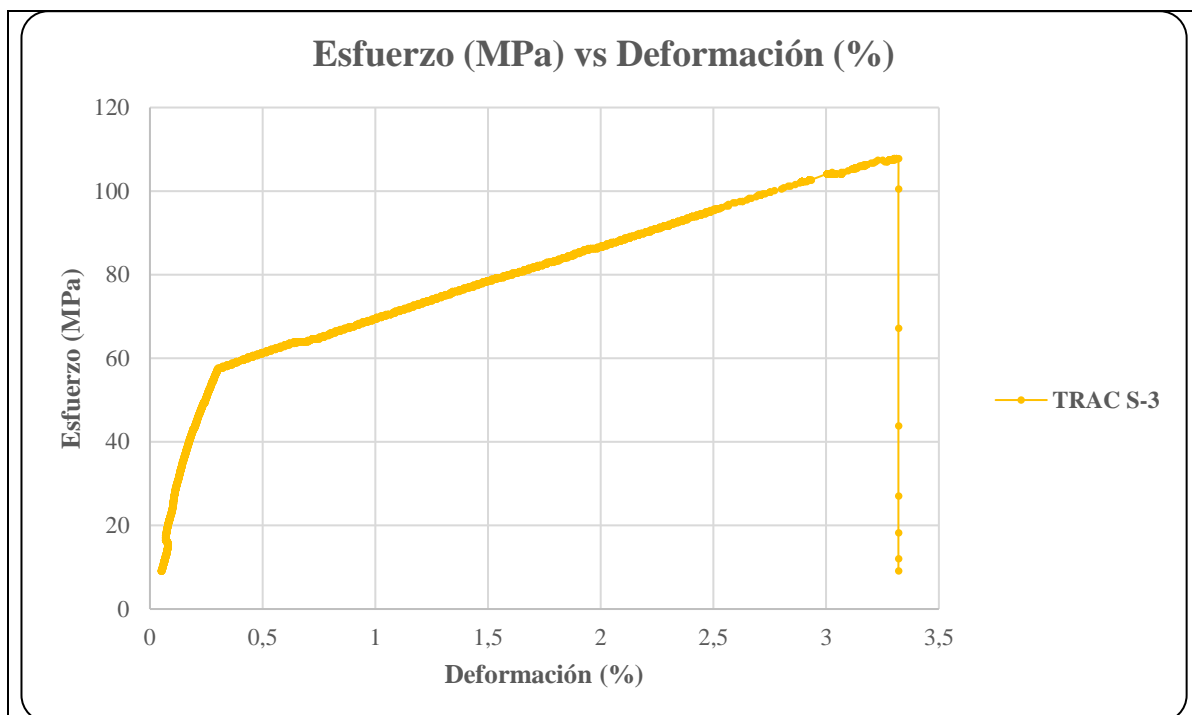
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	5900	59	108	1017	2.5	AGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	108	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	2,5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	1017	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	5900	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.3: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 3 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-4
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.16*e	Peso de la matriz (g):	45
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	1.73
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	6820	79	157	11210	0	AGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

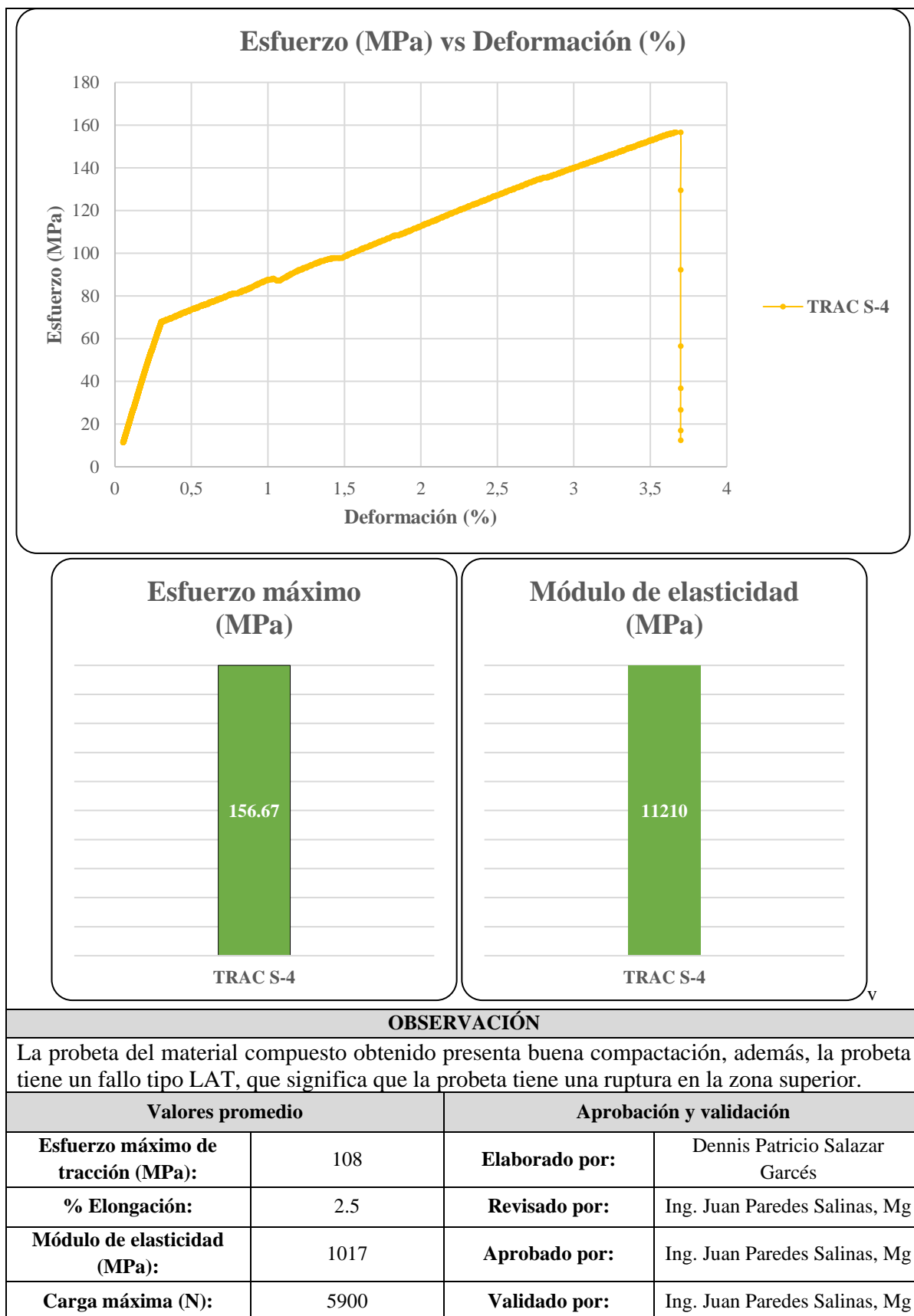


Tabla 3.4: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 4 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-5
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.30*e	Peso de la matriz (g):	62
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	2.79
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

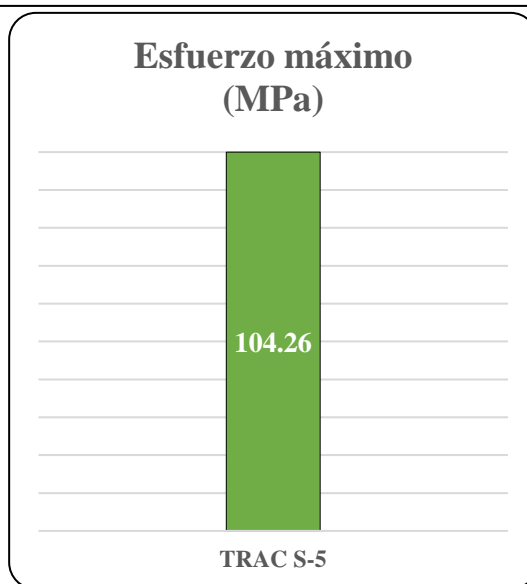
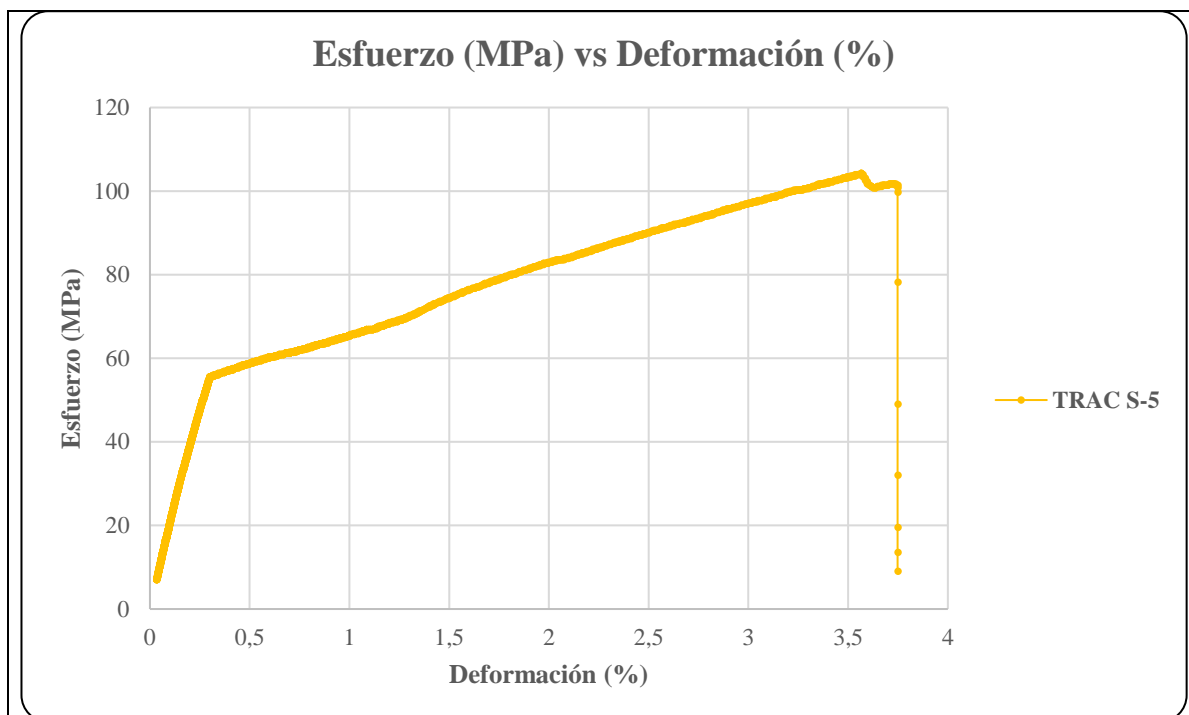
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	7360	57	104	9180	0.5	LAT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN			
La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo LAT, que significa que la probeta tiene una ruptura en la zona superior.			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	104	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	0.5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	9180	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	7360	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.5: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 5 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-6
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.24*e	Peso de la matriz (g):	79
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V+Ch+V+Ch	Espesor promedio (mm):	3.23
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

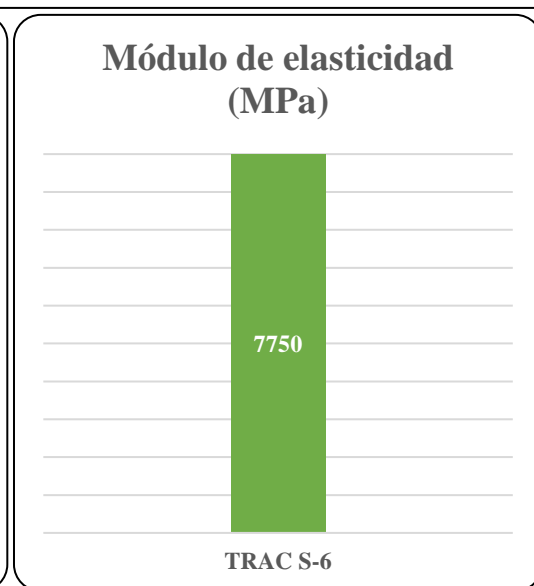
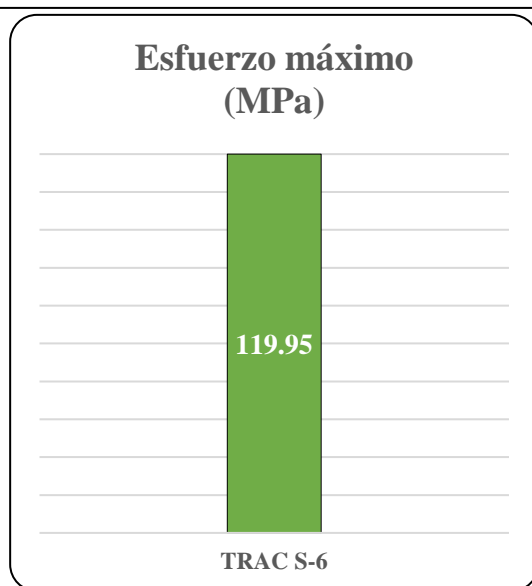
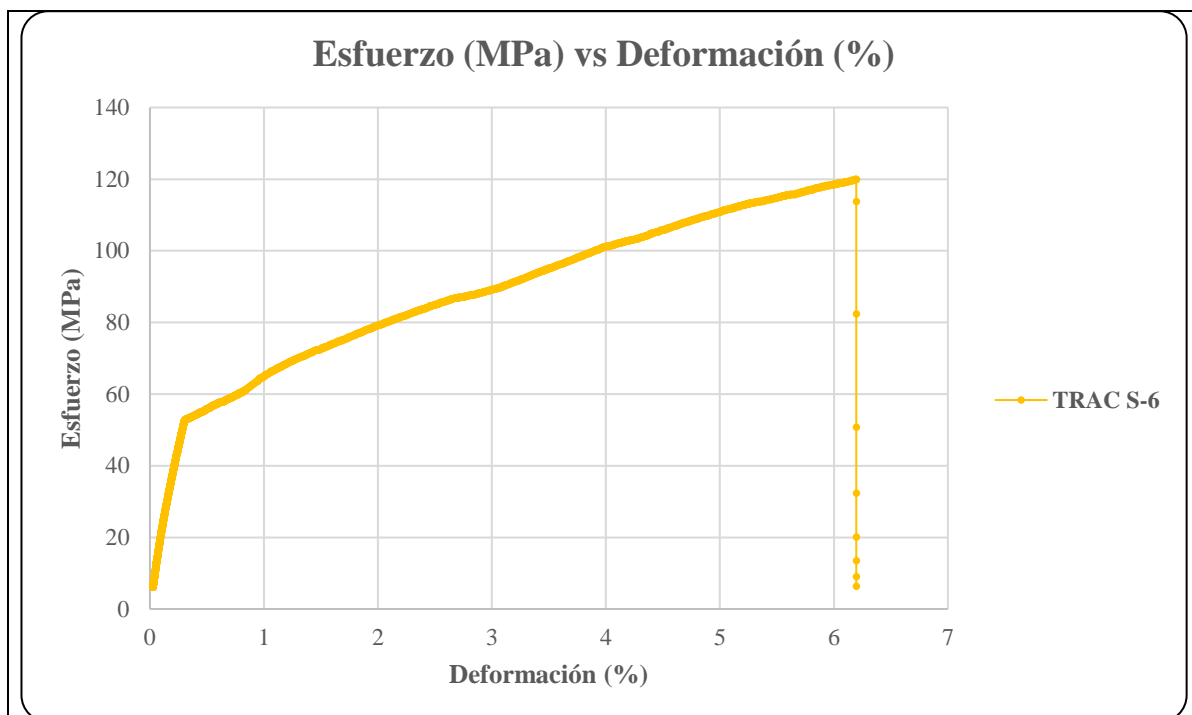
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	9780	57	120	7750	1.0	LAT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN			
La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo LAT, que significa que la probeta tiene una ruptura en la zona superior.			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	120	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	1.0	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	7750	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	9780	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.6: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 6 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-7
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.21*e	Peso de la matriz (g):	76
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	V+Ch+V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	2.52
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

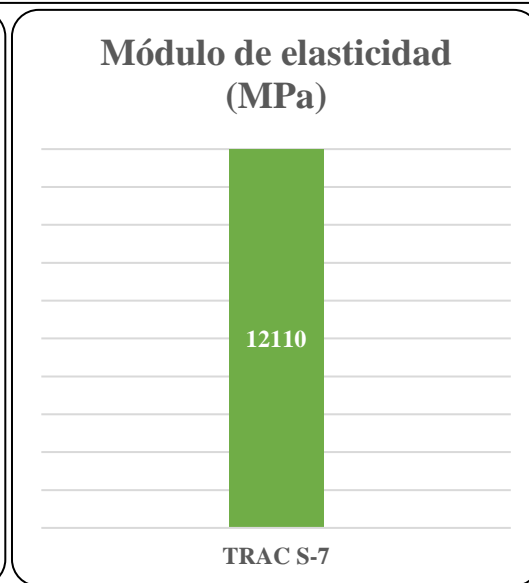
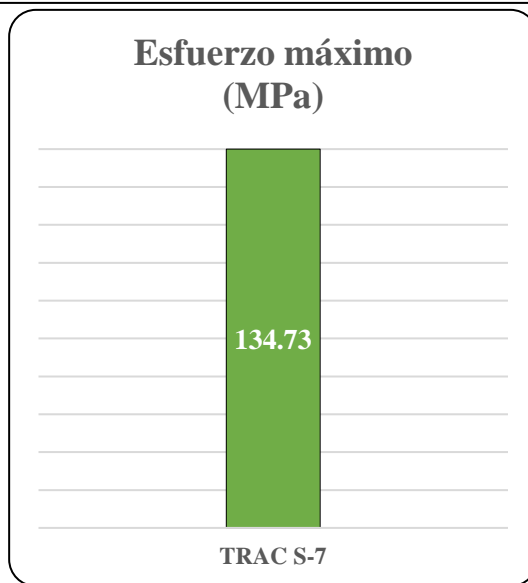
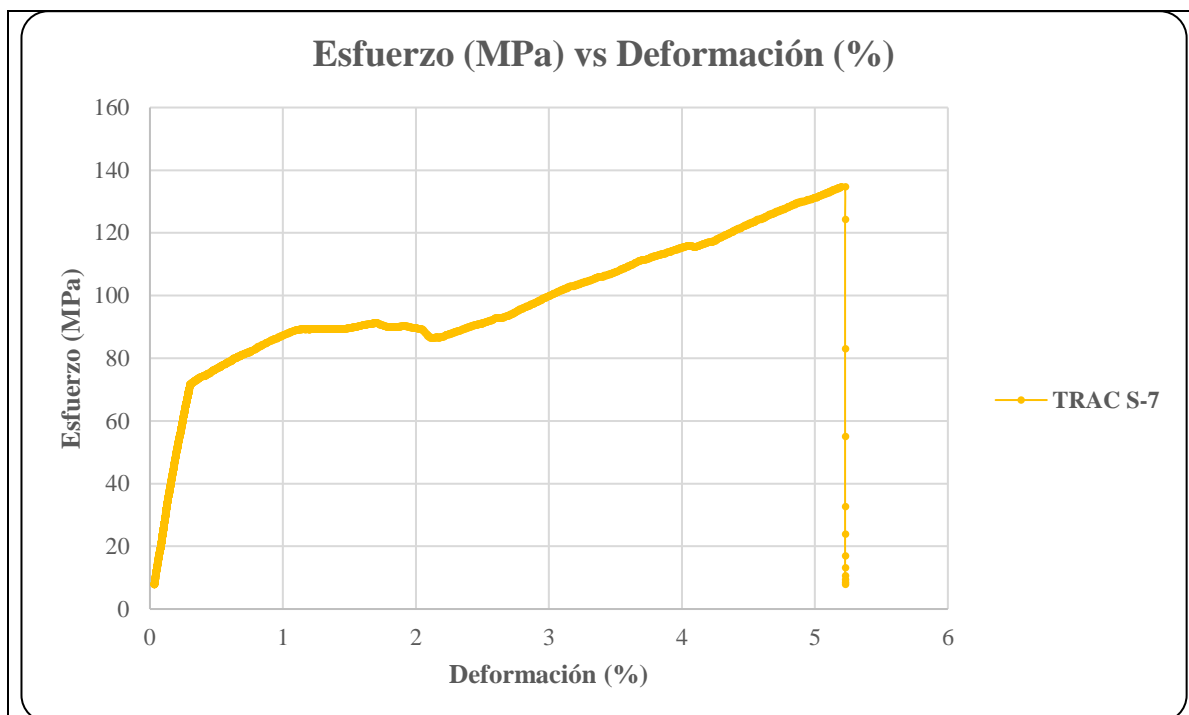
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	8560	74	135	12110	0.50	LAT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN			
La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo LAT, que significa que la probeta tiene una ruptura en la zona superior.			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	135	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	0.50	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	12110	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	8560	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.7: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 7 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-8
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.12*e	Peso de la matriz (g):	70
Refuerzo:	Fibra de vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	V+V+V+V+V	Espesor promedio (mm):	1.72
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

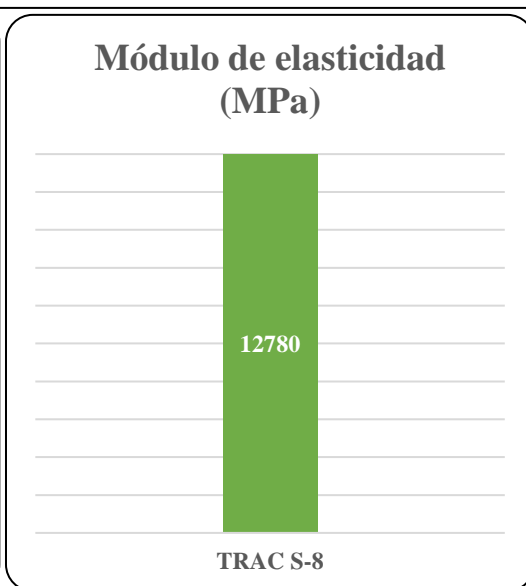
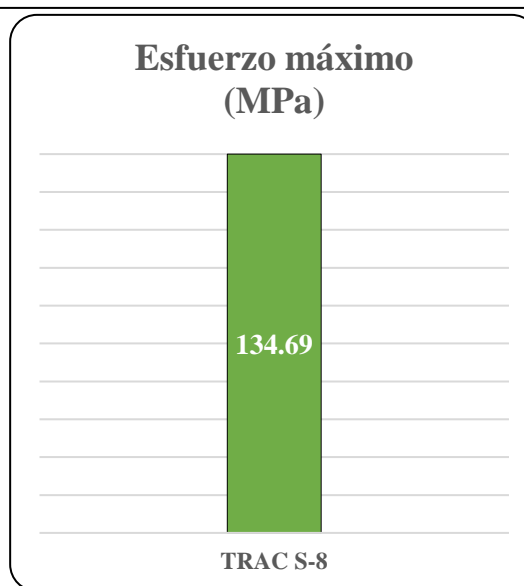
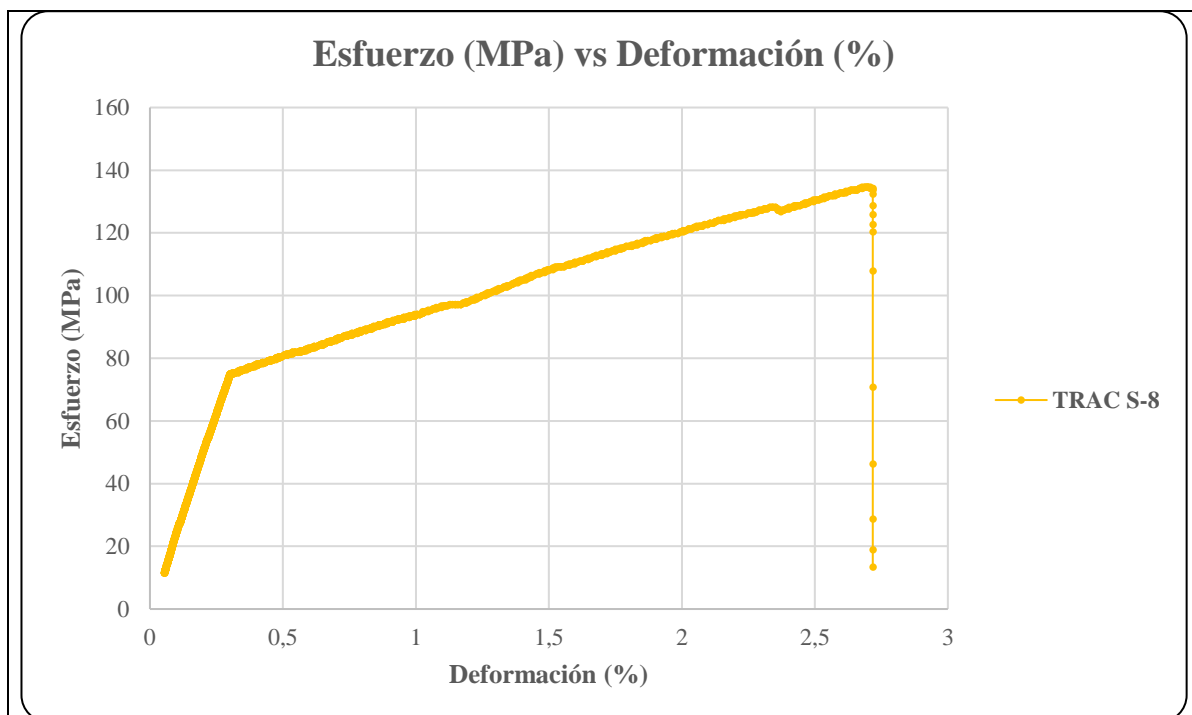
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	5820	78	135	12780	2.50	AGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	120	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	1.0	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	7750	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	978000	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.8: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 8 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-9
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*24.62*e	Peso de la matriz (g):	60
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	C+C+C+C+C	Espesor promedio (mm):	1.45
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

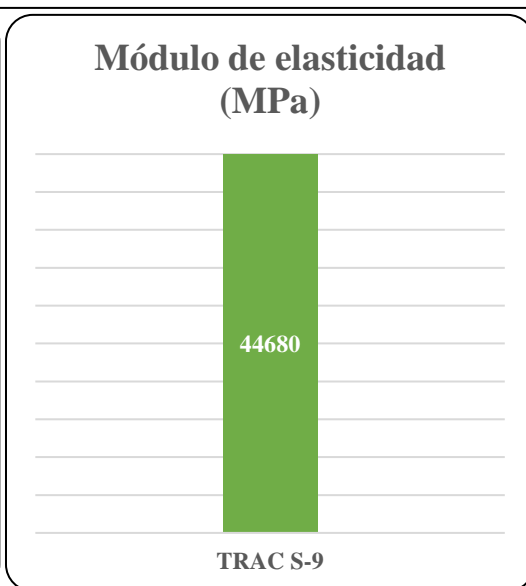
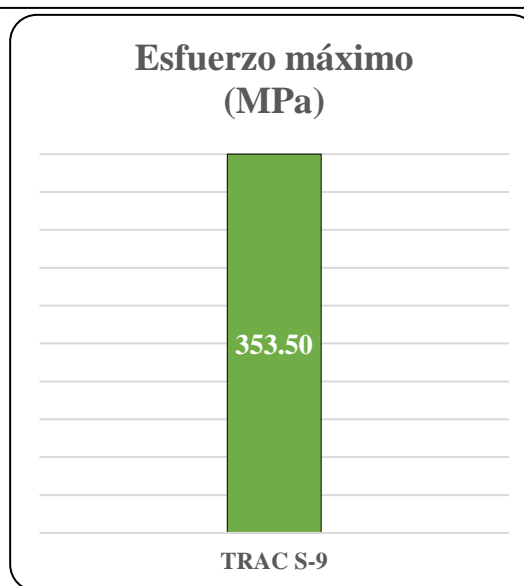
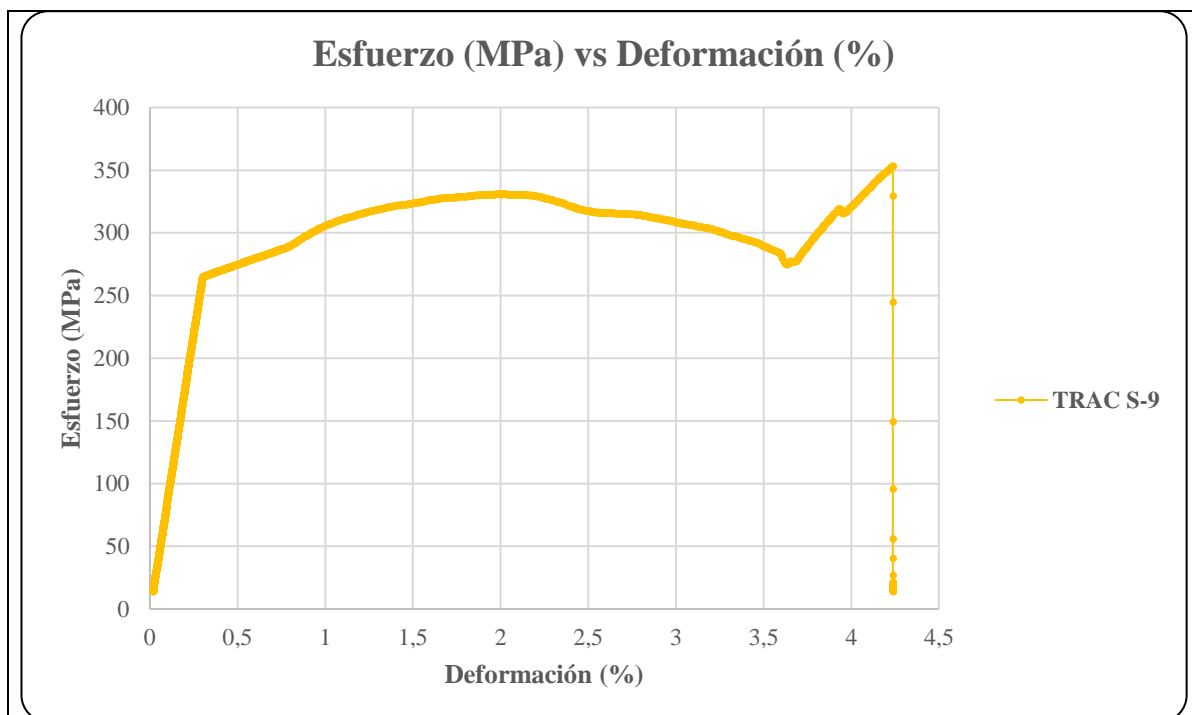
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1262	271	354	44680	0.50	LAT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN			
La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo LAT, que significa que la probeta tiene una ruptura en la zona superior.			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	120	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	1.0	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	7750	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	978000	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.9: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 9 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-10
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*24.47*e	Peso de la matriz (g):	125
Refuerzo:	Fibra de kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	K+K+K+K+K	Espesor promedio (mm):	2.79
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

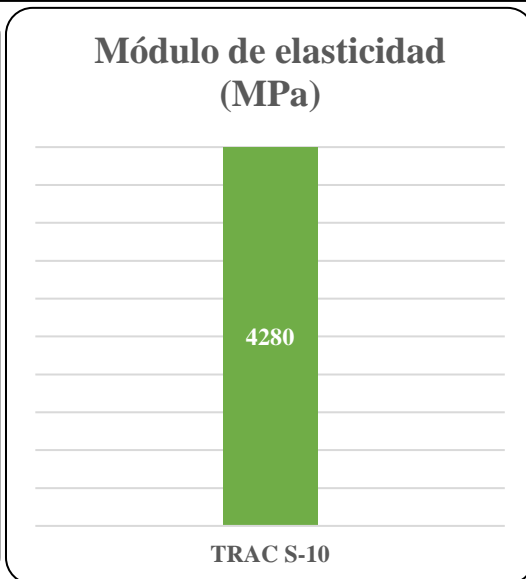
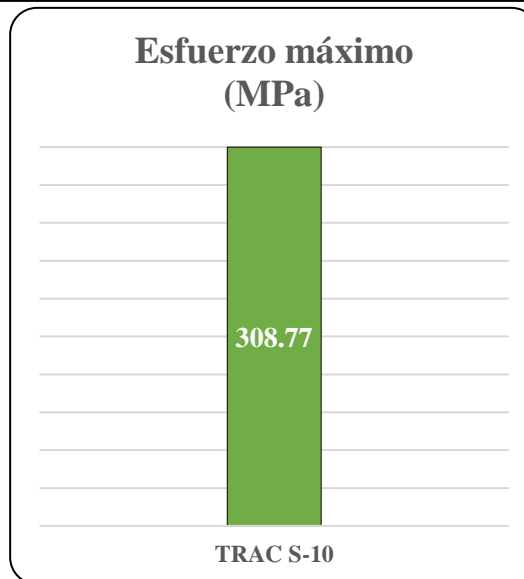
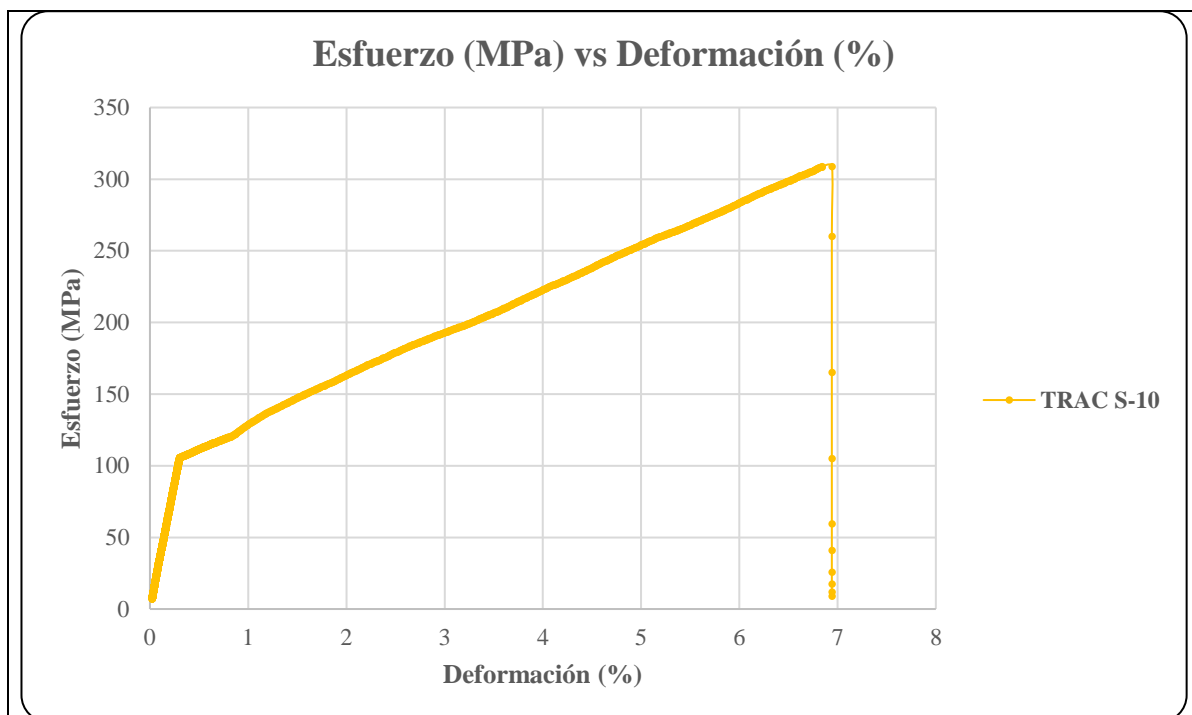
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	21080	155	309	4280	2.50	AGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	309	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	2.50	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	4280	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	21080	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.10: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 10 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-11
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.04*e	Peso de la matriz (g):	29
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+C	Espesor promedio (mm):	1.53
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

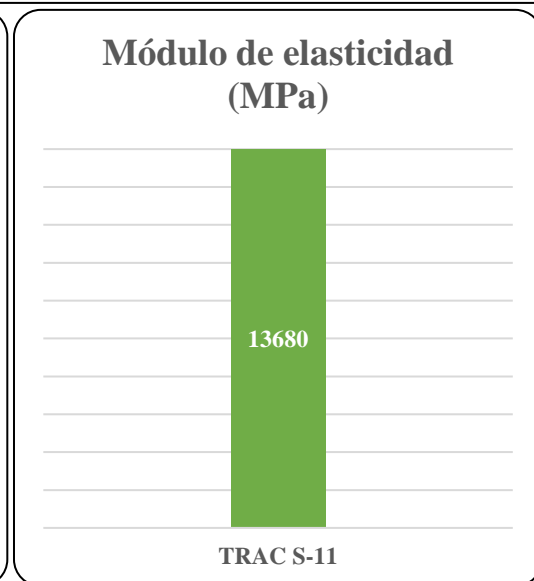
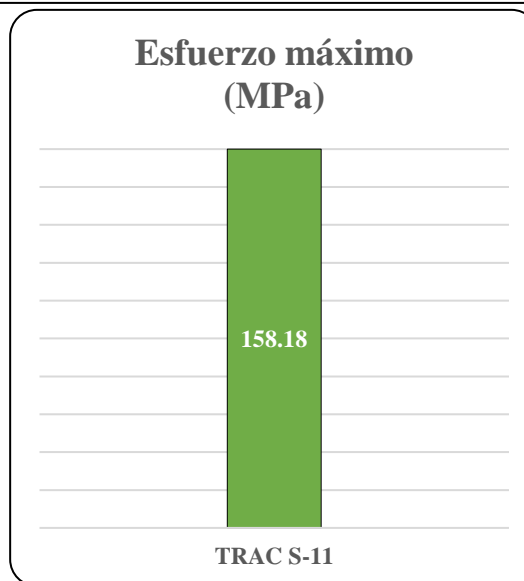
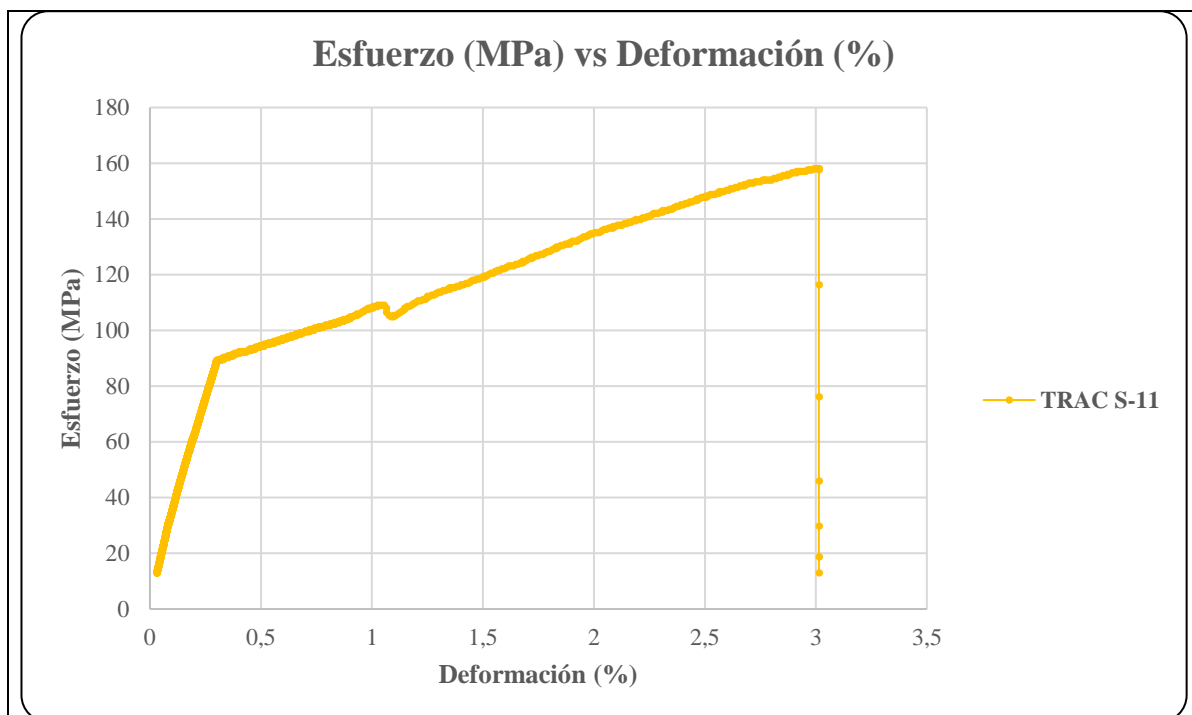
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	6060	92	158	13680	0.50	AGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	158	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	0.50	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	13680	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	6060	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.11: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 11 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-12
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

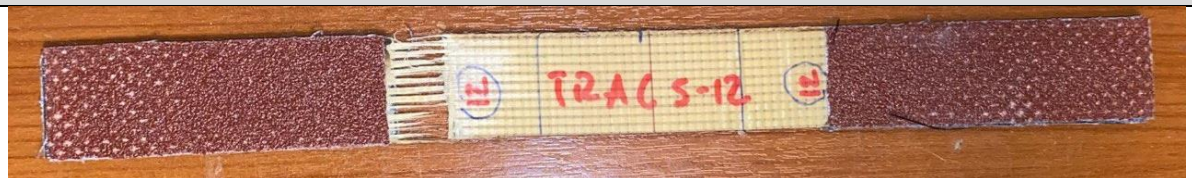
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.04*e	Peso de la matriz (g):	42
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+K	Espesor promedio (mm):	1.56
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

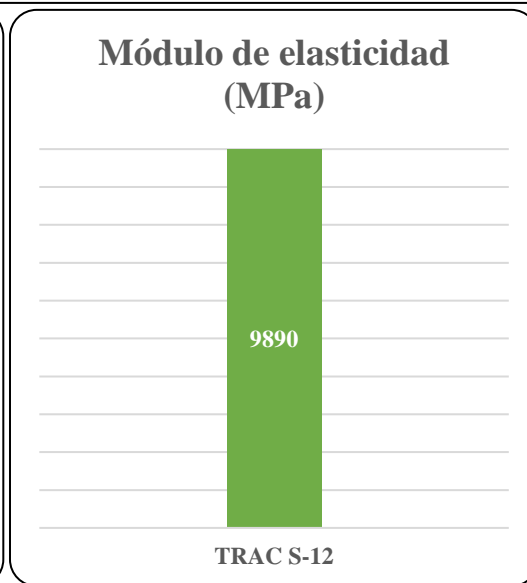
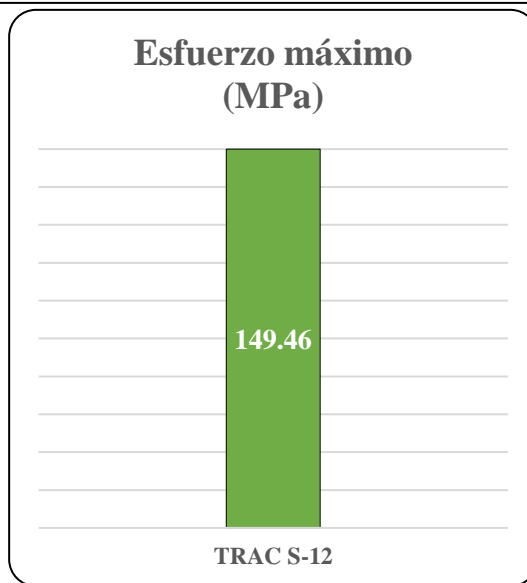
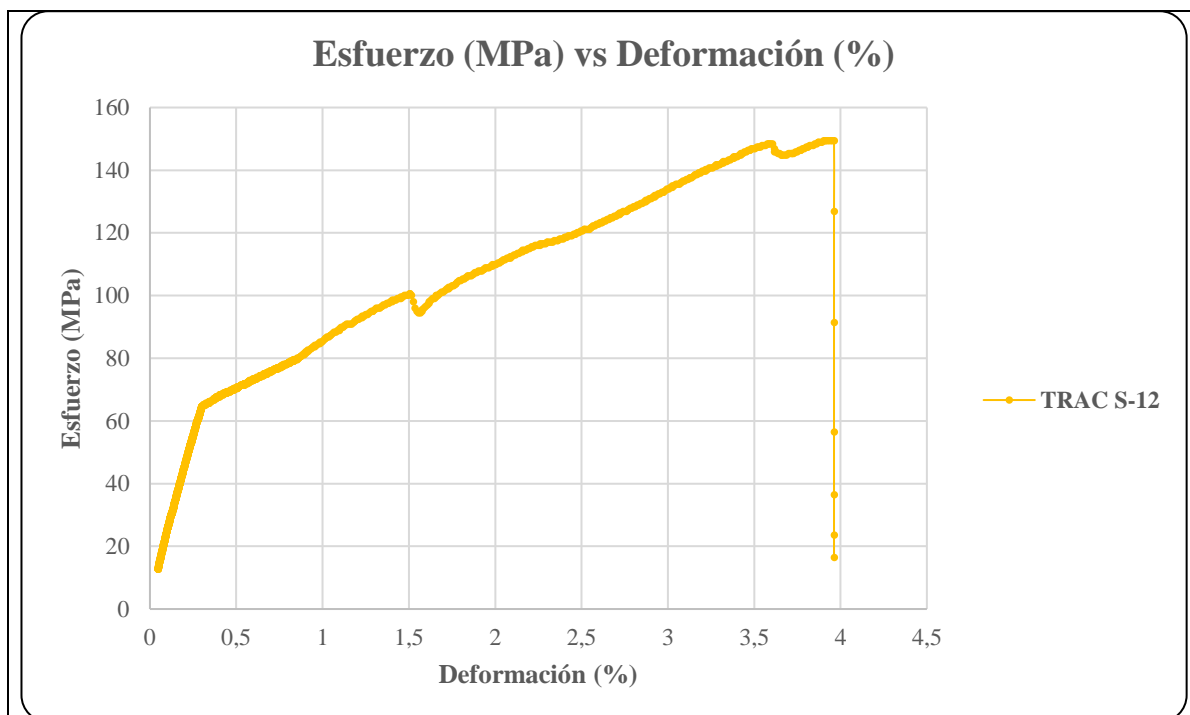
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	5820	75	149	9890	0.0	LAT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN			
La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo LAT, que significa que la probeta tiene una ruptura en la zona superior.			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	158	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	0.50	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	13680	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	6060	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.12: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 12 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-13
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.04*e	Peso de la matriz (g):	46
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+C+Ch	Espesor promedio (mm):	2.37
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

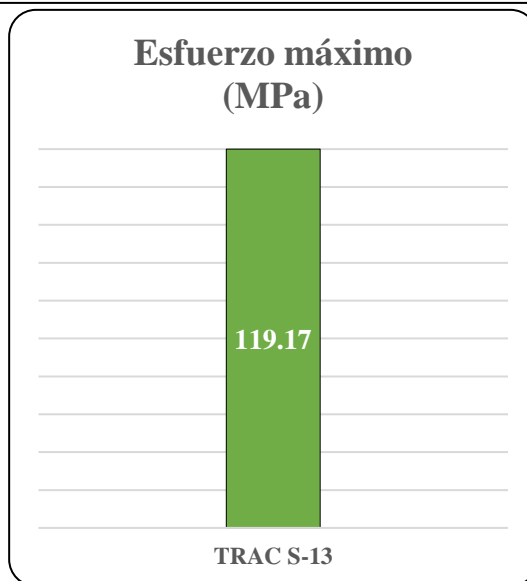
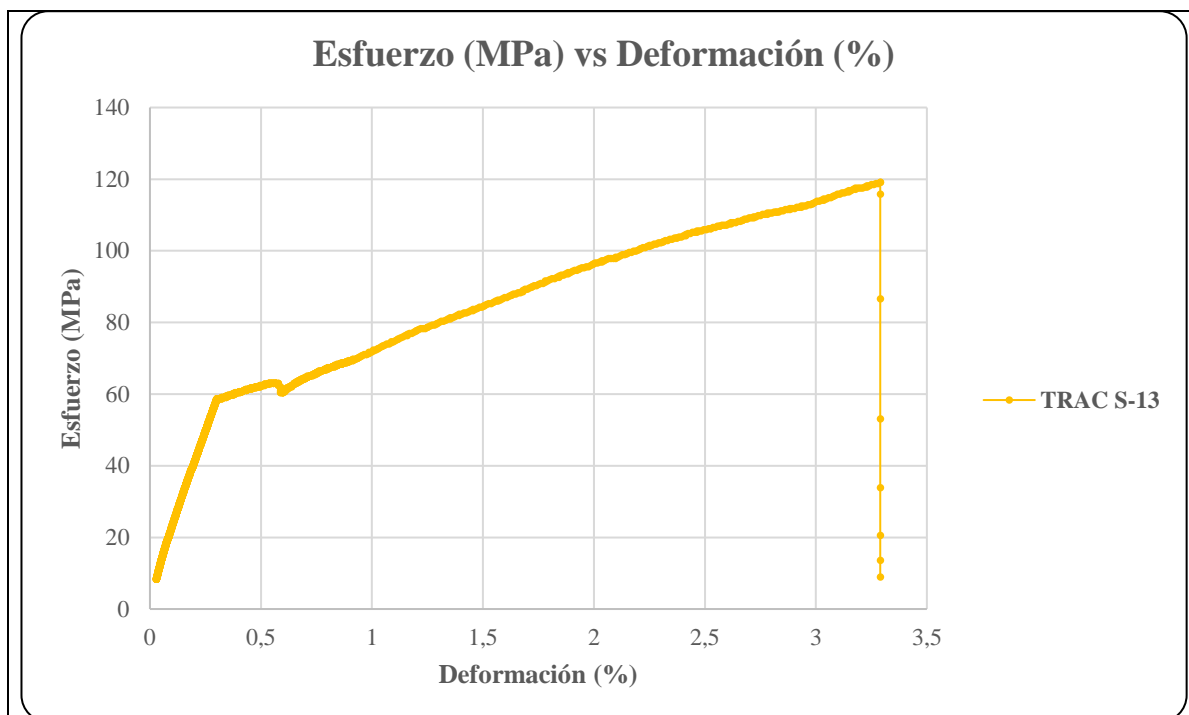
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	7180	61	119	8790	1.5	AGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	119	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	1.5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	8790	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	7180	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.13: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 13 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TRACCIÓN ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	TRAC S-14
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

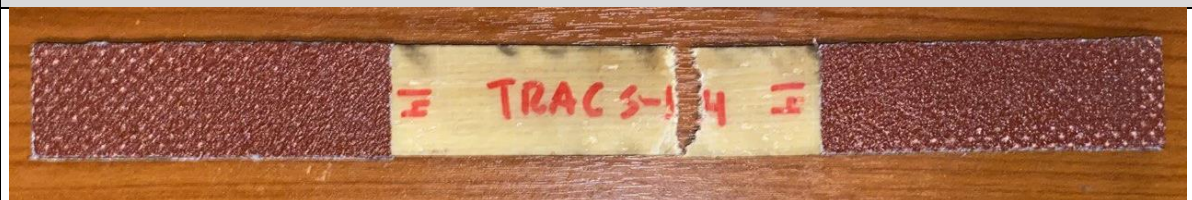
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	50*25.04*e	Peso de la matriz (g):	59
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+K+Ch	Espesor promedio (mm):	2.31
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

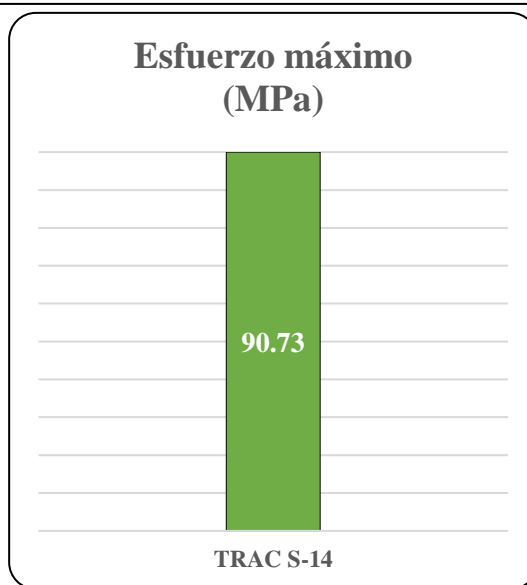
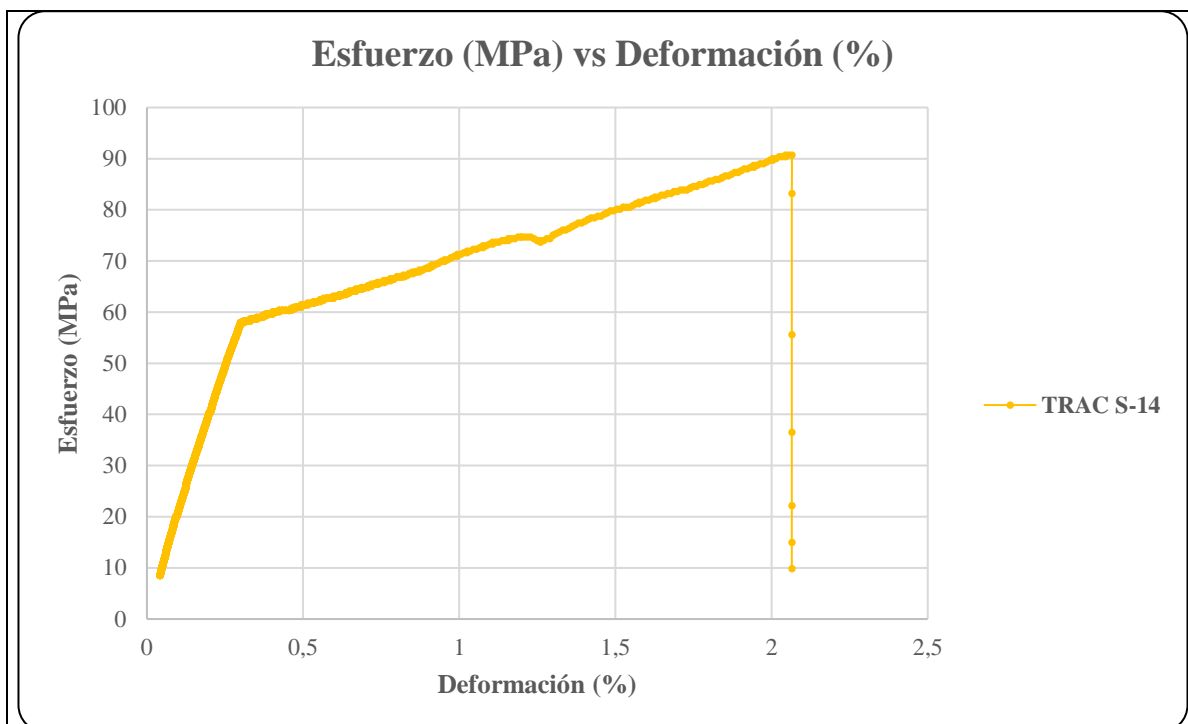
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	5320	60	91	9580	1.5	AGM

PROBETAS ENSAYADAS





GRÁFICAS



OBSERVACIÓN			
La probeta del material compuesto obtenido presenta buena compactación, además, la probeta tiene un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida.			
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	91	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
% Elongación:	1.5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	9580	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	5320	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.14: Ficha técnica del material compuesto a Tracción combinación 14 [Autor]

3.1.2. Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a flexión

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA </div>  </div>					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-1		
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.1*e	Peso de la matriz (g):	85
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+Ch+Ch+Ch+Ch	Espesor promedio (mm):	4.53
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
1	135.31	109.41	18.59	7580	OAT
PROBETAS ENSAYADAS					
					



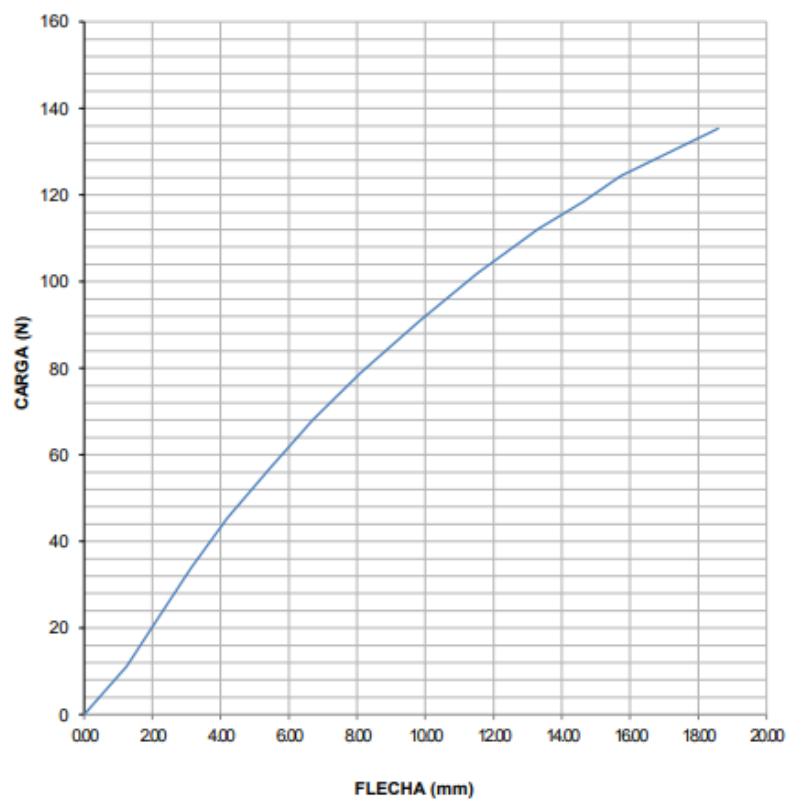
GRÁFICAS

ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 1

DESIGNACIÓN: Flex-1

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	109.41	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	7580	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	18.59	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	135.31	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.15: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 1 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-2
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.07*e	Peso de la matriz (g):	31
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V	Espesor promedio (mm):	4.53
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
1	44.38	92.58	7.63	3970	OAT

PROBETAS ENSAYADAS





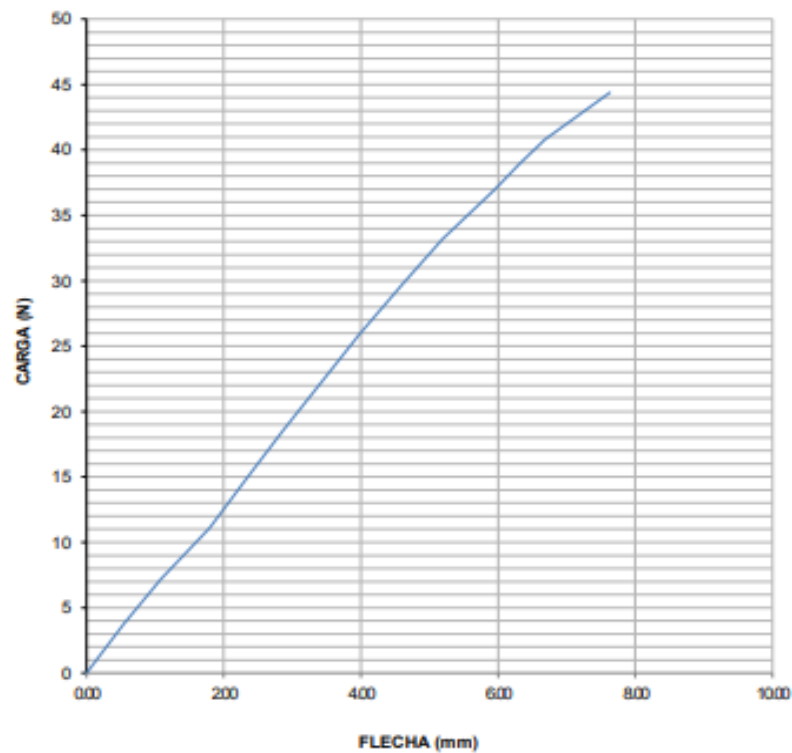
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 2

DESIGNACIÓN: Flex-2

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	92.58	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	3970	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	7.63	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	44.38	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.16: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 2 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-3
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.18*e	Peso de la matriz (g):	48
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V+Ch	Espesor promedio (mm):	2.17
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
1	37.40	62.74	11.31	3880	OAU

PROBETAS ENSAYADAS





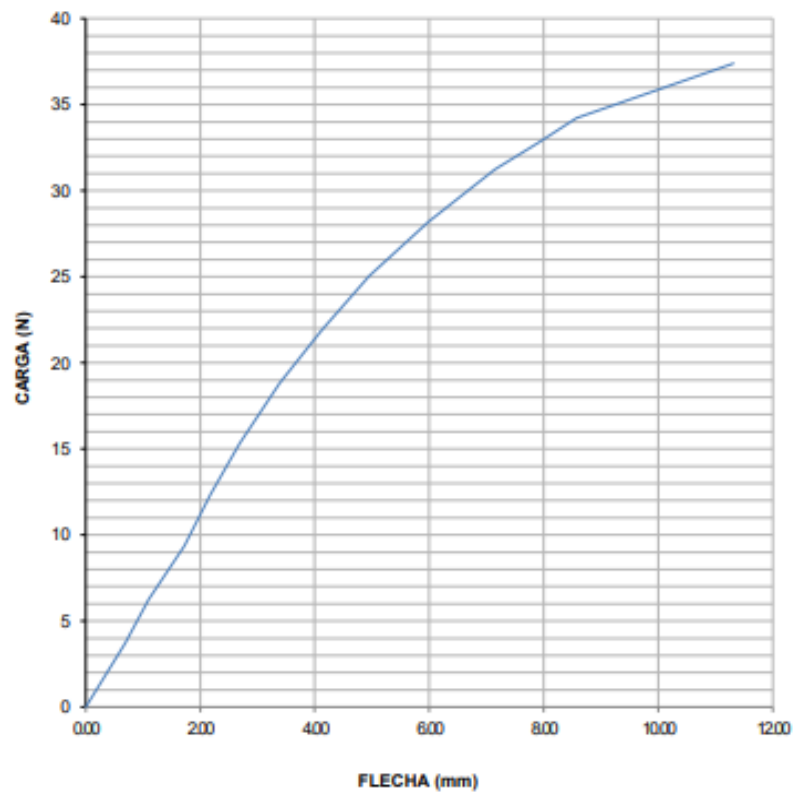
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 3

DESIGNACIÓN: Flex-3

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAU, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de falla es desconocida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	62.74	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	3880	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	11.31	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	37.40	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.17: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 3 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-4
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

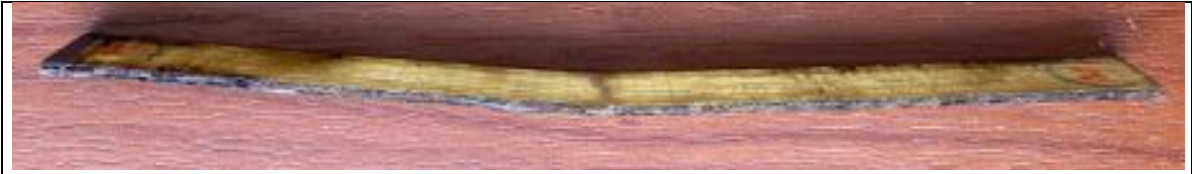
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.31*e	Peso de la matriz (g):	45
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	1.70
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
1	133.76	283.65	10.84	8990	OAB

PROBETAS ENSAYADAS





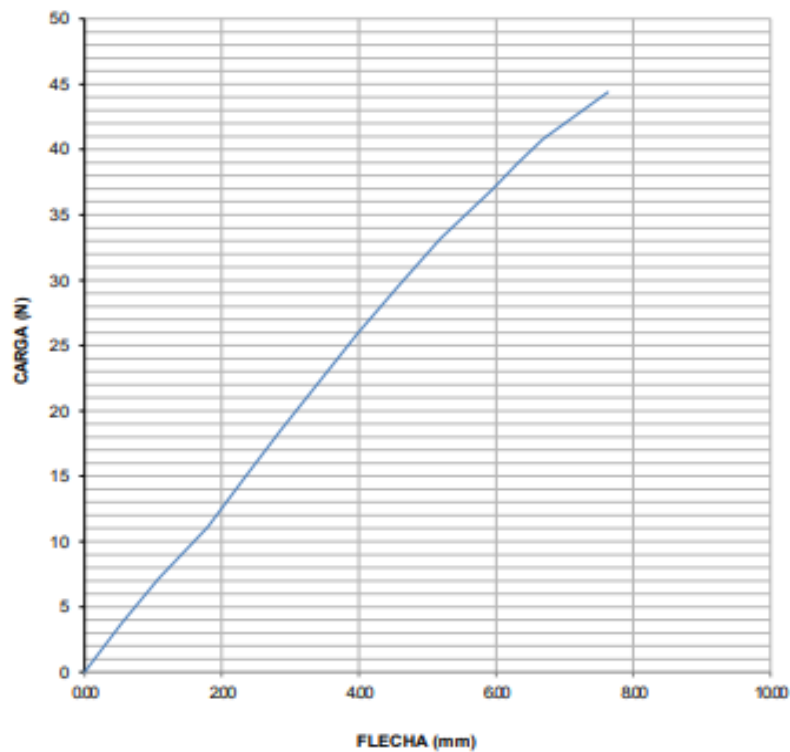
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 2

DESIGNACIÓN: Flex-2

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, además tiene el tipo de falla OAB la cual nos indica que la falla está en la punta de carga y la localización de la falla es profunda.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	283.65	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	8990	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	10.84	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	133.76	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.18: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 4 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-5
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.29*e	Peso de la matriz (g):	62
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	2.52
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
1	103.14	147.78	11.43	8090	OAT

PROBETAS ENSAYADAS





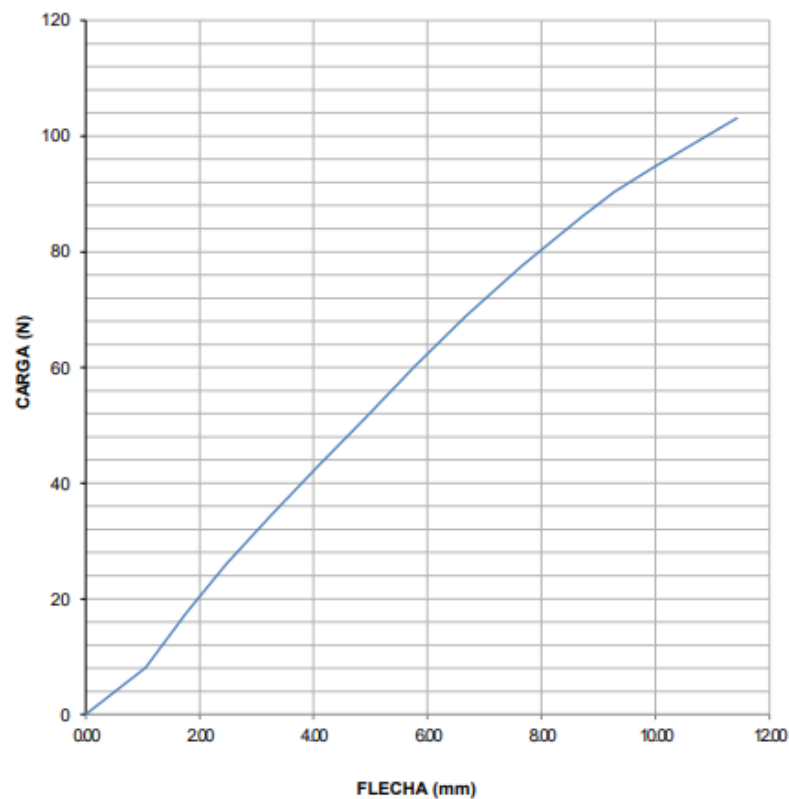
GRÁFICAS

ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 5

DESIGNACIÓN: Flex-5

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	147.78	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	8090	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	11.43	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	103.14	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.19: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 5 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-6
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.26*e	Peso de la matriz (g):	79
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+V+Ch+V+C h	Espesor promedio (mm):	3.23
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
1	102.08	114.37	17.30	5580	OAU

PROBETAS ENSAYADAS





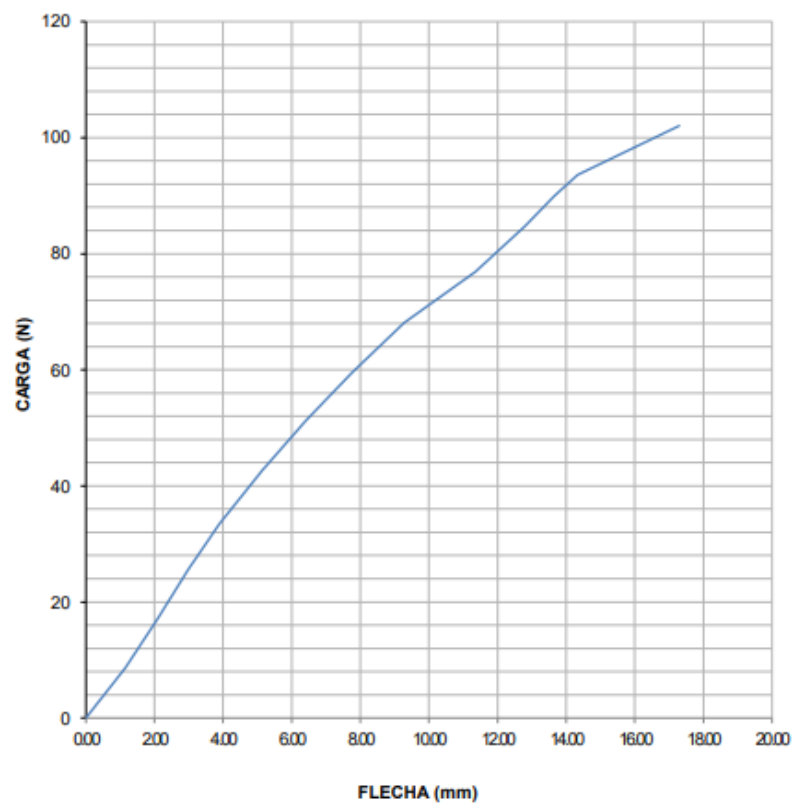
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 6

DESIGNACIÓN: Flex-6

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAU, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de falla es desconocida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	114.37	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	5580	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	17,30	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	102.08	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.20: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 6 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-7
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.32*e	Peso de la matriz (g):	76
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	V+Ch+V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	2.22
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
1	136.16	220.95	8.16	11900	OAU

PROBETAS ENSAYADAS





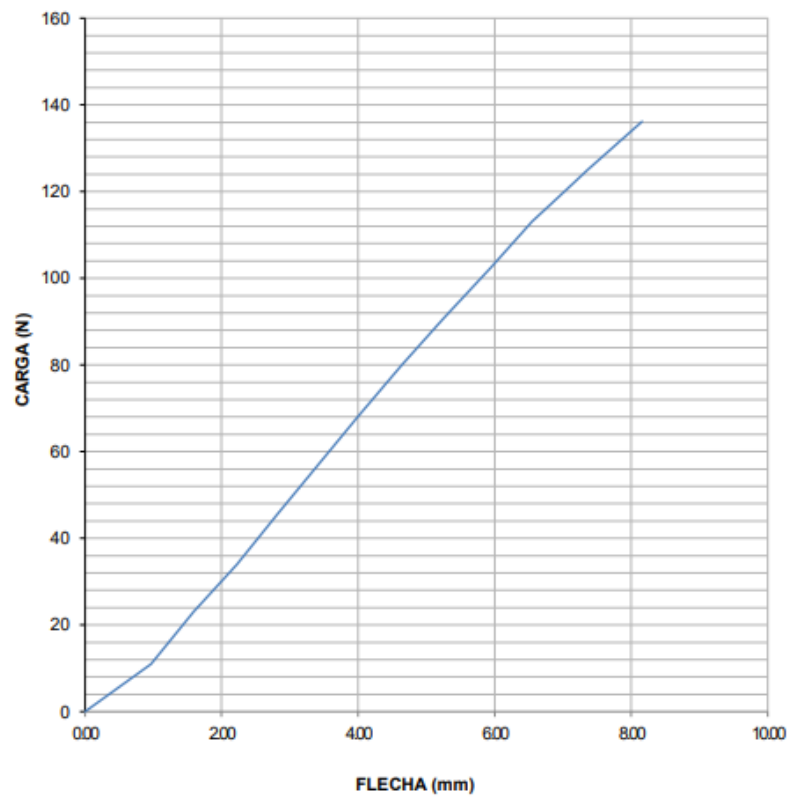
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 7

DESIGNACIÓN: Flex-7

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAU, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de falla es desconocida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	220.95	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	11900	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	8.16	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	136.16	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.21: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 7 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-8
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.39*e	Peso de la matriz (g):	70
Refuerzo:	Fibra de vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	V+V+V+V+V	Espesor promedio (mm):	1.72
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Tipo de fallo evaluado
1	156.10	325.22	10.50	11800	OAU

PROBETAS ENSAYADAS





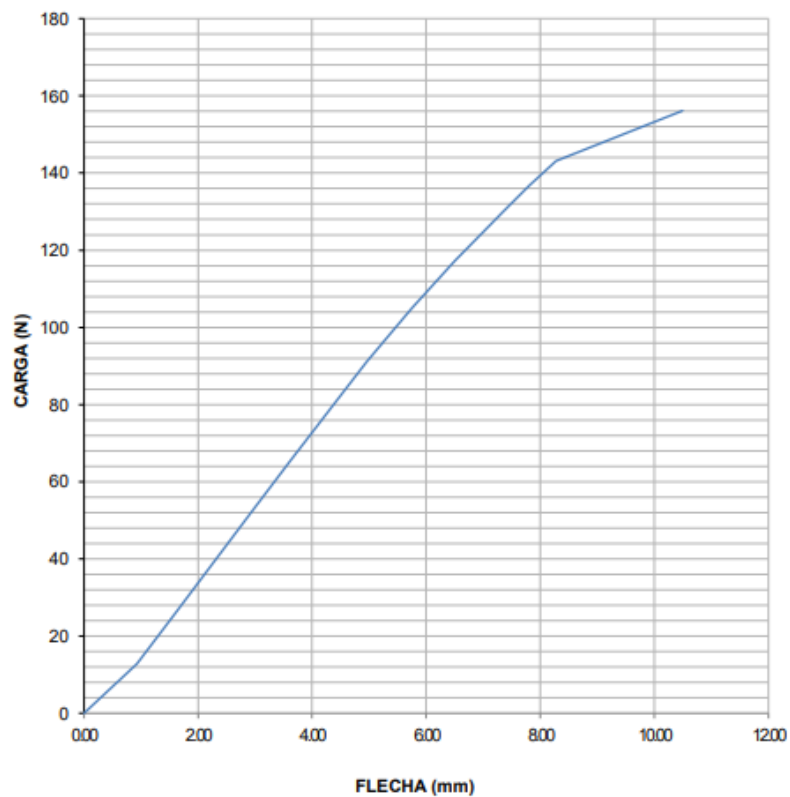
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 8

DESIGNACIÓN: Flex S-8

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAU, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de falla es desconocida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	325.22	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	11800	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	10.50	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	156.10	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.22: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 8 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-9
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.4*e	Peso de la matriz (g):	60
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	C+C+C+C+C	Espesor promedio (mm):	1.24
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Tipo de fallo evaluado
1	183.84	530.89	7.44	12700	OAU

PROBETAS ENSAYADAS





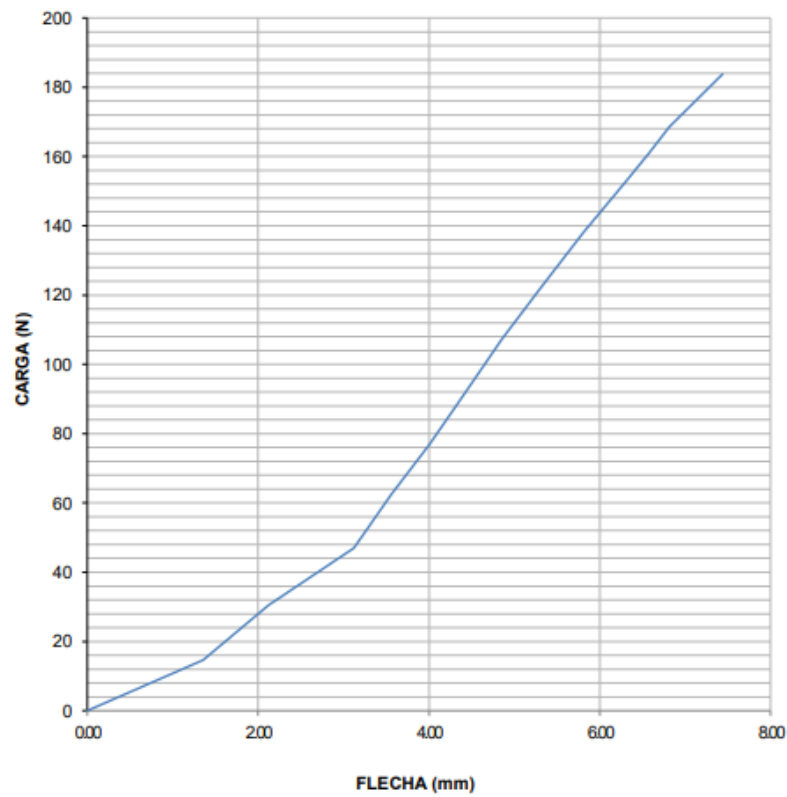
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 9

DESIGNACIÓN: Flex S-9

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAU, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de falla es desconocida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	530.89	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	12700	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	7.44	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	183.84	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.23: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 9 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-10
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.04*e	Peso de la matriz (g):	125
Refuerzo:	Fibra de kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	K+K+K+K+K	Espesor promedio (mm):	2.69
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Tipo de fallo evaluado
1	150.68	206.12	17.94	11900	OAT

PROBETAS ENSAYADAS





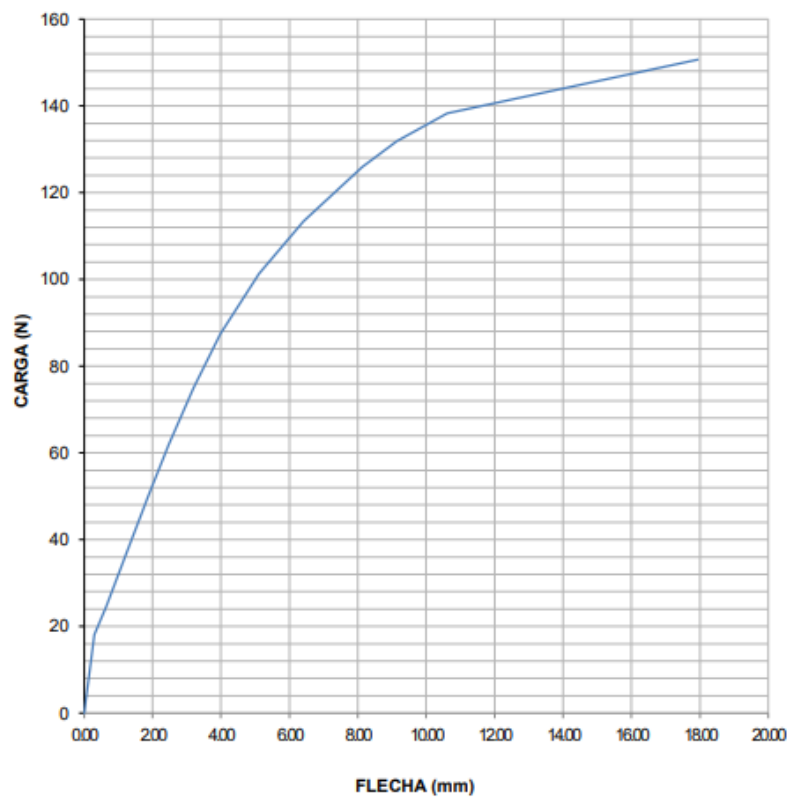
GRÁFICAS

ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 10

DESIGNACIÓN: Flex-10

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	530.89	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	12700	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	7.44	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	183.84	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.24: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 10 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-11
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.07*e	Peso de la matriz (g):	29
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+C	Espesor promedio (mm):	1.36
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Tipo de fallo evaluado
1	46.89	126.58	10.13	5140	OAT

PROBETAS ENSAYADAS





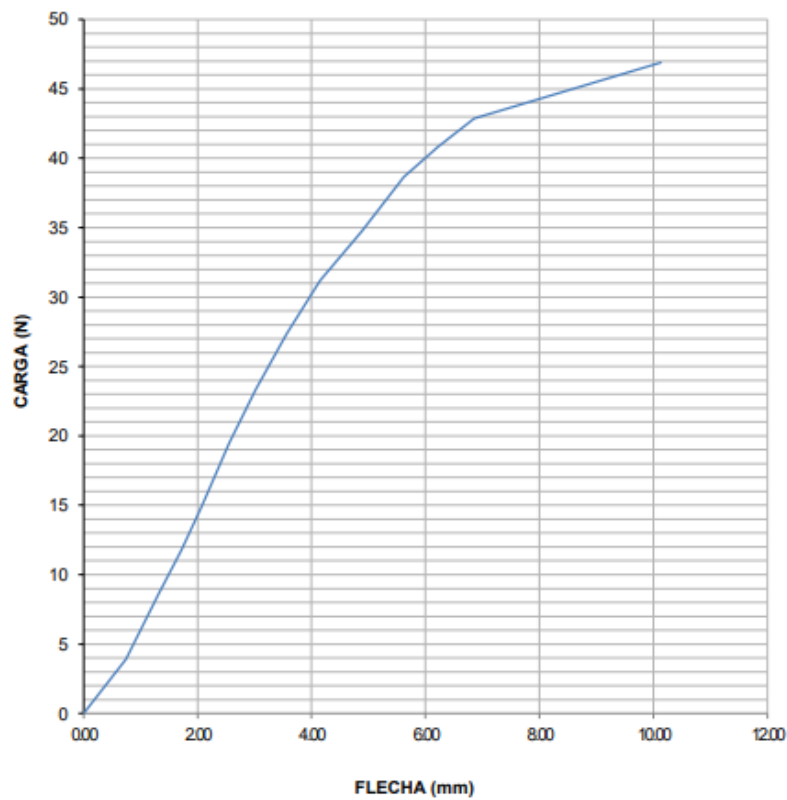
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 11

DESIGNACIÓN: Flex-11

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	126.58	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	5140	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	10.13	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	46.89	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.25: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 11 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-12
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.2*e	Peso de la matriz (g):	42
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+K	Espesor promedio (mm):	1.62
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Tipo de fallo evaluado
1	47.09	105.66	8.58	4500	OAB

PROBETAS ENSAYADAS





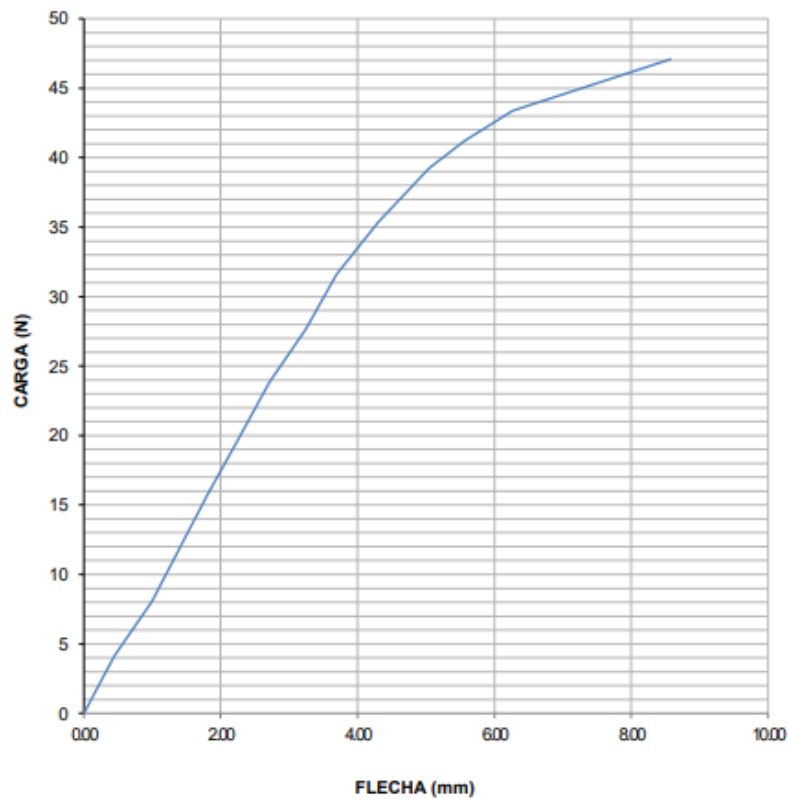
GRÁFICAS

ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 12

DESIGNACIÓN: Flex S-12

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	126.58	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	5140	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	10.13	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	46.89	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.26: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 12 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-13
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.31*e	Peso de la matriz (g):	46
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+C+Ch	Espesor promedio (mm):	2.15
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Tipo de fallo evaluado
1	58.66	98.37	13.02	3770	OAU

PROBETAS ENSAYADAS





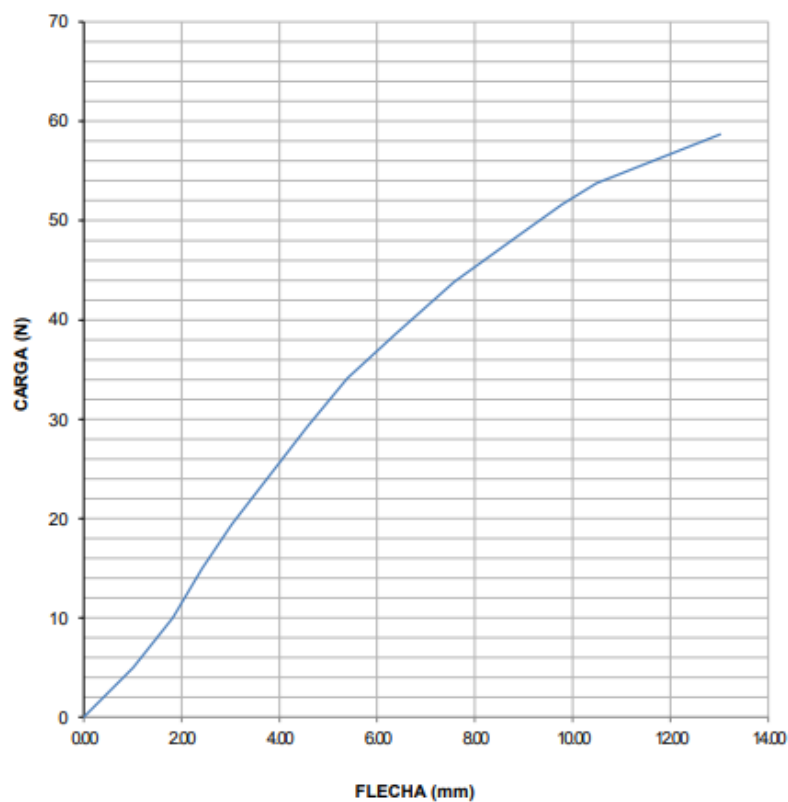
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 13

DESIGNACIÓN: Flex-13

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22



OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAU, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de falla es desconocida.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	126.58	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	5140	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	10.13	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	46.89	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.27: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 13 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

FLEXIÓN ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	FLEX S-14
Fecha de ejecución:	22/07/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	1
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	160*13.25*e	Peso de la matriz (g):	59
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Orientación de la fibra:	N/A	Orden de Capas:	Ch+K+Ch	Espesor promedio (mm):	2.40
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Tipo de fallo evaluado
1	43.56	65.72	10.82	2970	OAT

PROBETAS ENSAYADAS





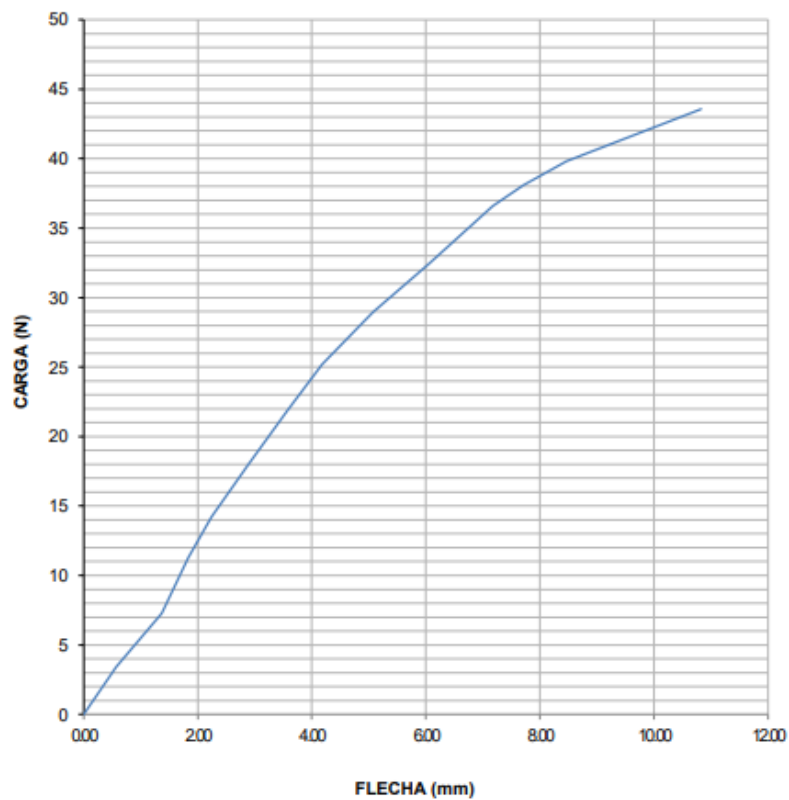
GRÁFICAS

**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 14

DESIGNACIÓN: Flex S-14

FECHA DE ENSAYO: 22-jul-22





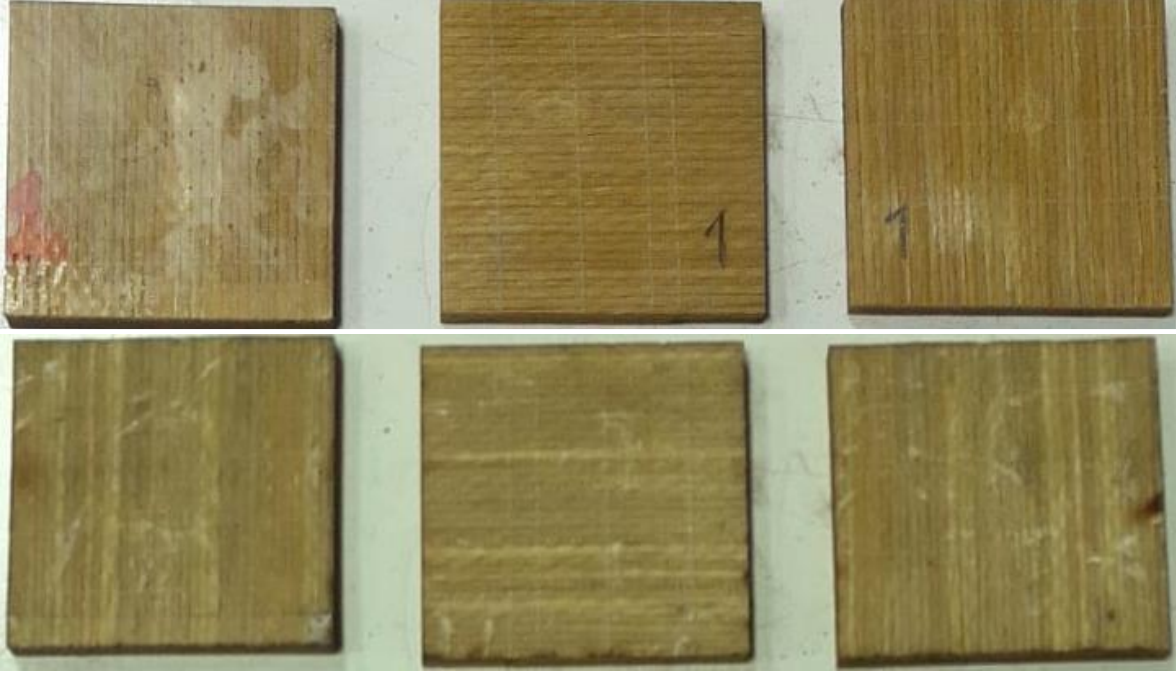
OBSERVACIÓN

La probeta del material compuesto presenta una buena adherencia, misma que tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	126.58	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de elasticidad (MPa):	5140	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm)	10.13	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	46.89	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.28: Ficha técnica del material compuesto a Flexión combinación 14 [Autor]

3.1.3. Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a impacto

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
IMPACTO ASTM D5628-10							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:		Experimental		Codificación:		IMPC S-1	
Fecha de ejecución:		08/09/2022		Equipo:		Máquina tipo caída de masas de impacto	
Realizado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés		Revisado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:		Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA					
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:		Resina Epoxi		Norma:		ASTM D5628-10	
Marca:		Aeropoxi PR2032		Dimensiones (mm):		58*58*e	
Refuerzo:		Fibra de chambira		Temperatura de curado (°C):		90 °C	
				Orden de capas:		Ch+Ch+Ch+Ch+Ch	
				Número de probetas:		3	
				Orientación de la fibra:		N/A	
PROBETAS ENSAYADAS							
							
RESULTADOS							
N° de probetas		Altura media de fallo (mm)		Masa aplicada (kg)		Incremento de masa (kg)	
						Energía media de fallo (J)	
						Tipo de falla	

1	500	0.287	0.3521	3.134786	A
2	750	0.287	0.3521	4.702178	A
3	800	0.287	0.6164	7.089883	A
Promedio	683.33	-	-	4.975615667	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo A, que significa que la probeta tiene pequeñas fisuras en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.29: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 1 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-2
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+V

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
----------------	----------------------------	--------------------	-------------------------	----------------------------	---------------

1	700	0.287	0	1.970829	A
2	800	0.287	0	2.252376	A
3	900	0.287	0	2.533923	A
Promedio	800	-	-	2.252376	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo A, que significa que la probeta tiene pequeñas fisuras en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.30: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 2 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

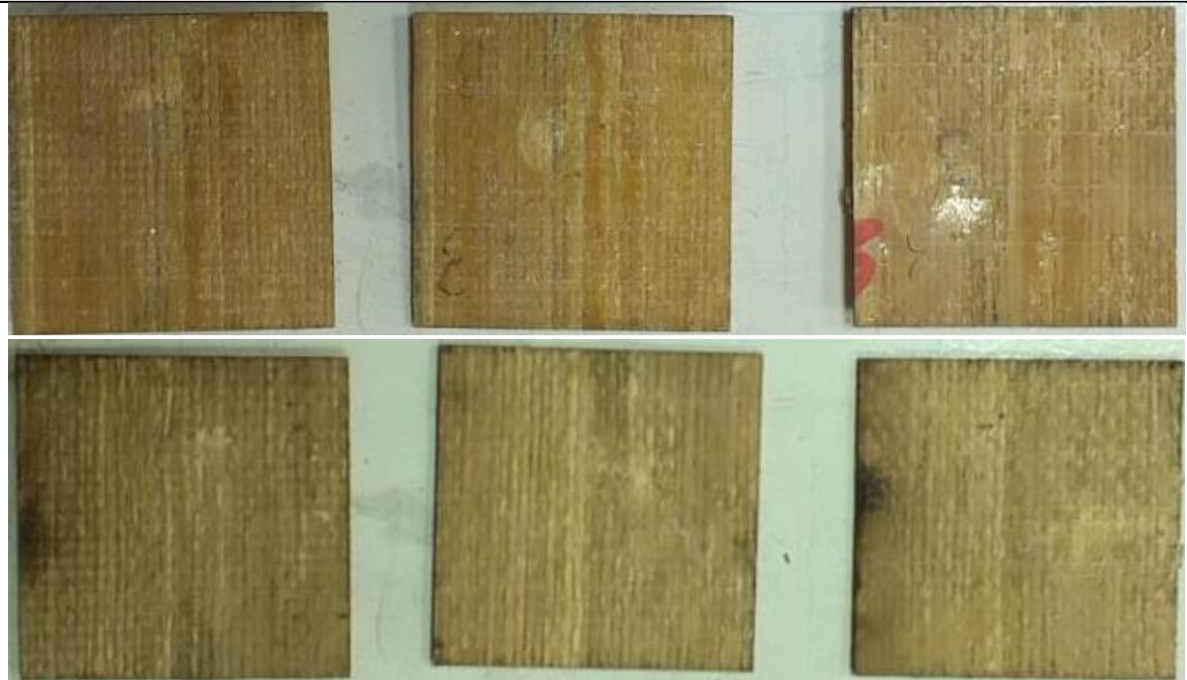
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-3
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+V+Ch

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
-----------------------	-----------------------------------	---------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	----------------------

1	650	0.287	0.1761	2.952957	D
2	750	0.287	0.1761	3.407258	D
3	900	0.287	0.1761	4.088710	D
Promedio	766.66	-	-	2.252376	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimiento en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.31: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 3 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

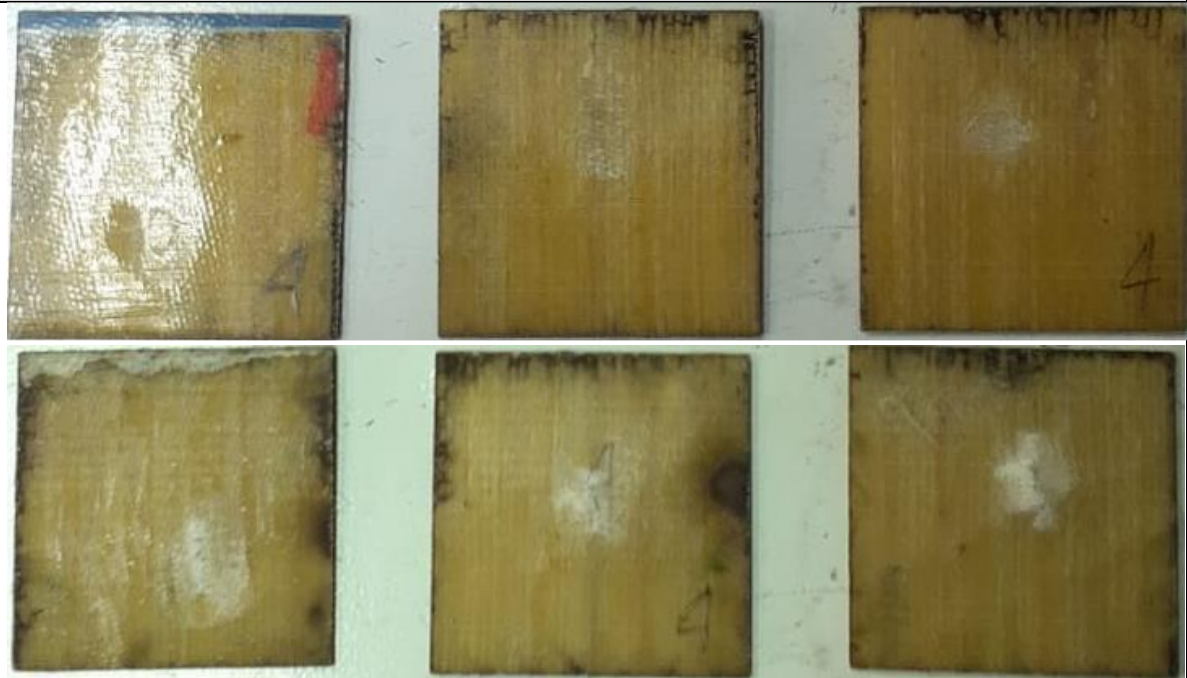
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-4
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	V+Ch+V

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	850	0.287	0.1761	3.861559	D

2	850	0.287	0.3521	5.329135	D
3	850	0.287	0.4399	6.061256	D
Promedio	850	-	-	5.083983	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimiento en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.32: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 4 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

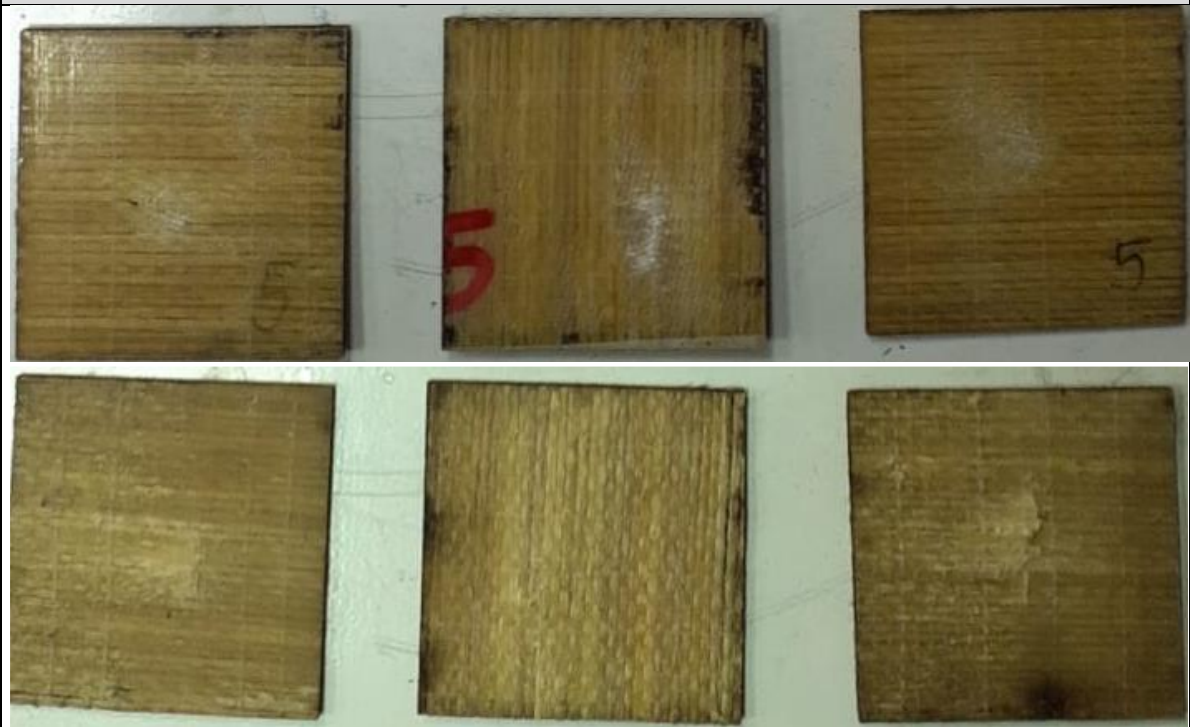
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-5
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+V+Ch+V

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
-----------------------	-----------------------------------	---------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	----------------------

1	700	0.287	0.4399	4.991622	D
2	800	0.287	0.4399	5.704711	D
3	950	0.287	0.4399	6.774345	D
Promedio	816.67	-	-	5.8235593	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimiento en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.33: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 5 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

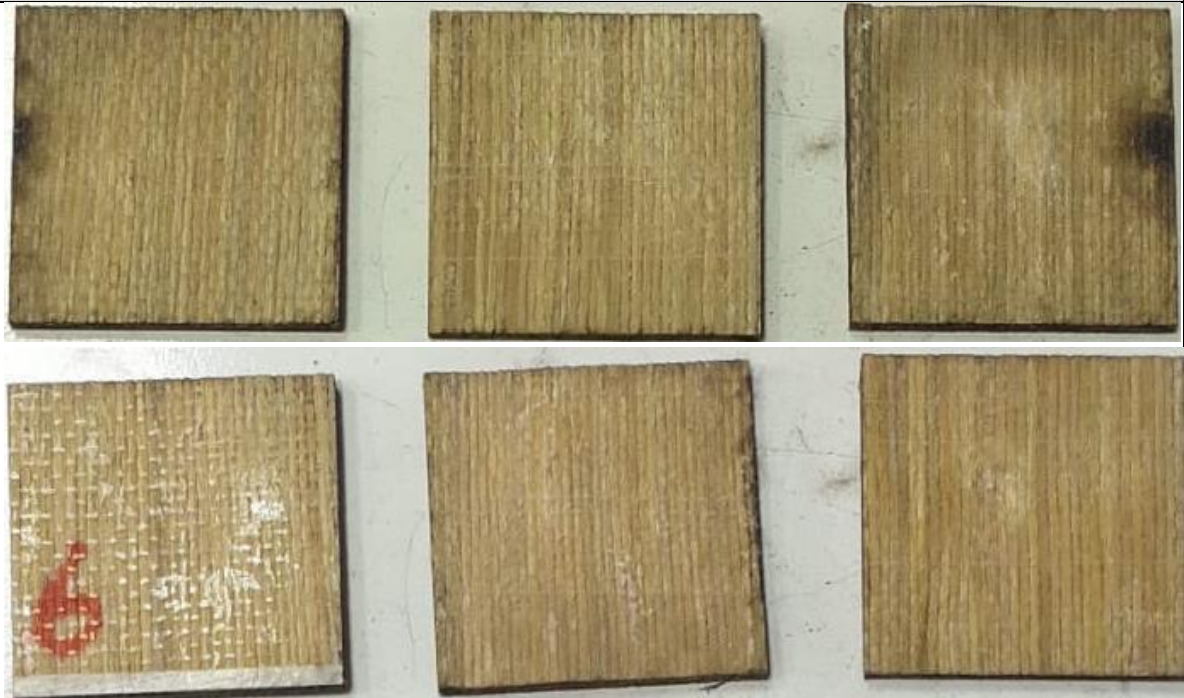
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-6
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+V+Ch+V+Ch

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
----------------	----------------------------	--------------------	-------------------------	----------------------------	---------------

1	720	0.287	0.4399	5.134240	D
2	820	0.287	0.4399	5.847329	D
3	900	0.287	0.4399	6.417800	D
Promedio	813.33	-	-	5.799789667	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimiento en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.34: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 6 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

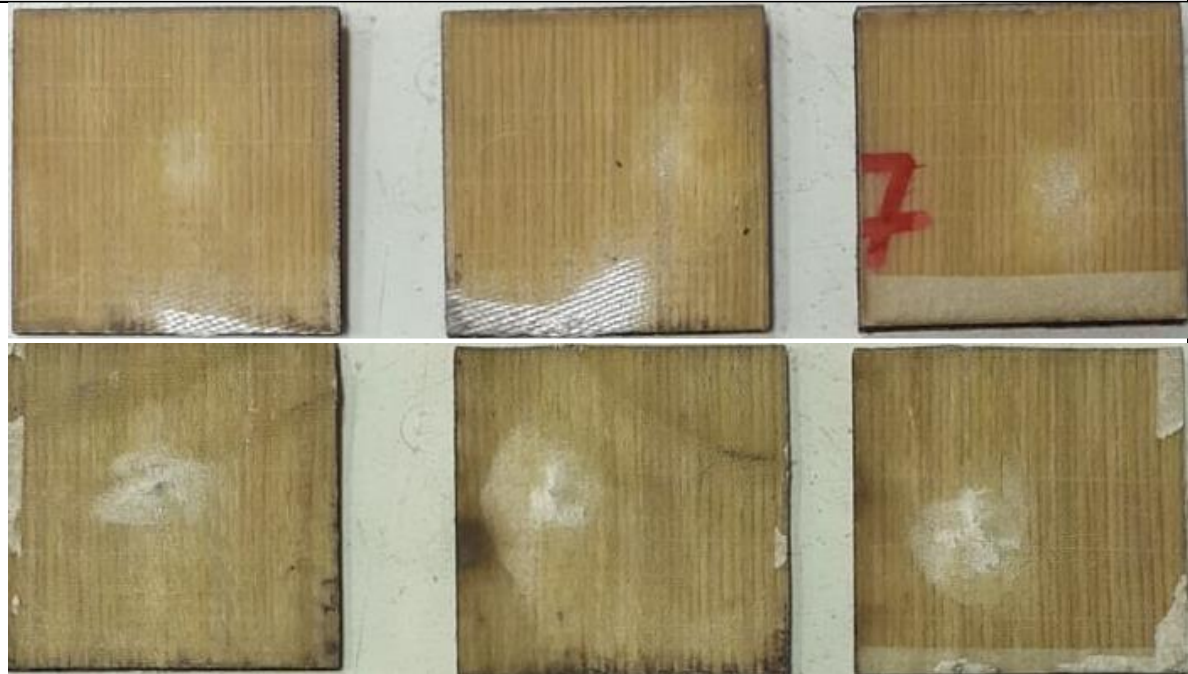
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-7
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	V+Ch+V+Ch+V

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	650	0.287	0.4399	4.635078	D

2	750	0.287	0.4399	5.348167	D
3	850	0.287	0.4399	6.061256	D
Promedio	750	-	-	5.348167	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimiento en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.35: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 7 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-8
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	V+V+V+V+V

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	500	0.287	0.4399	3.565445	A

2	660	0.287	0.4399	4.706387	A
3	740	0.287	0.4399	5.276858	A
Promedio	633.33	-	-	5.348167	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo A, que significa que la probeta presenta fisuras en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.36: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 8 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

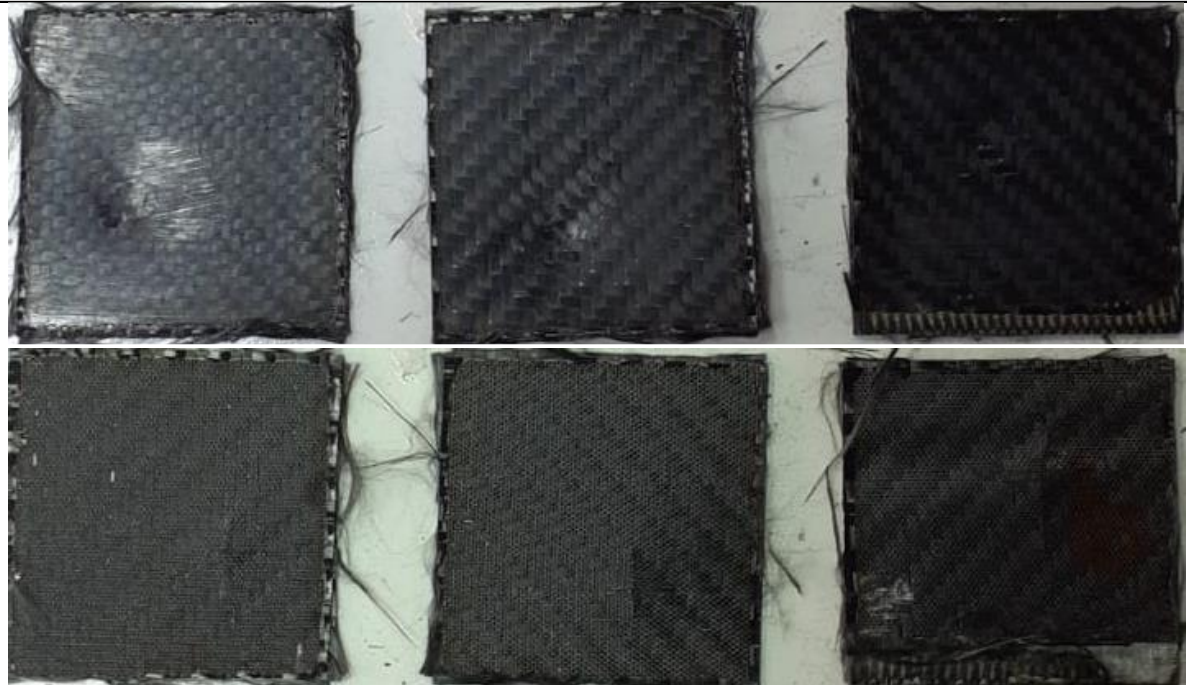
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-9
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	C+C+C+C+C

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
----------------	----------------------------	--------------------	-------------------------	----------------------------	---------------

1	600	0.287	0.4399	4.278533	A
2	700	0.287	0.4399	4.991622	A
3	800	0.287	0.4399	5.704711	A
Promedio	700	-	-	4.991622	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo A, que significa que la probeta presenta fisuras en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.37: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 9 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

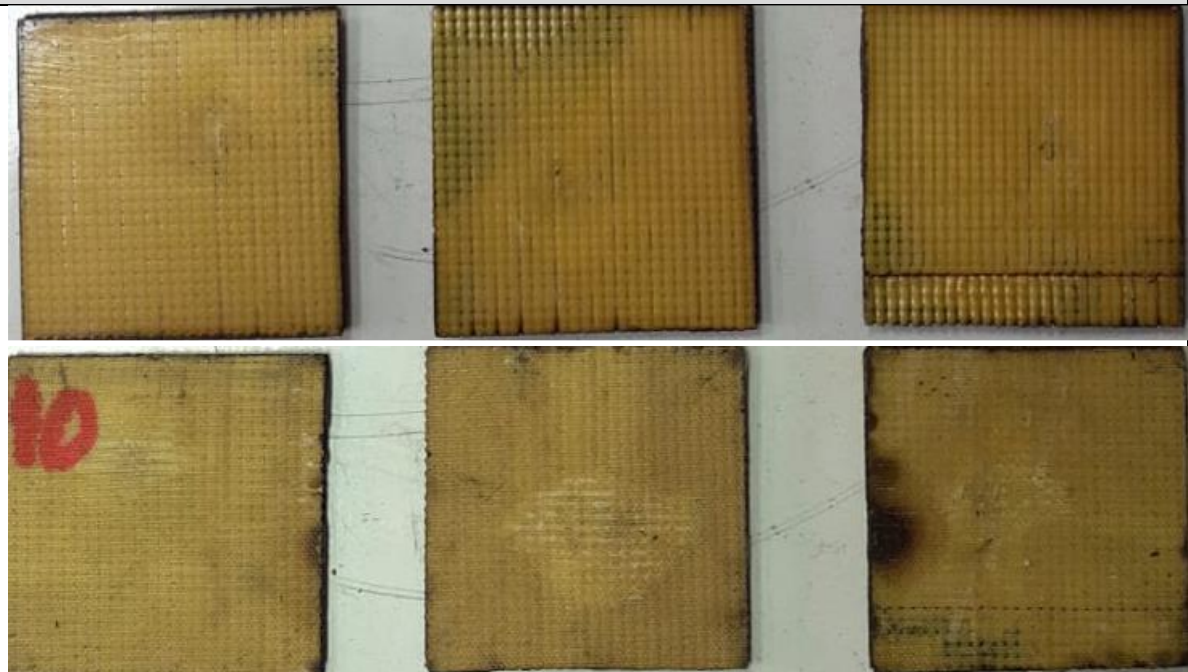
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-10
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	K+K+K+K+K

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	700	0.287	0.6164	6.203648	D

2	850	0.287	0.6164	7.533001	D
3	1000	0.287	0.6164	8.862354	D
Promedio	850	-	-	7.533001	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimientos en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.38: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 10 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

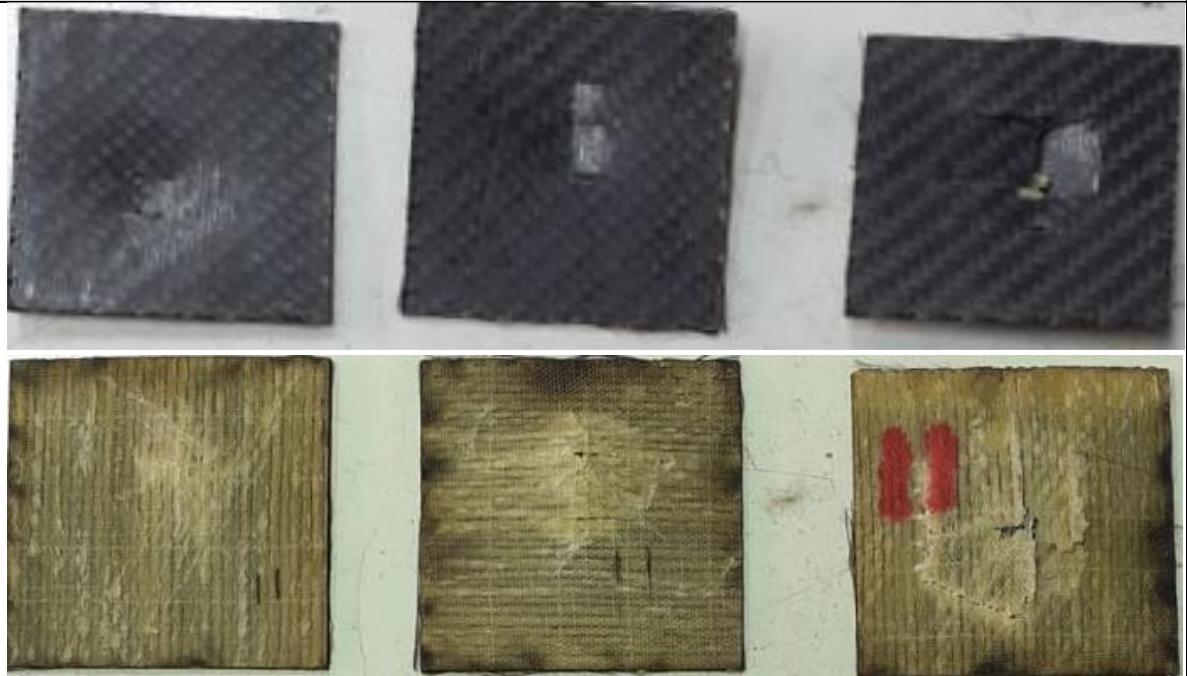
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-11
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+C

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	200	0.287	0.6164	1.772471	D

2	300	0.287	0.6164	2.658706	A
3	600	0.287	0.6164	5.317412	A
Promedio	366.67	-	-	3.24952967	
OBSERVACIÓN					
<p>Las probetas número 1 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimientos en la parte posterior de la probeta a una altura de 200mm y su masa de 0.28kg. Las probetas 1 y 3 tienen una falla de tipo A, lo que significa que la placa presenta agrietamientos a una altura de 300 y 600mm con una masa de 0.28kg.</p>					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.39: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 11 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

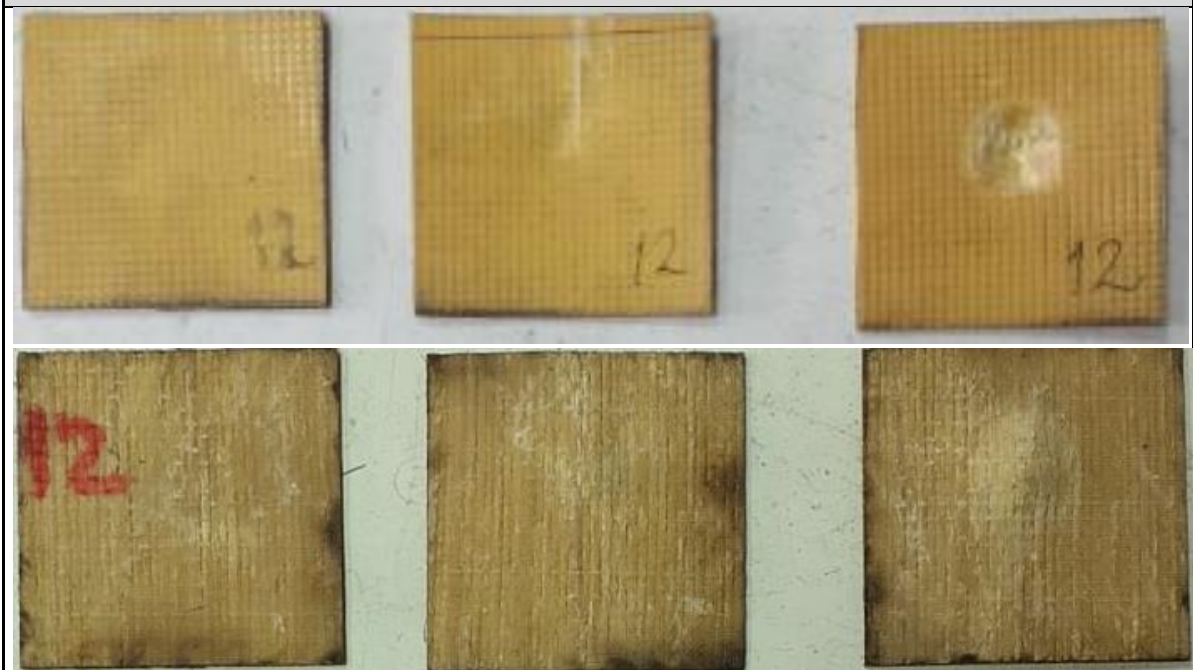
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-12
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+K

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	250	0.287	0.6164	2.215589	D

2	400	0.287	0.6164	3.544942	D
3	580	0.287	0.6164	5.140165	D
Promedio	410	-	-	3.6335653	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo D, que significa que la probeta presenta hundimientos en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.40: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 12 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

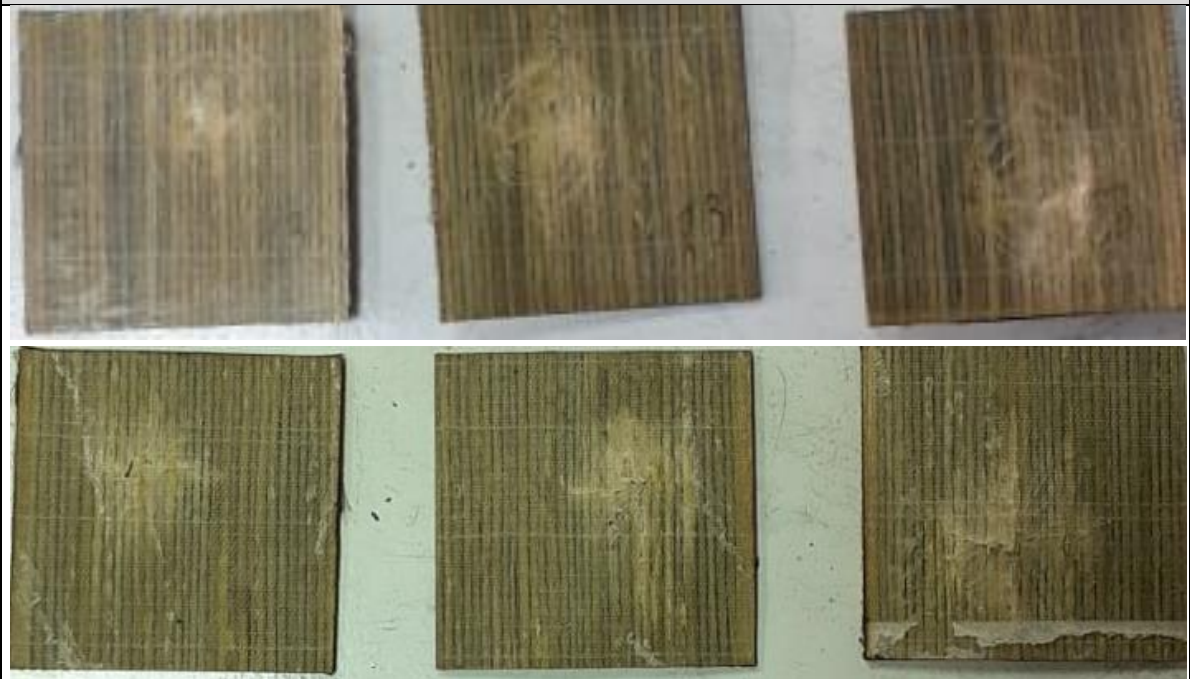
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-13
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+C+Ch

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	350	0.287	0.6164	3.101824	A

2	500	0.287	0.6164	4.431177	A
3	620	0.287	0.6164	5.494659	A
Promedio	490	-	-	4.3425533	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo A, que significa que la probeta presenta grietas en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés		Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	

Tabla 3.41: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 13 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

IMPACTO ASTM D5628-10

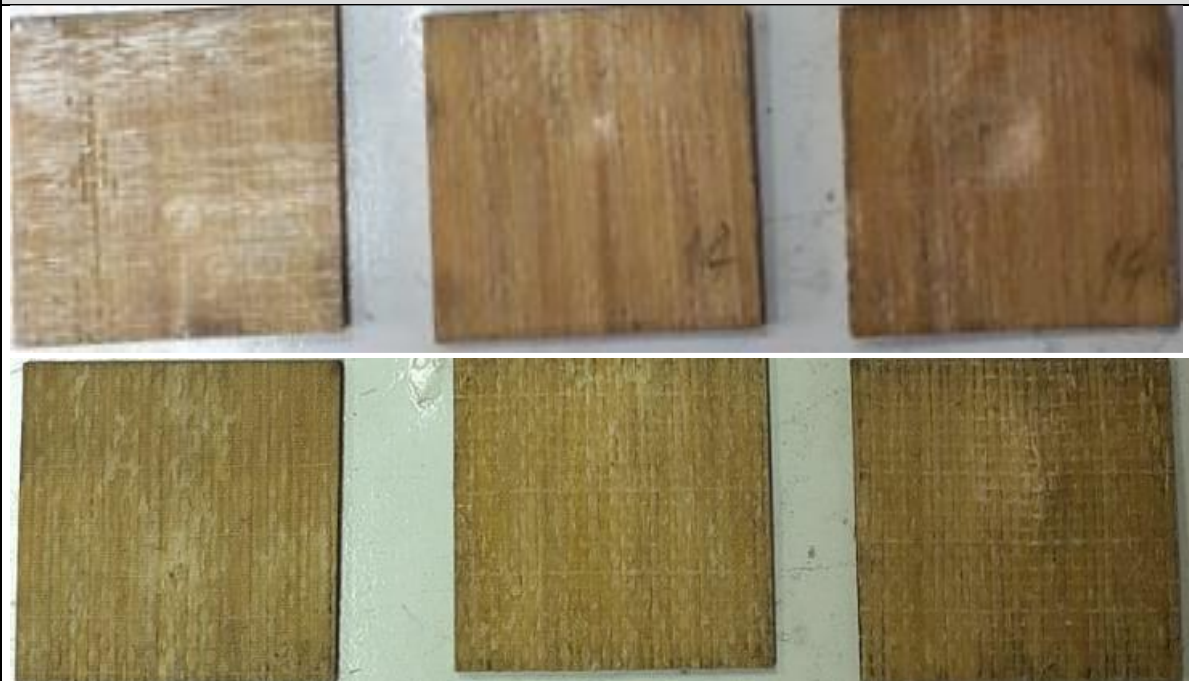
DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	IMPC S-14
Fecha de ejecución:	08/09/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de impacto
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Orientación de la fibra:	N/A
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Orden de capas:	Ch+K+Ch

PROBETAS ENSAYADAS





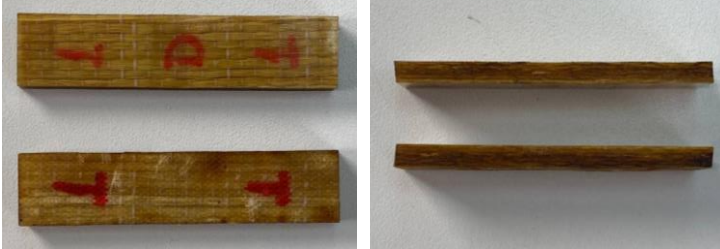
RESULTADOS

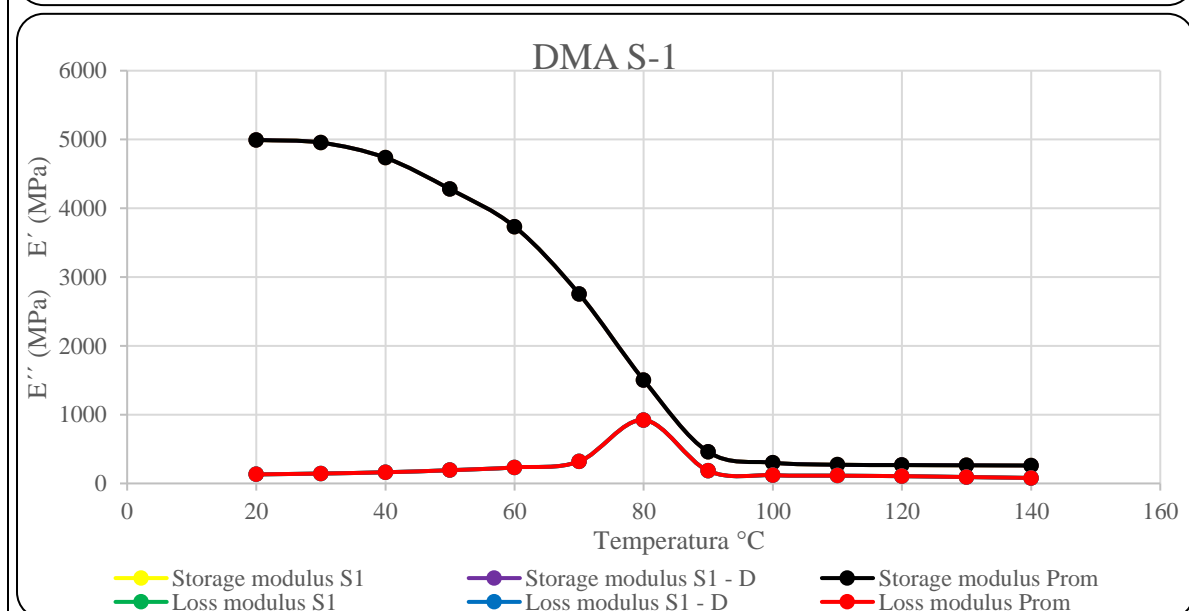
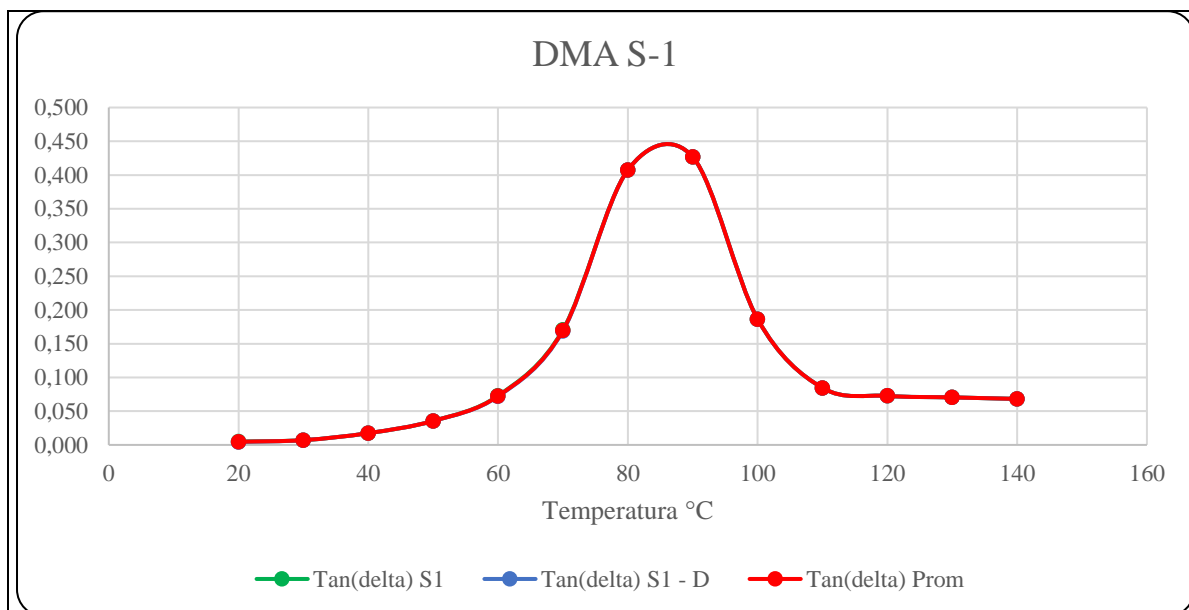
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0.287	0.6164	3.544942	D

2	630	0.287	0.6164	5.583283	D
3	760	0.287	0.6164	6.735389	D
Promedio	596.67	-	-	5.2878713	
OBSERVACIÓN					
Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo A, que significa que la probeta presenta hundimientos en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.					
Elaborado por:		Dennis Patricio Salazar Garcés	Aprobado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.42: Ficha técnica del material compuesto a Impacto combinación 14 [Autor]

3.1.4. Fichas de recolección de datos de probetas DMA

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
DMA_ASTM D7028-07						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-1			
Fecha de ejecución:	20/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850			
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2	
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	85	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión	
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+Ch+Ch+Ch+Ch	Espesor promedio (mm):	4.6	
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
1	5001.9	259.878	1523.79	75.63	89.37	0.578
1D	5001.9	259.878	1523.79	75.63	89.37	0.578
Promedio	5001.9	259.878	1523.79	75.63	89.37	0.578
PROBETAS ENSAYADAS						
						
GRÁFICAS						



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 5001.9 Mpa, un módulo de viscoso de 1523.79 MPa y por ende un módulo global de 5228.85 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 89.37 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	5001.9	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	1523.79	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	5228.85	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	89.37	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.578	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.43: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 1 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-2
Fecha de ejecución:	20/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	31
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+V	Espesor promedio (mm):	1.55
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

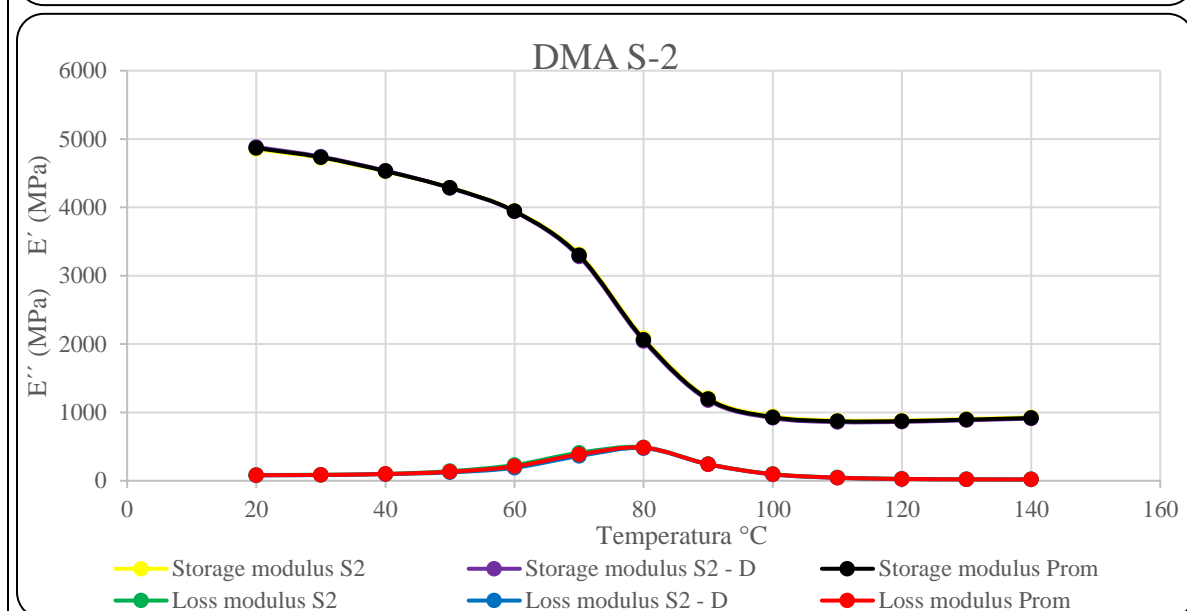
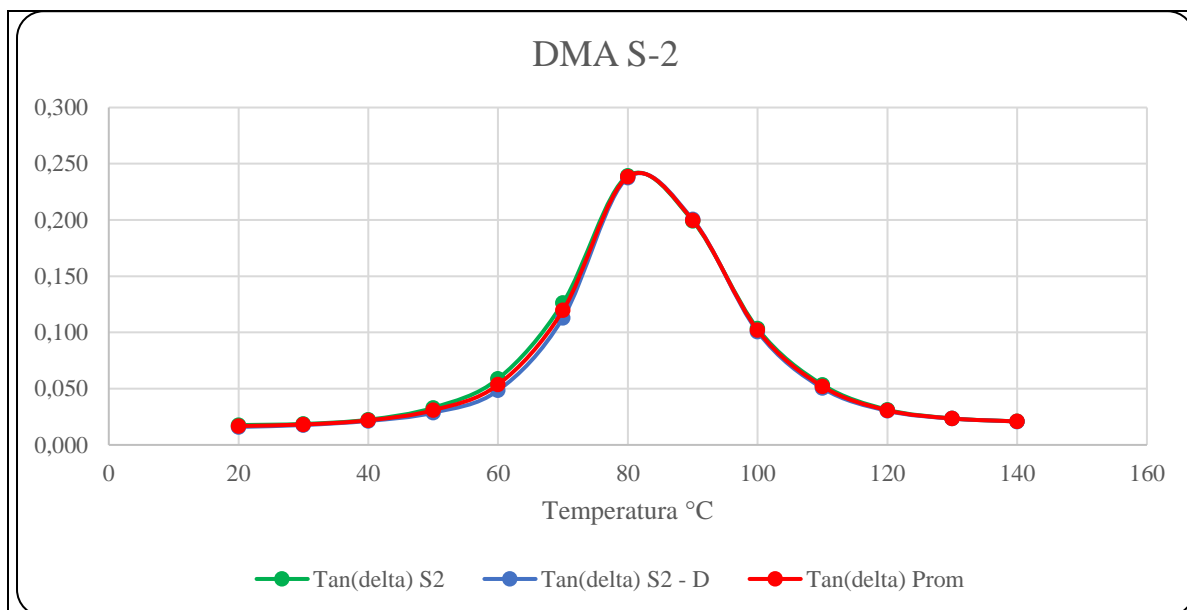
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
2	4874.03	876.55	537.61	18.91	87.54	0.260
2D	4913.02	853.87	519.21	18.51	87.58	0.262
Promedio	4893.53	865.21	528.41	18.71	87.56	0.261

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 4893.53 MPa, un módulo de viscoso de 528.41 MPa y por ende un módulo global de 4921.97 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 87.56 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	4893.53	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	528.41	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	4921.97	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	87.56	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.261	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.44: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 2 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-3
Fecha de ejecución:	20/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

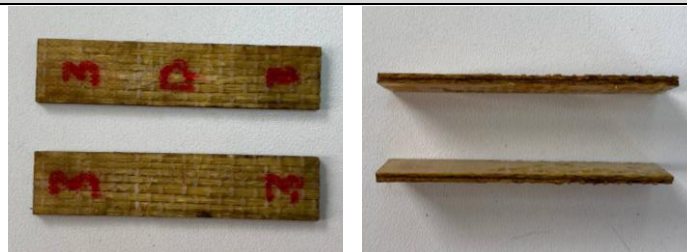
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	48
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+V+Ch	Espesor promedio (mm):	2.45
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

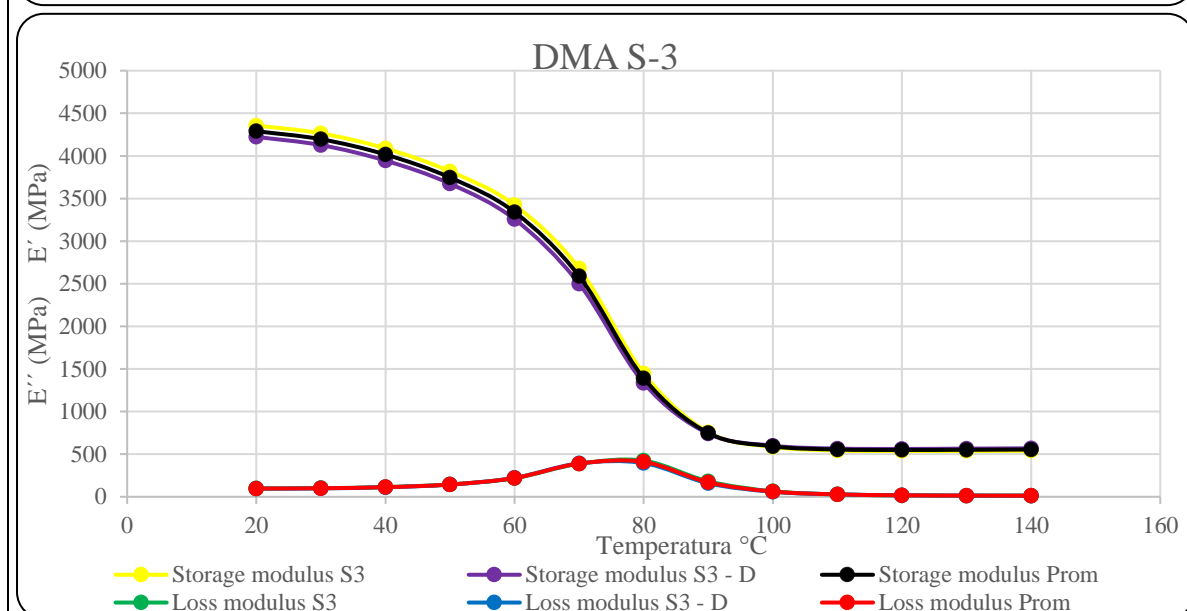
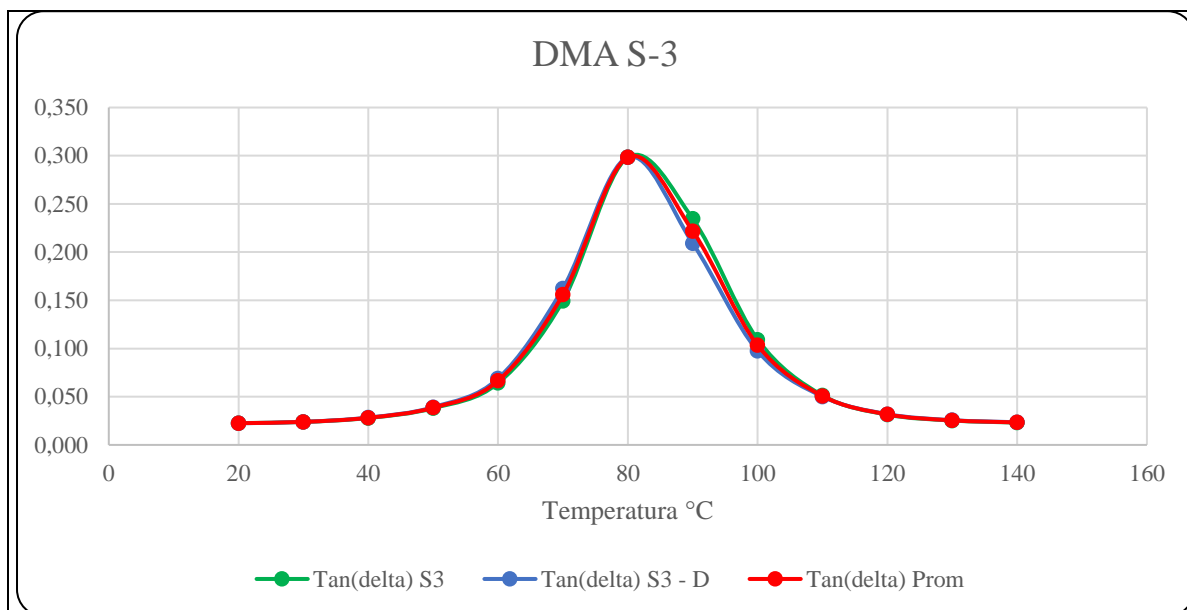
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
3	4369.7	536.45	489.40	12.16	87.14	0.323
3D	4236.8	560.80	478.96	13.09	85.82	0.317
Promedio	4303.25	548.63	484.18	12.63	86.50	0.32

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 4303.25 MPa, un módulo de viscoso de 484.18 MPa y por ende un módulo global de 4330.40 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 86.5 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	4303.25	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	484.18	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	4330.40	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	86.50	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.32	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.45: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 3 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-4
Fecha de ejecución:	27/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

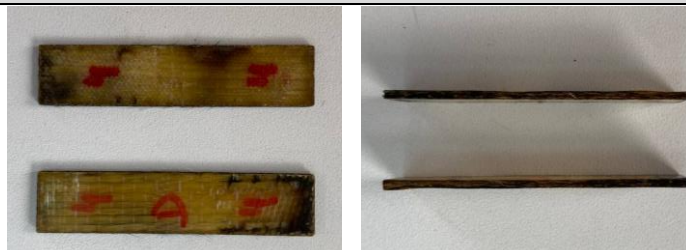
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	45
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	1.9
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

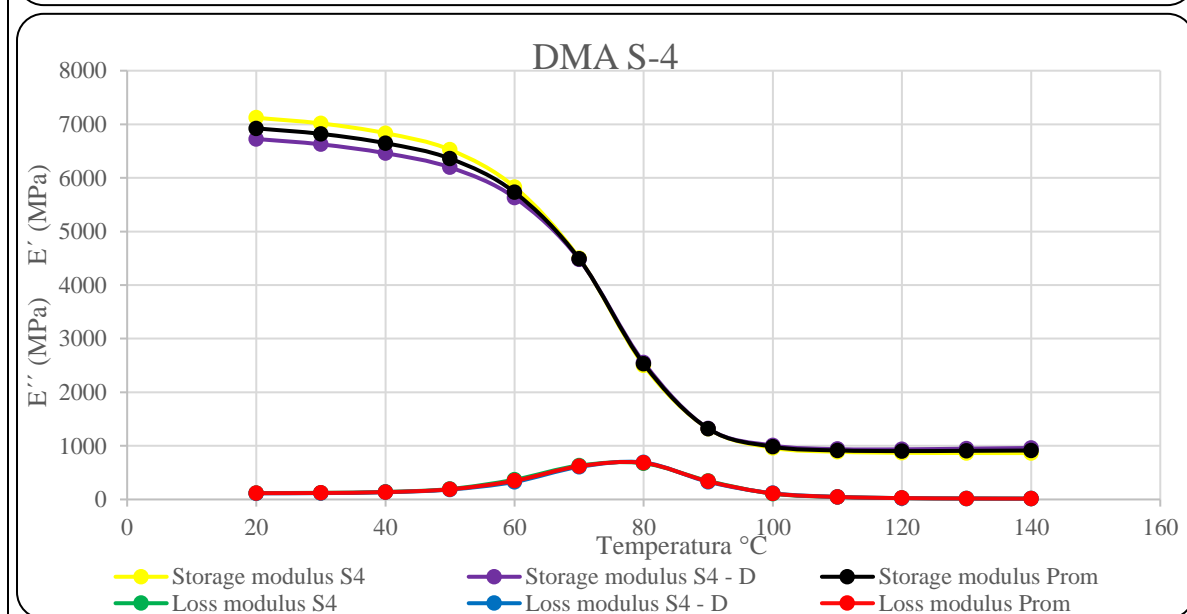
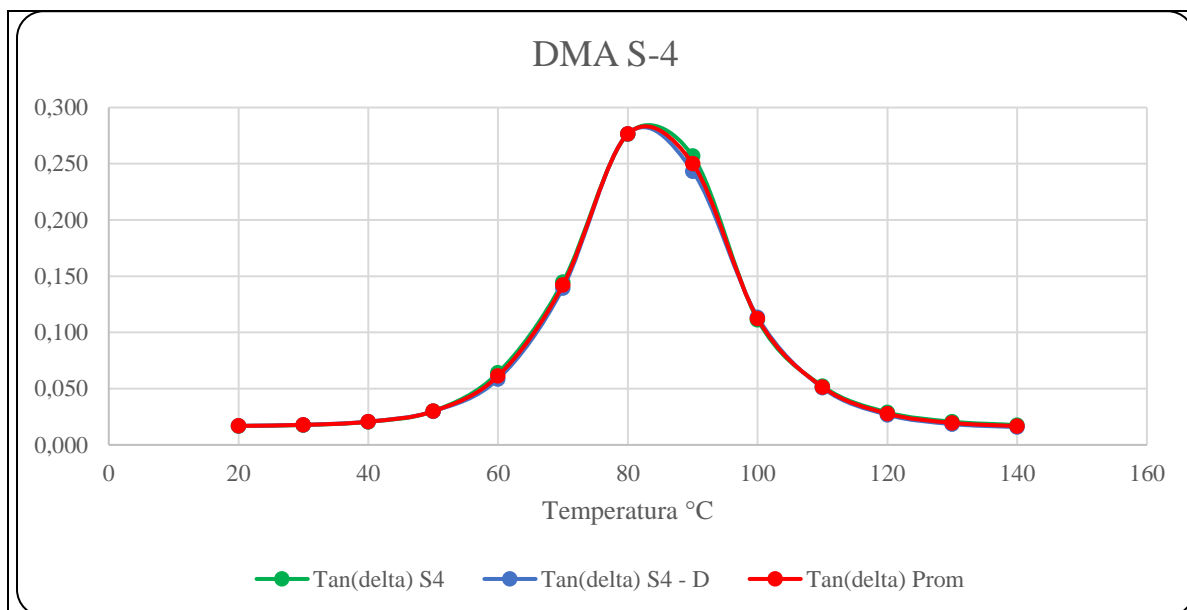
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
4	7149.69	863.77	737.52	14.58	89.99	0.313
4D	6742.93	932.28	759.96	14.63	88.46	0.310
Promedio	6946.31	868.025	748.74	14.605	89.23	0.311

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 6946.31 MPa, un módulo de viscoso de 748.74 MPa y por ende un módulo global de 6986.54 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 89.23 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	6946.31	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	748.74	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	6986.54	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	89.23	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.311	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.46: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 4 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-5
Fecha de ejecución:	27/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	62
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	2.55
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

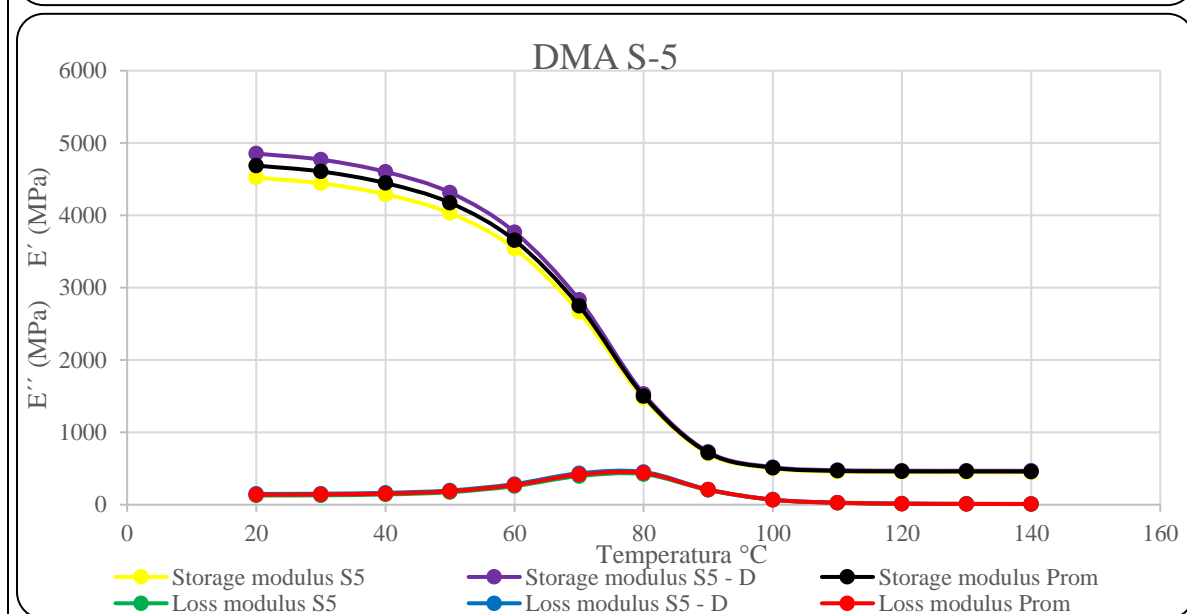
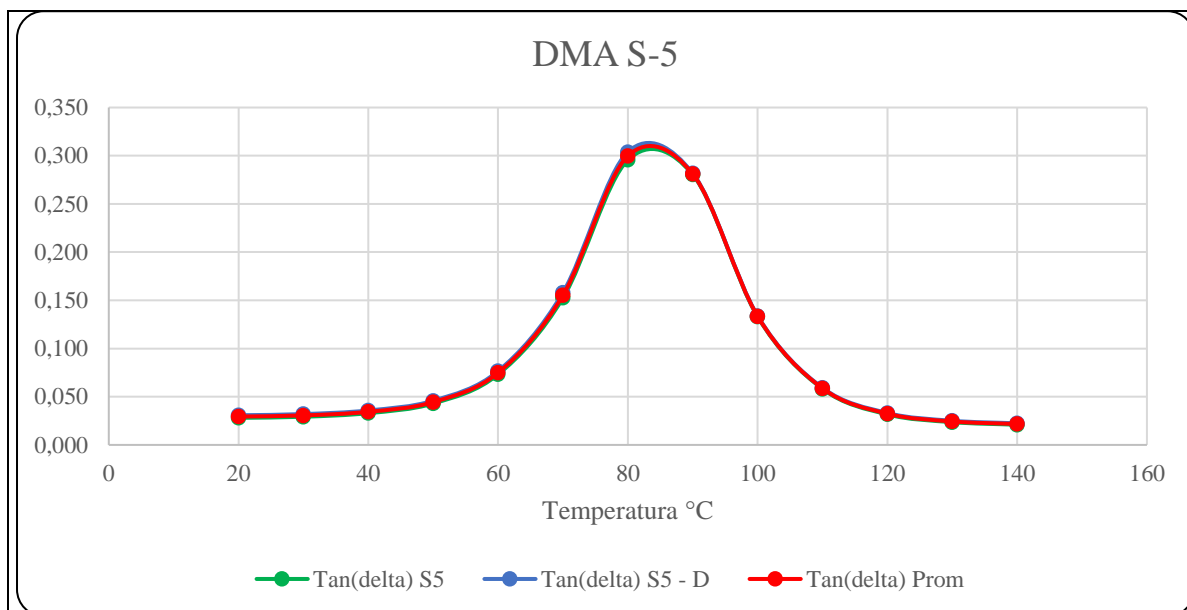
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
5	4538.85	446.60	464.33	9.05	89.46	0.339
5D	4867.19	468.19	506.98	10.14	89.17	0.343
Promedio	4703.02	457.40	485.66	9.60	89.32	0.341

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 4703.02 MPa, un módulo de viscoso de 485.66 MPa y por ende un módulo global de 4728.03 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 89.32 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	4703.02	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	485.66	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	4728.03	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	89.32	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.341	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.47: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 5 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-6
Fecha de ejecución:	28/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (gr):	79
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+V+Ch+V+Ch	Espesor promedio (mm):	3.55
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

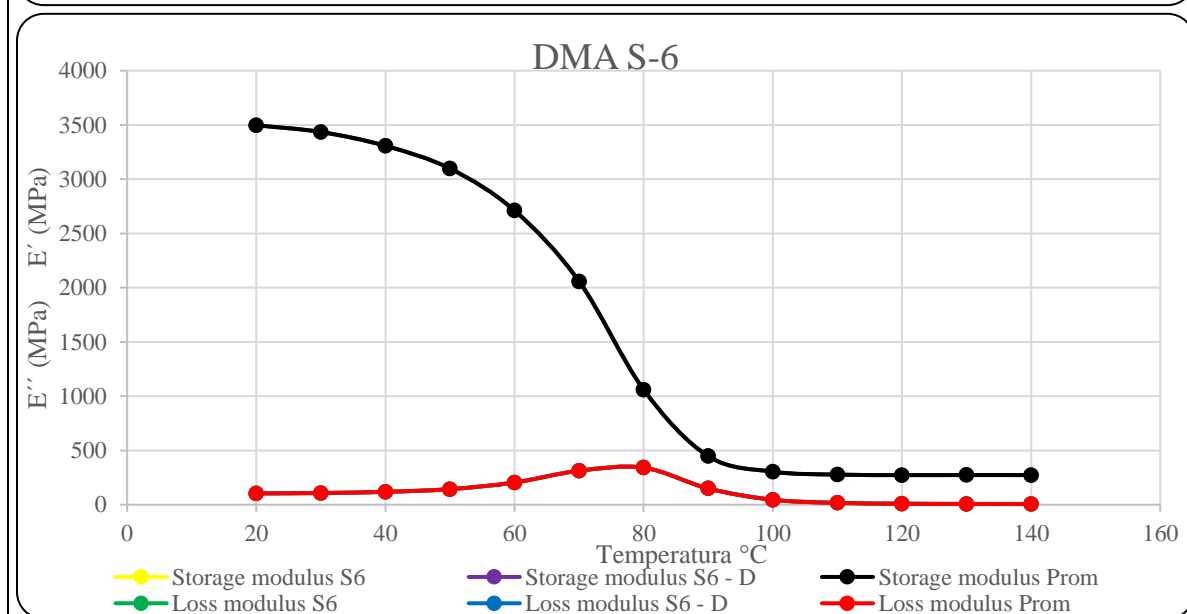
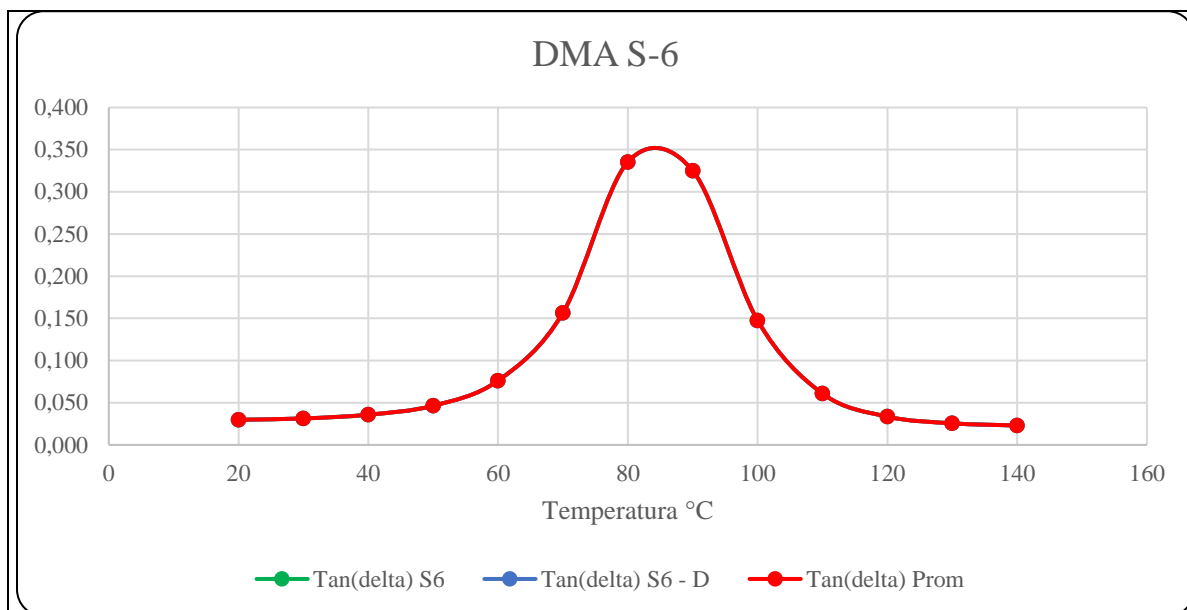
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
6	3507.26	272.75	380.365	6.079	89.65	0.395
6D	3507.26	272.75	380.365	6.079	89.65	0.395
Promedio	3507.26	272.75	380.365	6.079	89.65	0.395

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 3507.26 MPa, un módulo de viscoso de 380.365 MPa y por ende un módulo global de 3527.83 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 89.65 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	3507.26	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	380.365	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	3527.83	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	89.65	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.395	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.48: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 6 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-7
Fecha de ejecución:	28/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	76
Refuerzo:	Fibra de chambira + vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	V+Ch+V+Ch+V	Espesor promedio (mm):	2.7
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

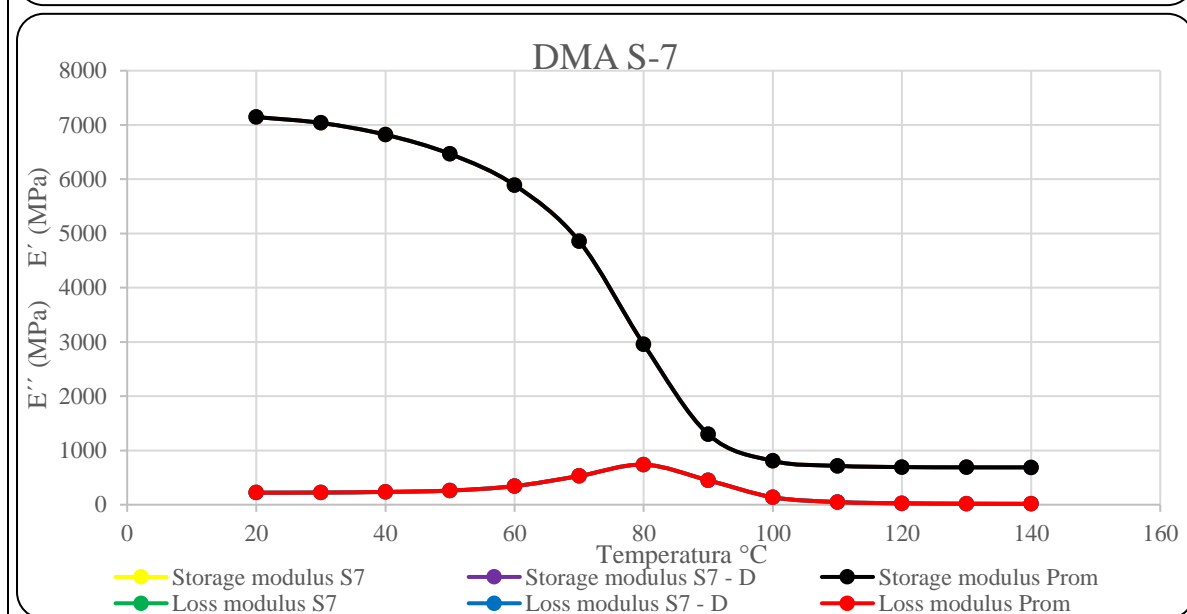
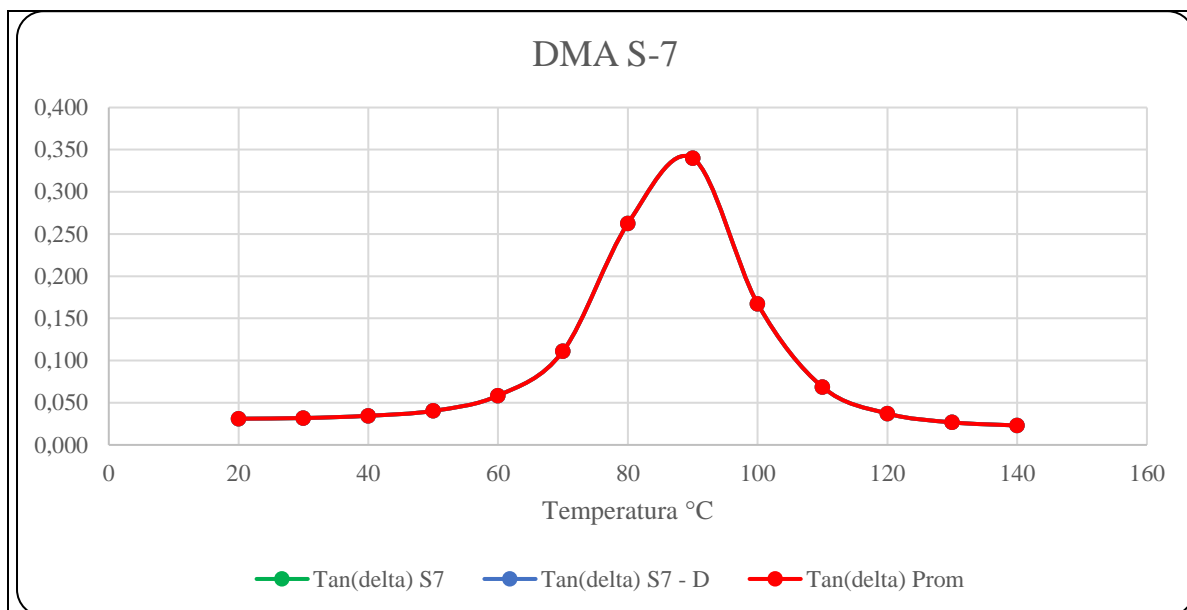
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
7	7159.71	687.57	773.35	15.16	92.29	0.376
7D	7159.71	687.57	773.35	15.16	92.29	0.376
Promedio	7159.71	687.57	773.35	15.16	92.29	0.376

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 7159.71 MPa, un módulo de viscoso de 773.35 MPa y por ende un módulo global de 7201.35 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 92.29 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	7159.71	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	773.35	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	7201.35	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	92.29	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.376	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.49: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 7 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-8
Fecha de ejecución:	28/07/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

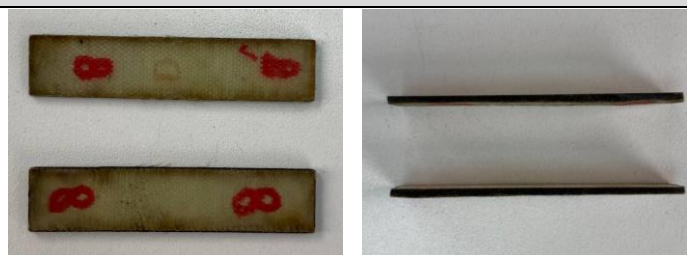
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	70
Refuerzo:	Fibra de vidrio	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	V+V+V+V+V	Espesor promedio (mm):	2.05
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

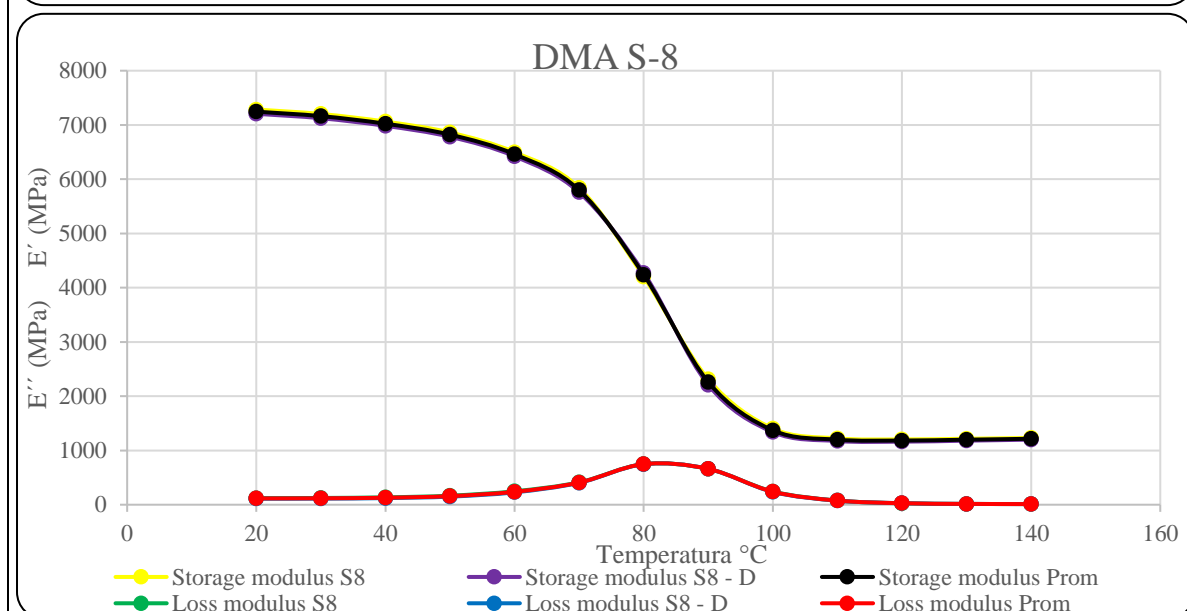
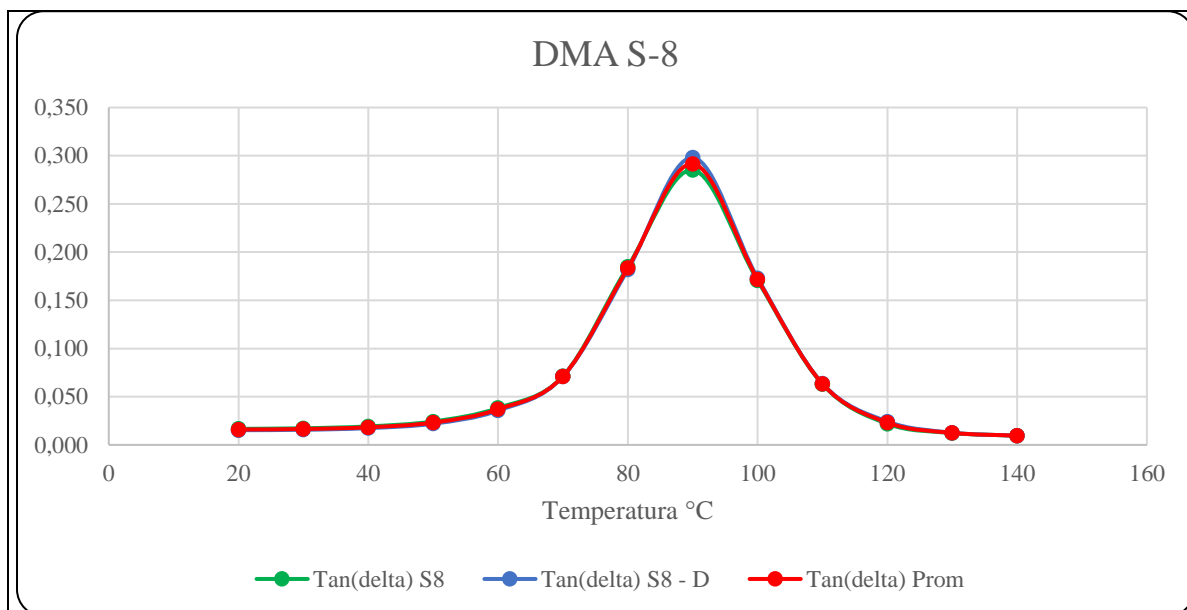
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
8	7298.63	1200.91	847.53	11.09	94.56	0.302
8D	7217.34	1158.34	873.56	10.82	94.24	0.316
Promedio	7257.99	1179.63	860.55	10.96	94.4	0.309

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 7257.99 MPa, un módulo de viscoso de 860.55 MPa y por ende un módulo global de 7380.83 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 94.4 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	7257.99	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	860.55	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	7308.84	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	94.4	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.309	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.50: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 8 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-9
Fecha de ejecución:	01/08/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	60
Refuerzo:	Fibra de carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	C+C+C+C+C	Espesor promedio (mm):	2.7
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

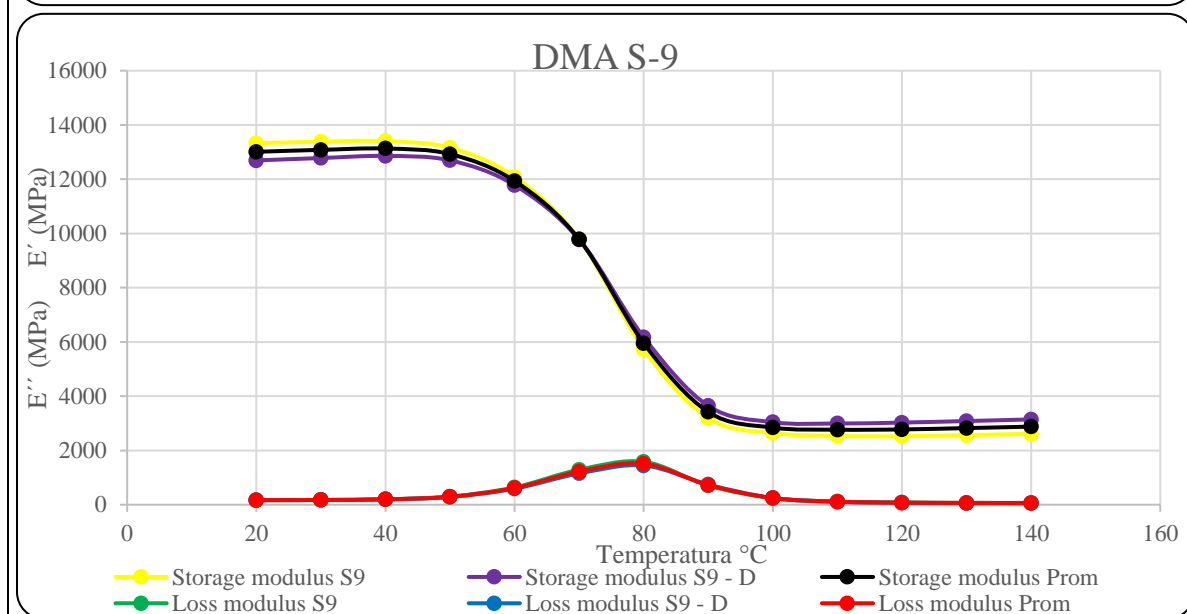
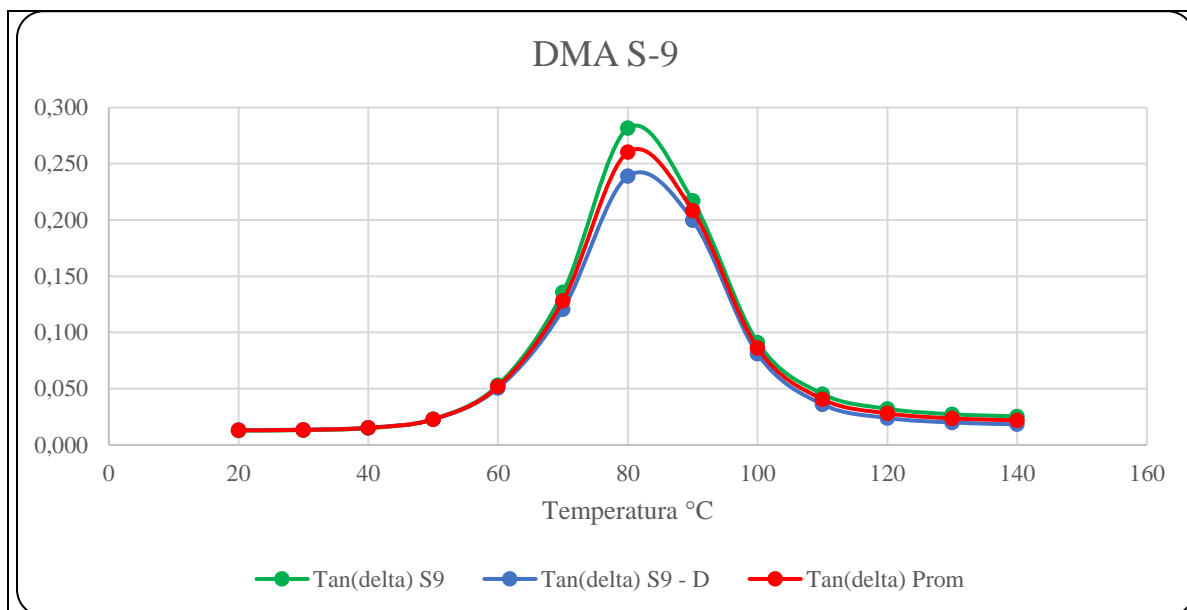
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
9	13411.8	2514.72	1757.42	65.17	87.46	0.309
9D	12868.05	2980.05	1548.75	56.63	88.33	0.265
Promedio	13139.93	2747.39	1653.09	60.09	87.9	0.287

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 13139.93 MPa, un módulo de viscoso de 1653.09 MPa y por ende un módulo global de 13243.50 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 87.9 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	13139.93	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	1653.09	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	13243.50	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	87.9	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.287	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.51: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 9 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-10
Fecha de ejecución:	01/08/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

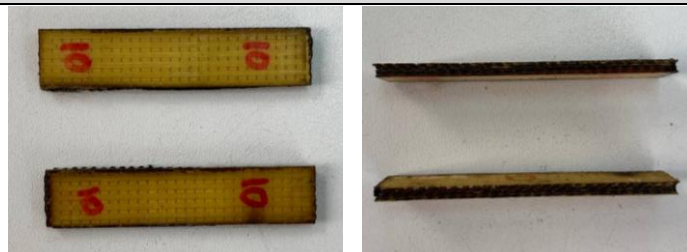
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	125
Refuerzo:	Fibra de kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	K+K+K+K+K	Espesor promedio (mm):	2.85
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

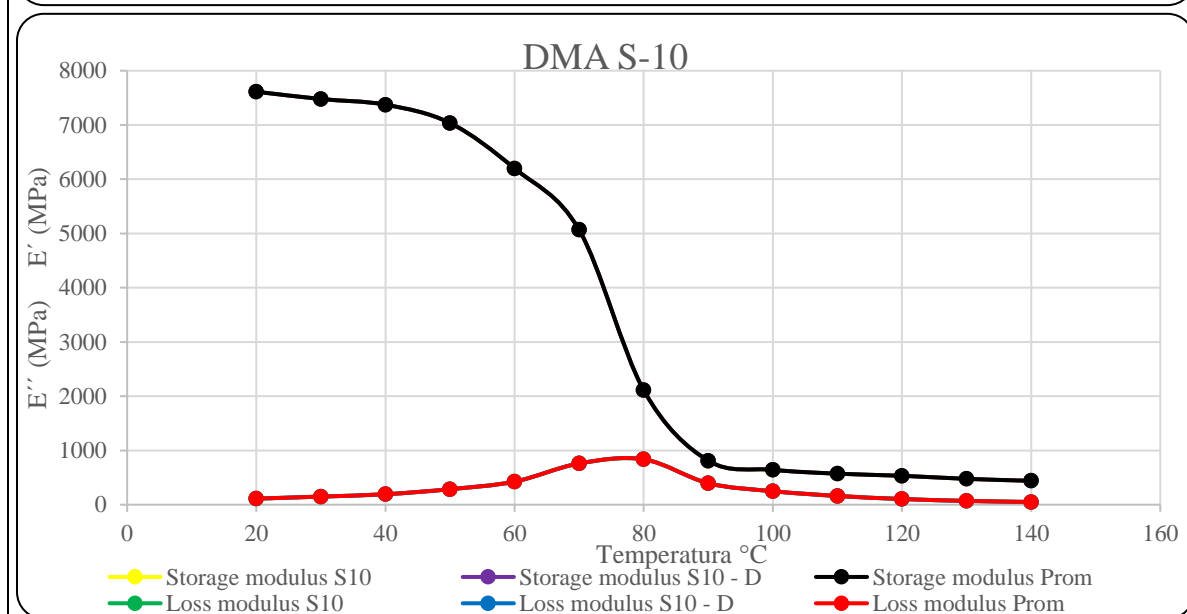
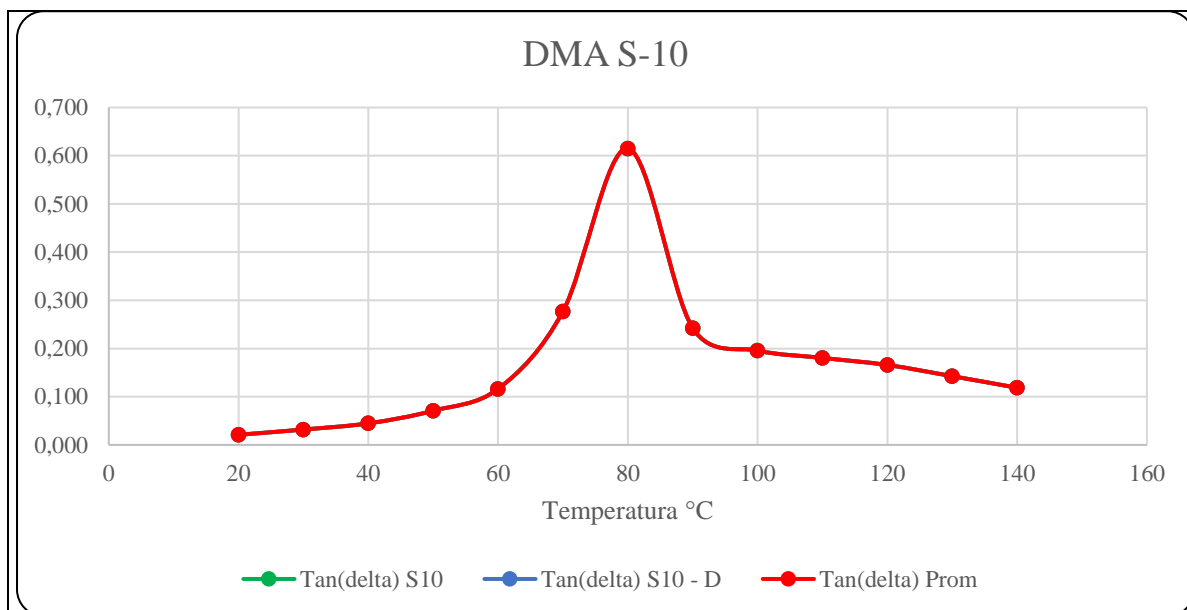
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
10	7625.1	422.83	1099.14	43.74	83.79	0.782
10D	7625.1	422.83	1099.14	43.74	83.79	0.782
Promedio	7625.1	422.83	1099.14	43.74	83.79	0.782

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 7625.1 MPa, un módulo de viscoso de 1099.14 MPa y por ende un módulo global de 7703.91 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 83.79 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	7625.1	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	1099.14	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	7703.91	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	83.79	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.782	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.52: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 10 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-11
Fecha de ejecución:	01/08/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	29
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+C	Espesor promedio (mm):	1.5
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

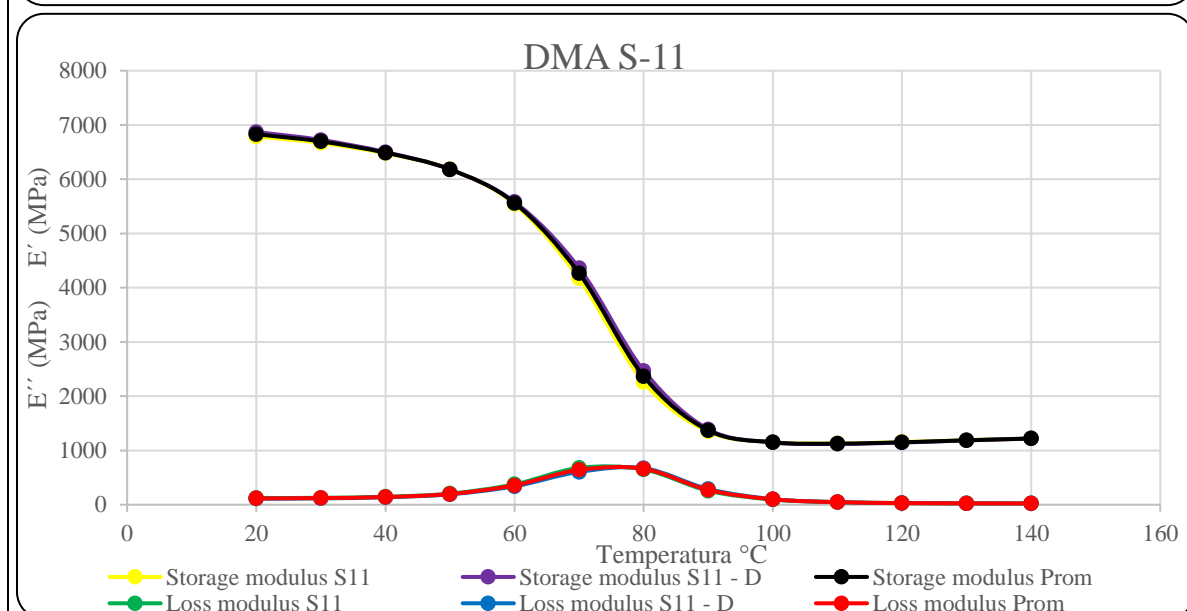
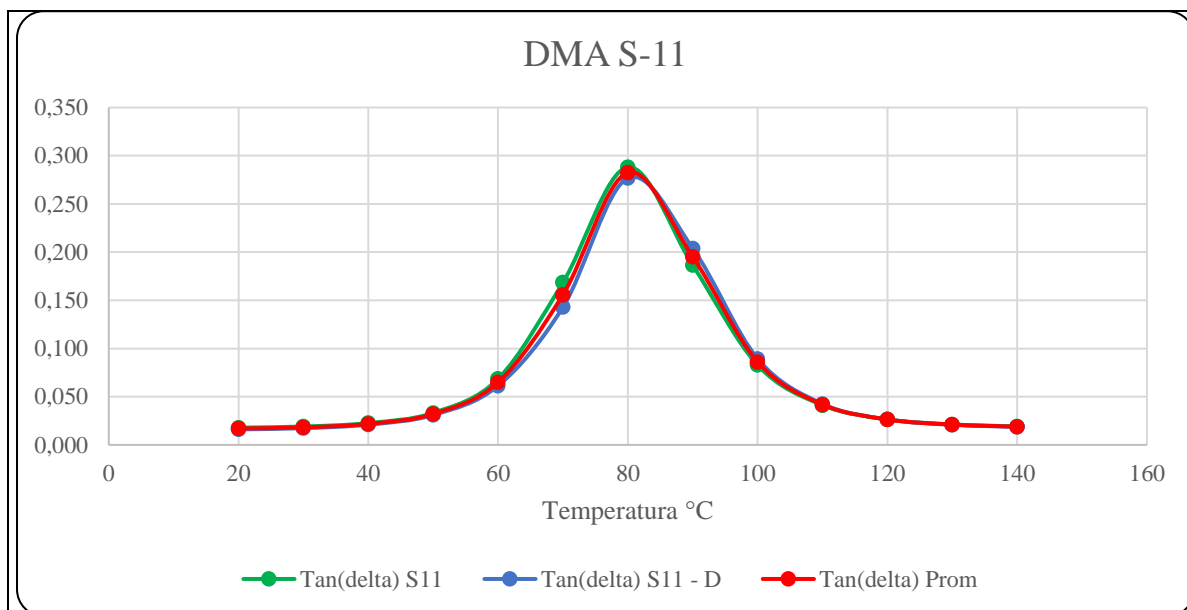
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
11	6811.31	1126.05	801.18	22.67	85.06	0.305
11D	6900	1118.5	764.81	22.24	86.71	0.299
Promedio	6855.66	1122.28	783	22.46	85.89	0.302

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 6855.66 MPa, un módulo de viscoso de 783 MPa y por ende un módulo global de 6900.23 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 85.89 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	6855.66	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	783	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	6900.23	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	85.89	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.302	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.53: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 11 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-12
Fecha de ejecución:	02/08/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

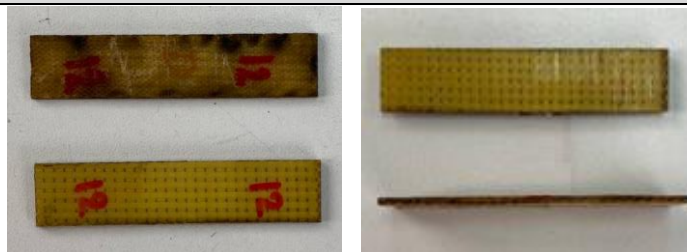
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	42
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+K	Espesor promedio (mm):	2.85
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

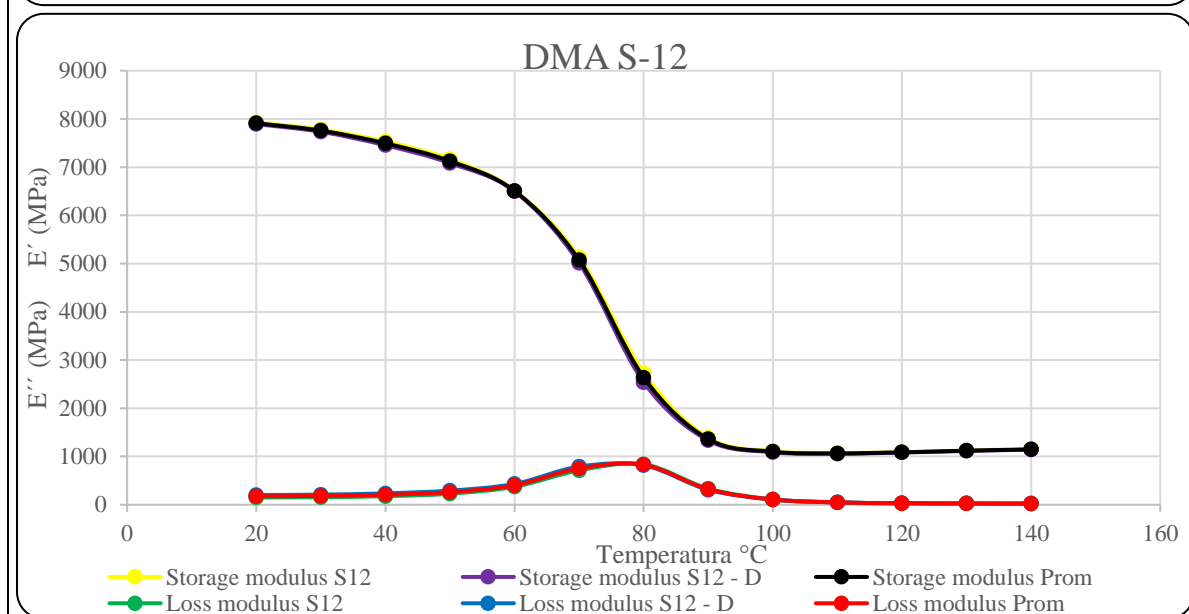
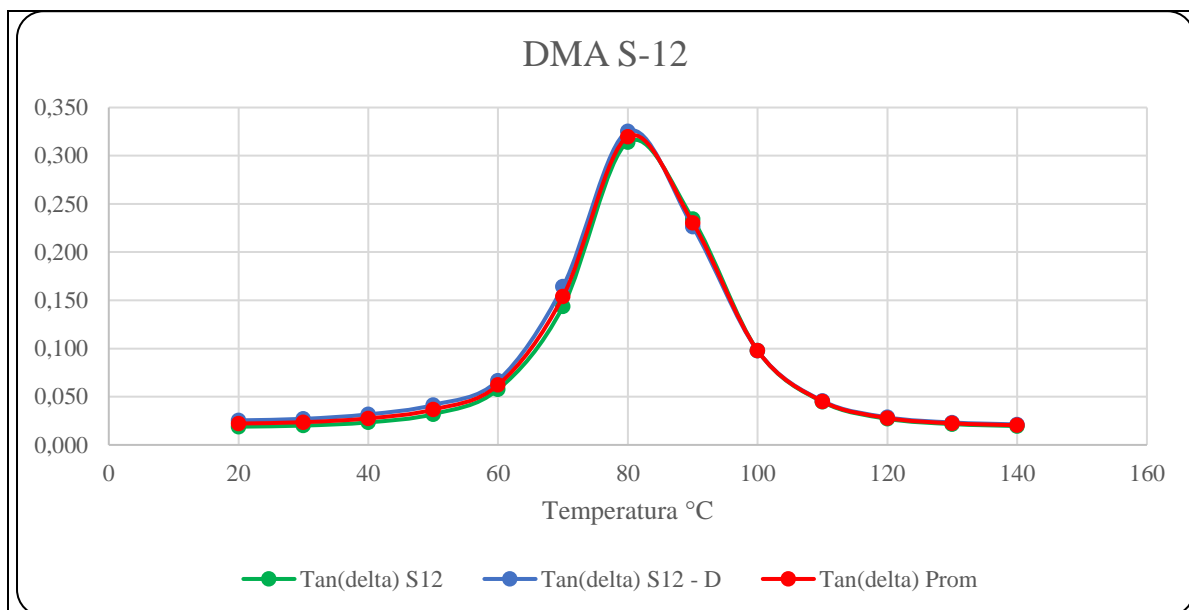
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
12	7954.14	1072.37	963.18	21.97	87.06	0.346
12D	7918,63	1052.21	993.78	23.79	85.97	0.348
Promedio	7936.39	1062.29	978.48	22.88	86.79	0.347

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 7936.39 MPa, un módulo de viscoso de 978.48 MPa y por ende un módulo global de 7996.48 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 86.79 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	7936.39	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	978.48	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	7996.48	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	86.79	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.347	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.54: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 12 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-13
Fecha de ejecución:	02/08/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

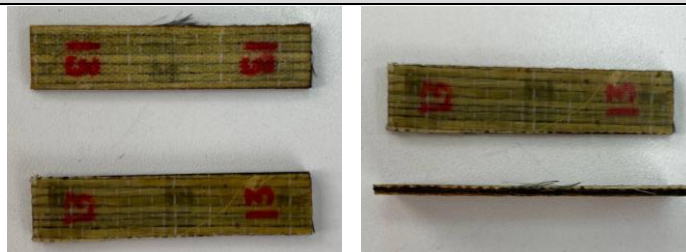
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (gr):	46
Refuerzo:	Fibra de chambira + carbono	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+C+Ch	Espesor promedio (mm):	2.25
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

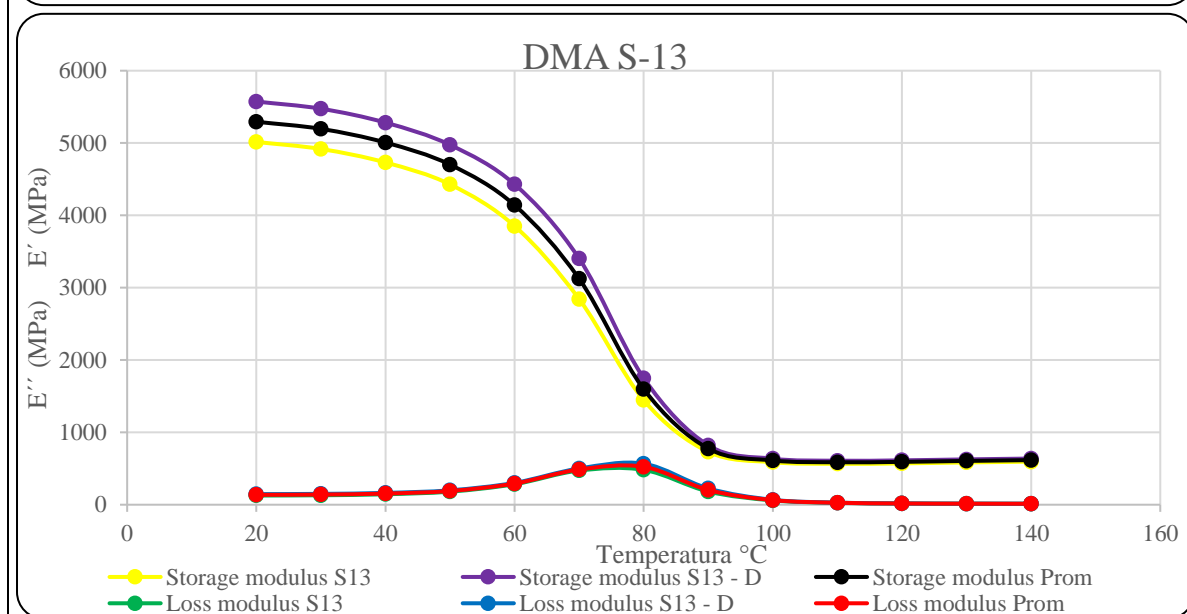
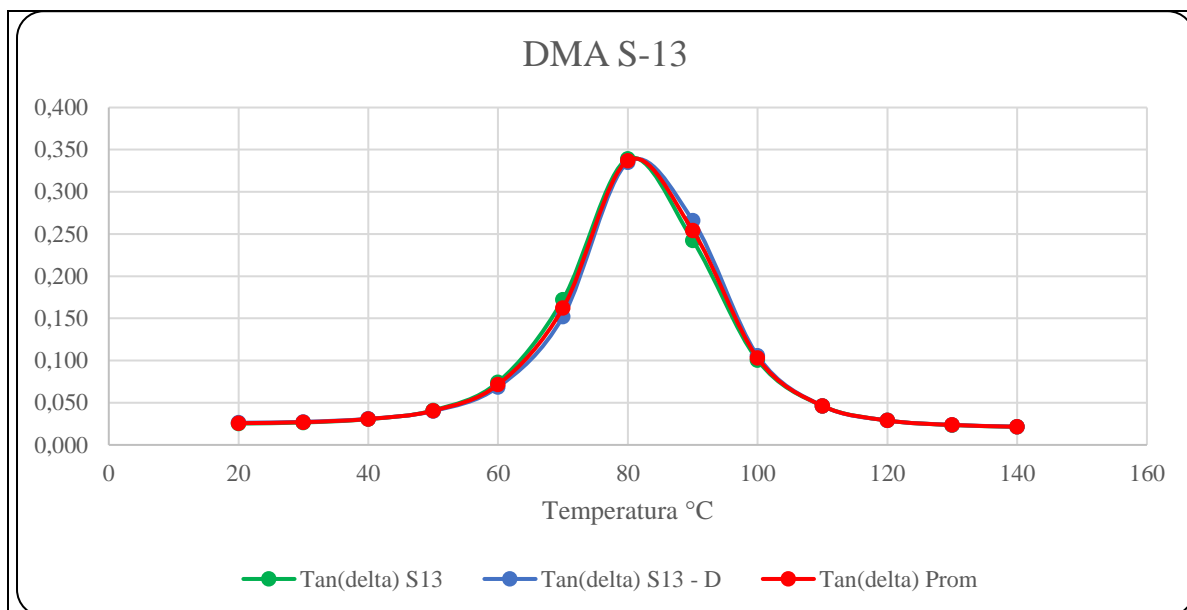
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
13	5030.85	564.25	572.07	12.38	86.62	0.367
13D	5587.34	607.07	643.27	13.57	87.86	0.378
Promedio	5309.09	585.66	607.67	12.98	87.24	0.373

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 5309.09 MPa, un módulo de viscoso de 607.67 MPa y por ende un módulo global de 5343.75 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 87.24 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	5309.09	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	607.67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	5343.75	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	87.24	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.373	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.55: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 13 [Autor]



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DMA_ASTM D7028-07

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	DMA S-14
Fecha de ejecución:	02/08/2022	Equipo:	Analizador dinámico mecánico DMA 850
Realizado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Laboratorio Facultad de Ingeniería Química – Escuela Politécnica Nacional		

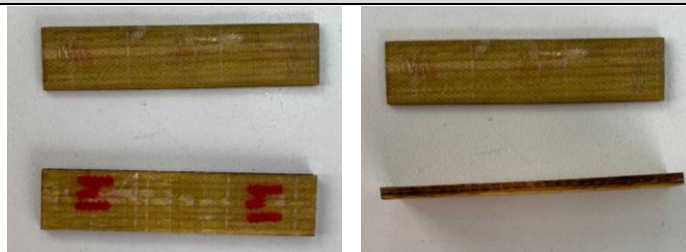
PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7028-07	Número de probetas:	2
Marca:	Aeropoxi PR2032	Dimensiones (mm):	60*13*e	Peso de la matriz (g):	59
Refuerzo:	Fibra de chambira + kevlar	Temperatura de curado (°C):	90 °C	Estratificación:	Por infusión
Tipo de sujeción:	Dual cantiliver	Orden de Capas:	Ch+K+Ch	Espesor promedio (mm):	2.65
Peso de la fibra (gr):	23	Velocidad de ensayo:	3 °C/min	Tiempo de curado:	3 semanas temperatura ambiente 2 horas en horno

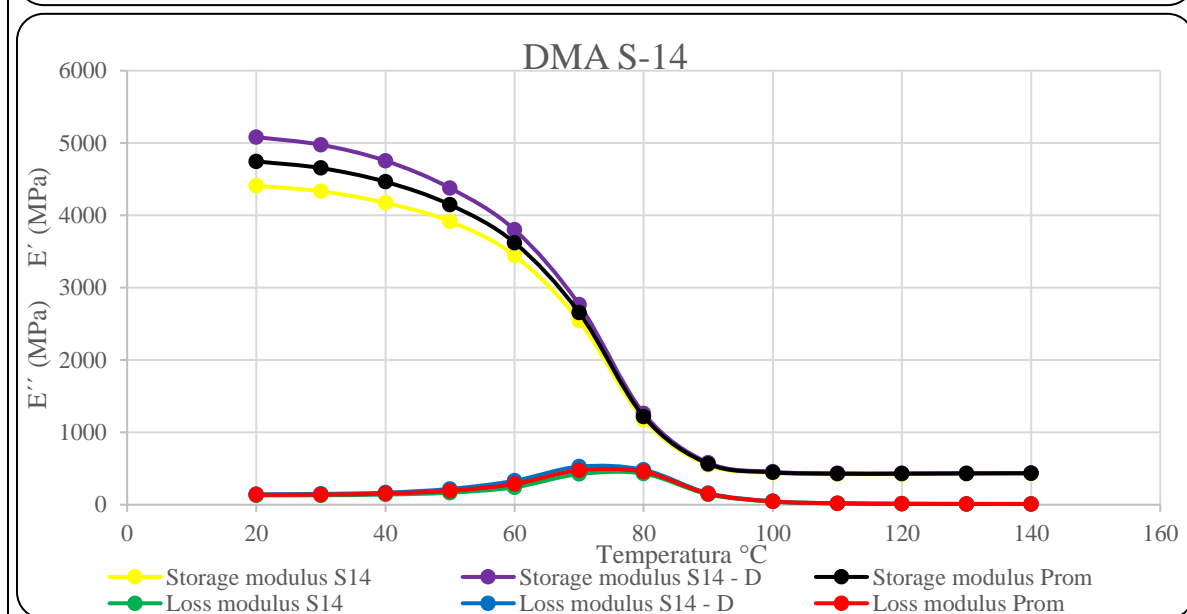
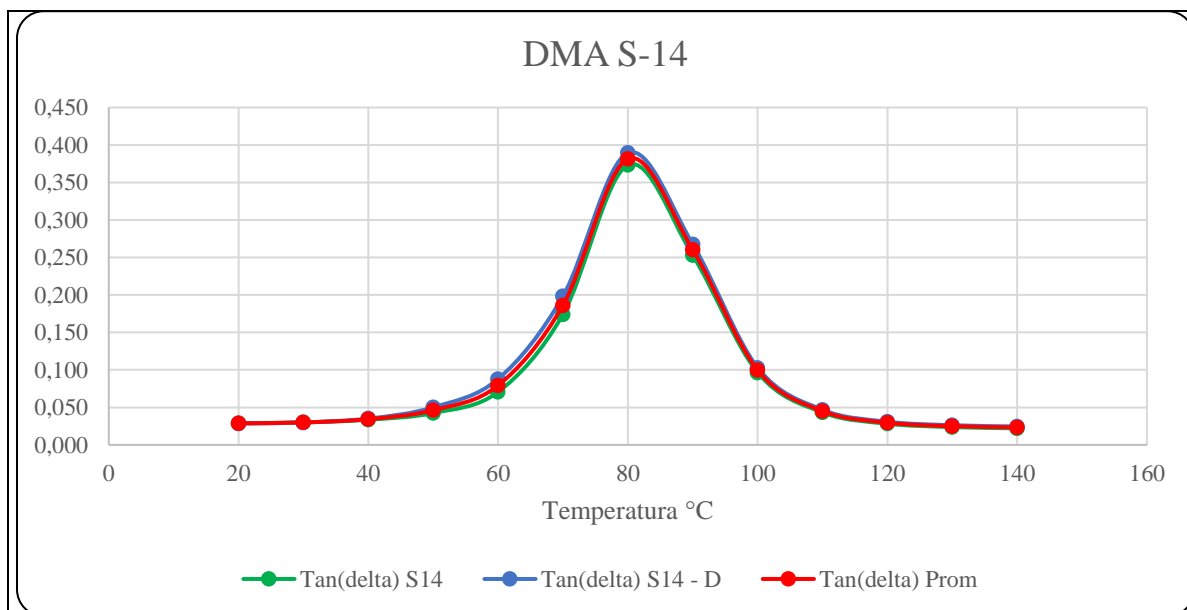
RESULTADOS

N° de probetas	Módulo de almacenamiento (MPa)		Módulo de pérdida (MPa)		DMA Tg (°C)	Valor pico tan delta
	Max	Min	Max	Min		
14	4420.23	420.81	531.24	9.37	86.38	0.407
14D	5096.77	432.32	610.51	10.55	86.42	0.421
Promedio	4758.5	426.57	570.88	9.96	86.4	0.414

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas 1 y 2 presentan un comportamiento muy similar, con un módulo de elástico de 5758.5 MPa, un módulo de viscoso de 570.88 MPa y por ende un módulo global de 4792.62 MPa. La temperatura de transición vítrea es de 86.4 °C.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Módulo de almacenamiento E' max (MPa):	5758.5	Elaborado por:	Dennis Patricio Salazar Garcés
Módulo de pérdida E'' max (MPa):	570.88	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo complejo E* (MPa):	4792.62	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
DMA Tg (°C):	86.4	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Tan delta:	0.414	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.56: Ficha técnica del material compuesto DMA combinación 14 [Autor]

3.2. Análisis y discusión de resultados

En la tabla a continuación se describen los resultados obtenidos y tabulados en cada uno de los ensayos realizados tracción, flexión, impacto y análisis dinámico mecánico; mismos que serán de ayuda en la caracterización de los materiales compuestos.

RESULTADO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN, IMPACTO Y DMA													
Factores	Tracción				Flexión				Impacto	DMA			
	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Energía de fallo (J)	Módulo de almacenamiento (MPa)	Módulo de pérdida (MPa)	Módulo complejo (MPa)	Tg (°C)
S1	12720	103	9500	1.0	135.31	109.41	7580	18.59	3.134786	5001.9	1523.79	5228.85	89.37
									4.702178				
									7.089883				
S2	3400	97	9010	1.5	44.38	92.58	3970	7.63	1.970829	4874.03	537.61	4903.59	87.54
									2.252376				
									2.533923	4913.02	519.21	4940.38	87.58
S3	5900	108	1017	2.5	37.4	62.74	3880	11.31	2.952957	4369.7	489.40	4397.02	87.14
									3.407258				
									4.088710	4236.8	478.96	4263.79	85.82

S4	6820	157	11210	0.0	133.76	283.65	8990	10.84	3.861559	7149.69	737.52	7187.63	89.99
									5.329135				
									6.061256	6742.93	759.96	6785.62	88.46
S5	7360	104	9180	0.5	103.14	147.78	8090	11.43	4.991622	4538.85	464.33	4562.54	89.46
									5.704711				
									4.991622	4867.19	506.98	4893.52	89.17
S6	9780	120	7750	1.0	102.08	114.37	5580	17.30	5.134240	3507.26	380.365	3527.83	89.65
									5.847329				
									5.134240	3507.26	380.365	3527.83	89.65
S7	8560	135	12110	0.5	136.16	220.95	11900	8.16	4.635078	7159.71	773.35	7201.35	92.29
									5.348167				
									4.635078	7159.71	773.35	7201.35	92.29
S8	5820	135	12780	1.0	156.10	325.22	11800	10.50	3.565445	7298.63	847.53	7347.67	94.56
									4.706387				
									3.565445	7217.34	873.56	7270.01	94.24

S9	1262	354	44680	0.5	183.84	530.89	12700	7.44	4.278533	13411.8	1757.42	13526.45	87.46
									4.991622				
									4.278533	12868.05	1548.75	12960.91	88.33
S10	21080	309	4280	2.5	150.68	206.12	11900	17.94	6.203648	7625.1	1099.14	7703.91	83.79
									7.533001				
									6.203648	7625.1	1099.14	7703.91	83.79
S11	6060	158	13680	0.5	46.89	126.58	5140	10.13	1.772471	6811.31	801.18	6858.27	85.06
									2.658706				
									1.772471	6900	764.81	6942.26	86.71
S12	5820	149	9890	0.0	47.09	105.66	4500	8.58	2.215589	7954.14	963.18	8012.24	87.06
									3.544942				
									2.215589	7918.63	993.78	7980.75	85.97
S13	7180	119	8790	1.5	58.66	98.37	3770	13.02	3.101824	5030.85	572.07	5063.27	86.62
									4.431177				
									3.101824	5587.34	643.27	5624.25	87.86

S14	5320	91	9580	1.5	43.56	65.72	2970	10.82	3.544942	4420.23	531.24	4452.04	86.38
									5.583283				
									3.544942	5096.77	610.51	5133.20	86.42

Tabla 3.57: Tabulación de resultados de ensayos [Autor]

3.2.1. Análisis resultados a tracción

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de tracción realizados, en donde se puede observar cómo varían las propiedades dependiendo de la combinación de fibras y la carga a la cual están sometidas las probetas.

➤ Esfuerzo máximo

En el gráfico a continuación se puede observar cómo los casos S9 (C+C+C+C+C) y S10 (K+K+K+K+K), son los que mayor carga resisten antes de deformarse permanentemente con valores de 354 y 309 MPa respectivamente; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos que S4 (Ch+V+Ch) y S11 (Ch+C) son los que mayor resistencia tienen con valores de 157 y 158 MPa.

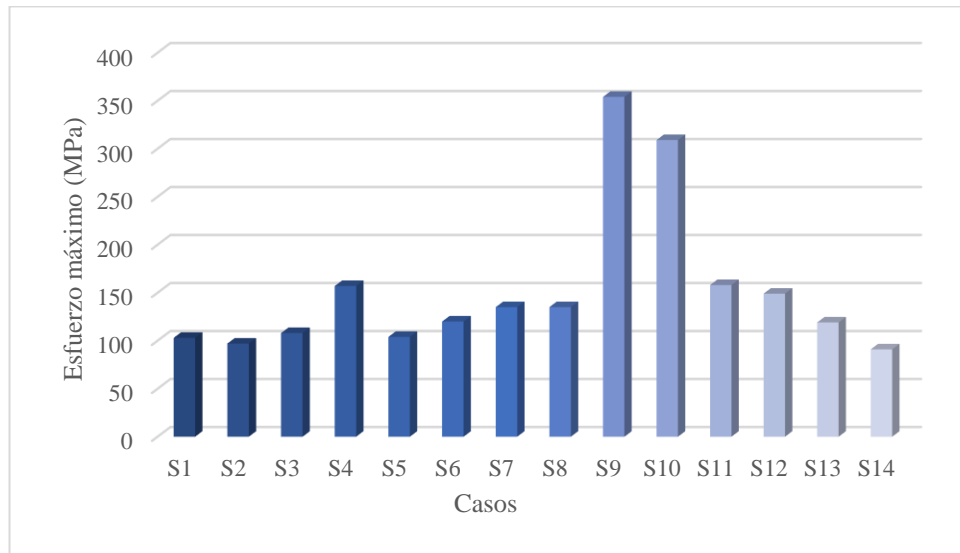


Figura 3. 1 Esfuerzo máximo a tracción por cada caso [Autor]

➤ Módulo de elasticidad

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S9 (C+C+C+C+C), es la combinación que mejor módulo elástico presenta, cuyo valor es de 44680 MPa; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos que el caso S11 (Ch+C) es el que mayor módulo elástico presenta con un valor de 13680 MPa.

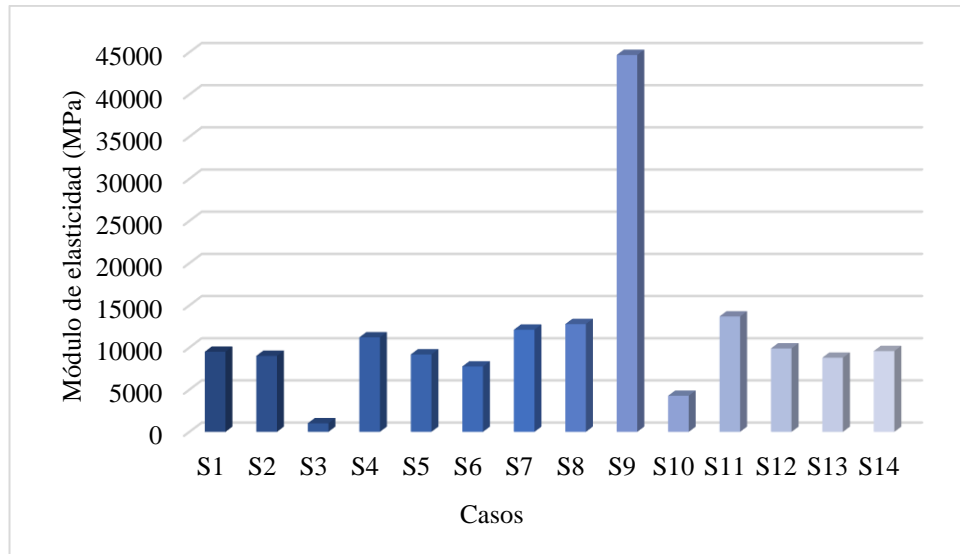


Figura 3. 2 Módulo de elasticidad por cada caso [Autor]

3.2.2. Análisis resultados a flexión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión realizados, en donde se puede observar cómo varían las propiedades dependiendo de la combinación de fibras y la carga a la cual están sometidas las probetas.

➤ Esfuerzo máximo

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S9 (C+C+C+C+C), es la combinación que mejor se comporta y cuyo valor está en los 350.89 MPa; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo el caso S4 (V+Ch+V) es el que mejor se comporta con un valor de 283.65 MPa.

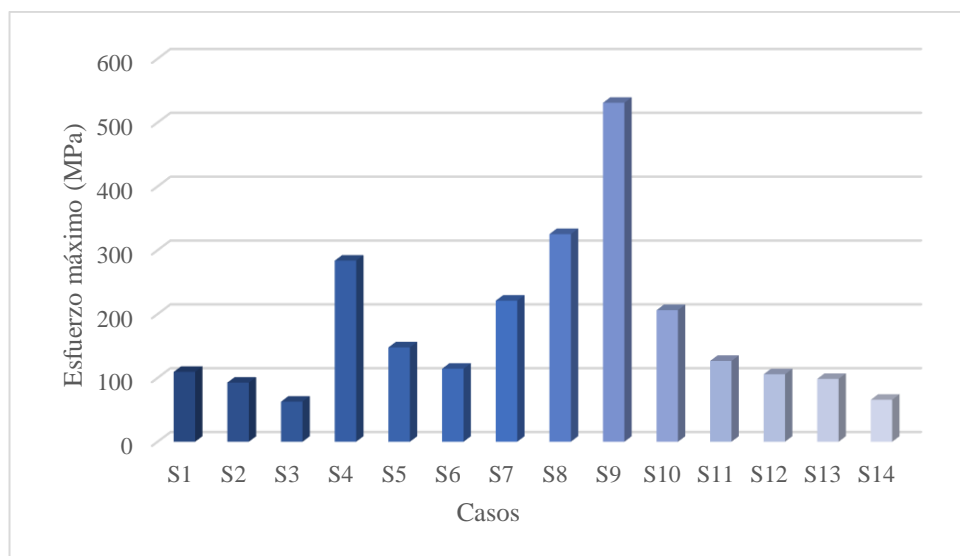


Figura 3. 3 Esfuerzo máximo a flexión por cada caso [Autor]

➤ Módulo de Elasticidad

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S9 (C+C+C+C+C), es la combinación que mejor se comporta y cuyo valor está en los 12700 MPa; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo el caso S7 (V+Ch+V+Ch+V) es el que mejor se comporta con un valor de 11900 MPa.

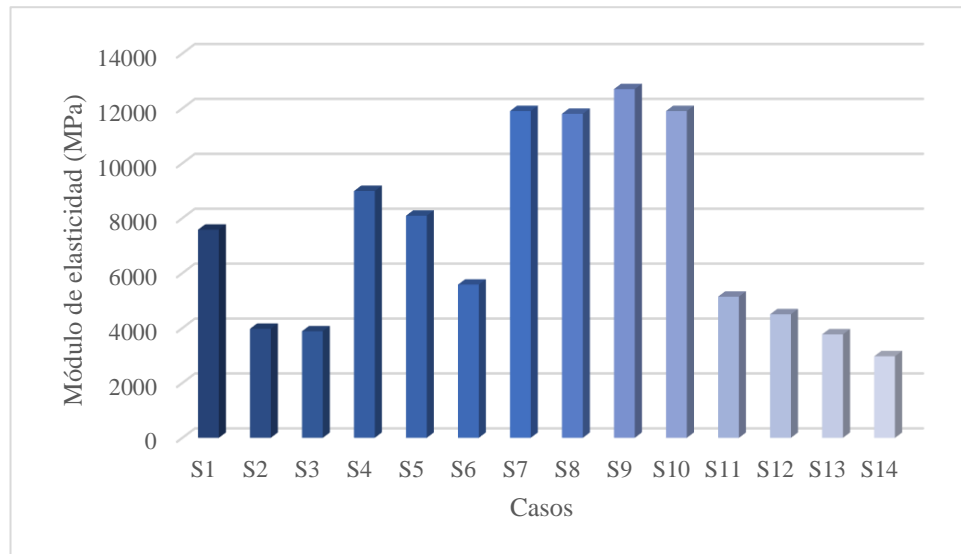


Figura 3. 4 Módulo elástico por cada caso [Autor]

➤ Deflexión

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S10 (K+K+K+K+K), es la combinación que mayor deflexión tiene y cuyo valor está en los 17.94 mm; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo los casos S1 (Ch+Ch+Ch+Ch+Ch), S6 (Ch+V+Ch+V+Ch) son los que mayor deflexión tienen, con valores de 18.59 y 17.3 mm respectivamente.

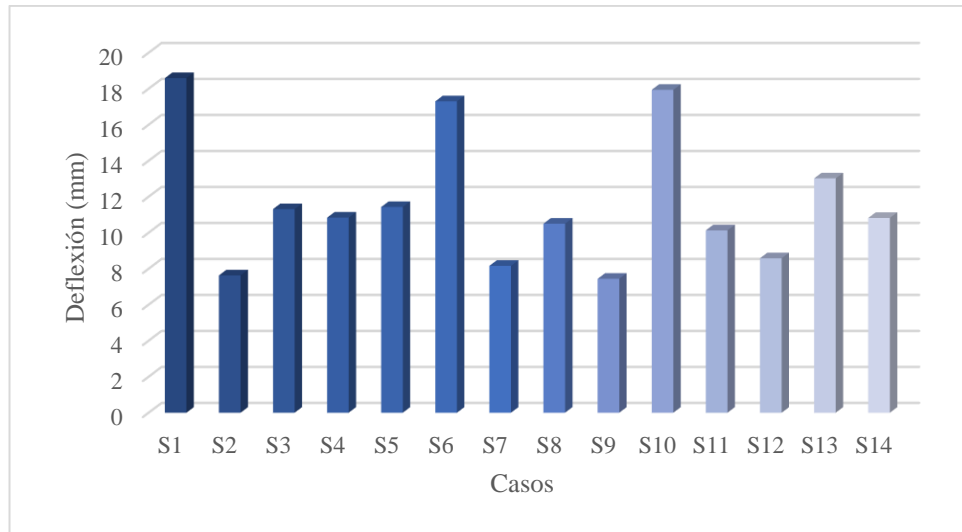


Figura 3. 5 Deflexión por cada caso [Autor]

3.2.3. Análisis resultados a impacto

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de impacto, en donde se puede observar cómo varían las propiedades dependiendo de la combinación de fibras y la carga a la cual están sometidas las probetas.

➤ Energía de fallo

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S10 (K+K+K+K+K), es la combinación que energía de impacto absorbe y tiene un valor promedio de 6.646 J; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo los casos S1 (Ch+Ch+Ch+Ch+Ch), S6 (Ch+V+Ch+V+Ch) son los que mayor deflexión tienen, con valores de 18.59 y 17.3 mm respectivamente.

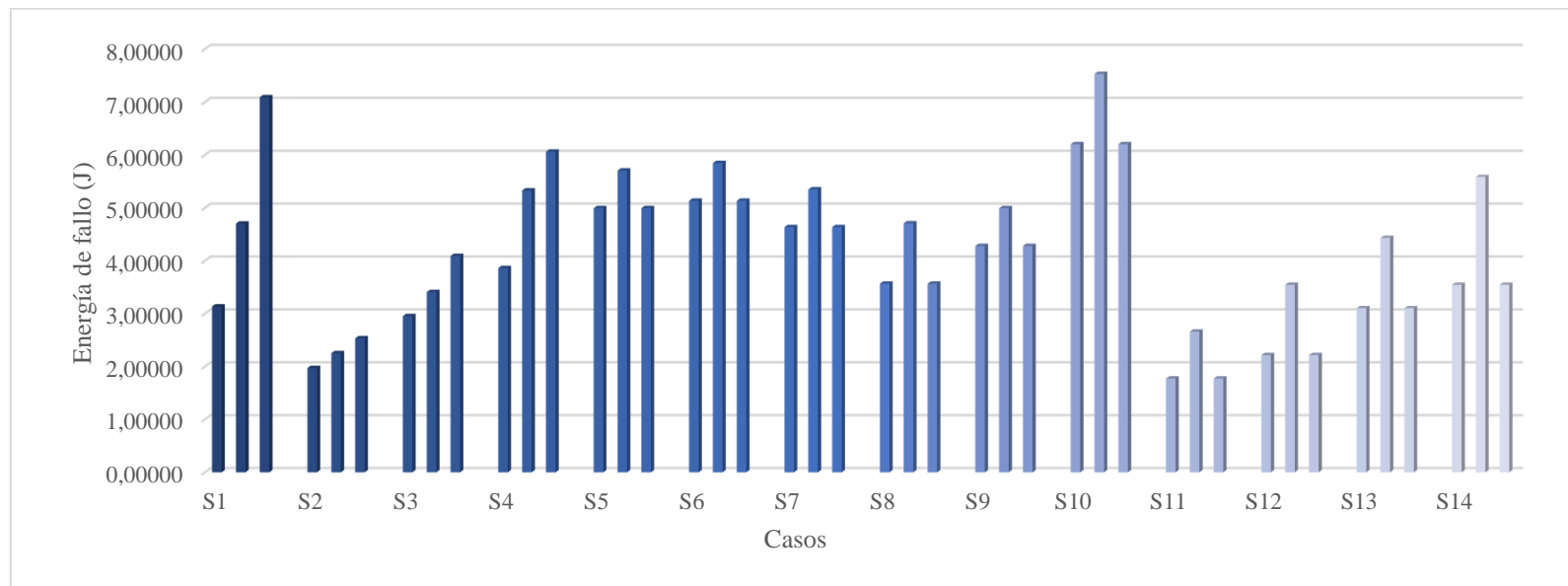


Figura 3. 6 Energía de fallo por cada caso [Autor]

3.2.4. Análisis dinámico mecánico

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de DMA realizados, en donde se puede observar cómo varían las propiedades viscoelásticas dependiendo de la combinación de fibras y la temperatura a la cual fueron ensayadas.

➤ Módulo de almacenamiento E'

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S9 (C+C+C+C+C), es la combinación que mayor módulo elástico presenta y cuyo valor está en los 13139.92 MPa; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo el caso S12 (Ch+K) es el que mayor módulo elástico tiene, con un valor de 7936.38 MPa.

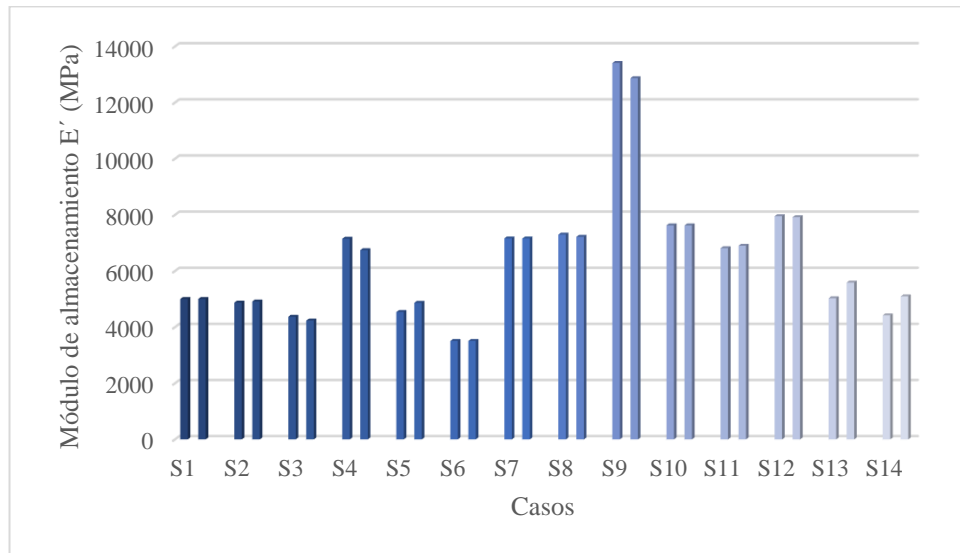


Figura 3. 7 Módulo de almacenamiento por cada caso [Autor]

➤ Módulo de pérdida E''

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S9 (C+C+C+C+C), es la combinación que mayor módulo viscoso presenta y cuyo valor está en los 1653.08 MPa; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo el caso S1 (Ch+Ch+Ch+Ch+Ch) es el que mayor módulo viscoso tiene, con un valor de 1523.79 MPa

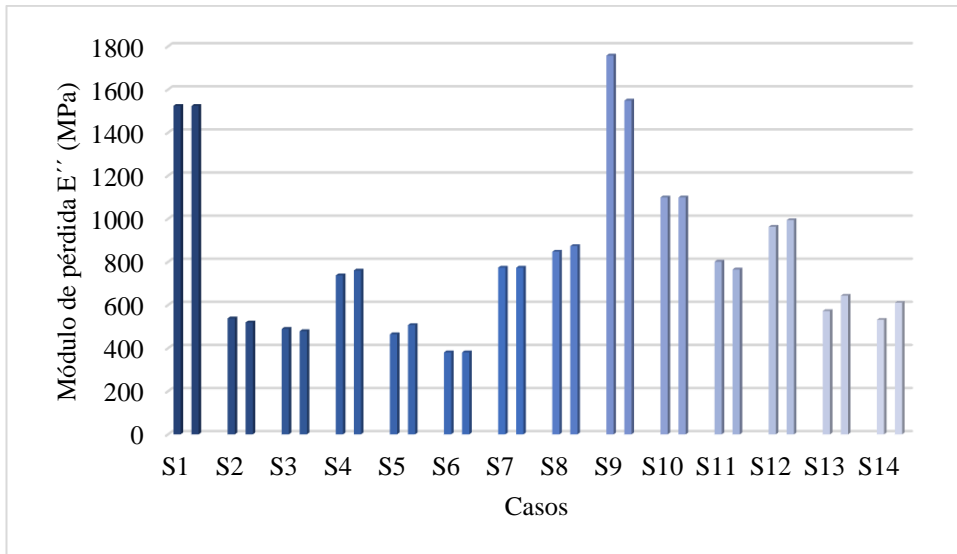


Figura 3. 8 Módulo de pérdida por cada caso [Autor]

➤ **Módulo complejo E***

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S9 (C+C+C+C+C), es la combinación que mayor módulo global presenta y cuyo valor está en los 13243.50 MPa; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo el caso S12 (Ch+K) es el que mayor módulo global tiene, con un valor de 7996.48 MPa

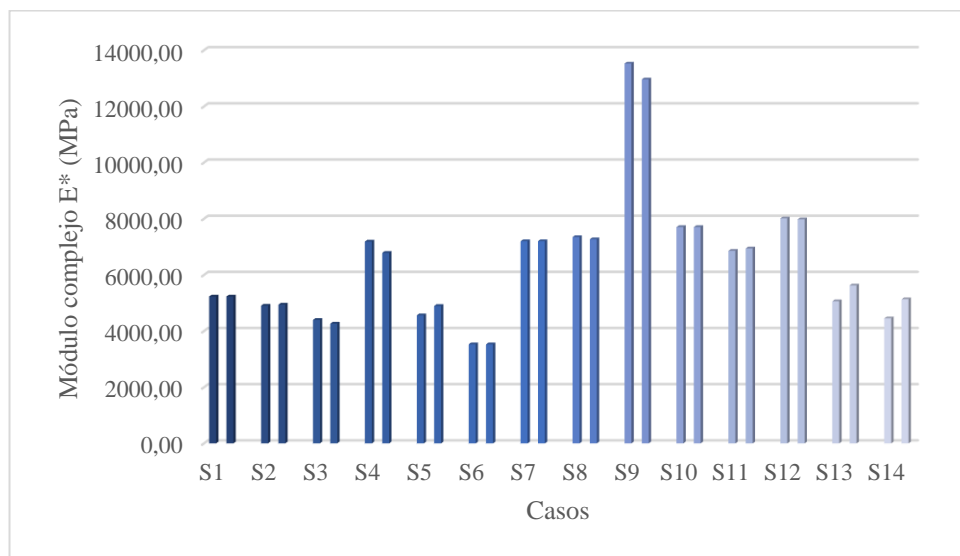


Figura 3. 9 Módulo global por cada caso [Autor]

➤ **Temperatura de transición vítrea Tg (°C)**

En el gráfico a continuación se puede observar cómo el caso S8 (V+V+V+V+V), es la combinación que mayor temperatura de transición vítrea tiene y cuyo valor está en los 94.4 °C; para los casos donde se combina una fibra sintética con chambira observamos cómo el caso S7 (V+Ch+V+Ch+V) es el que mayor temperatura de transición vítrea tiene, con un valor de 92.29 °C

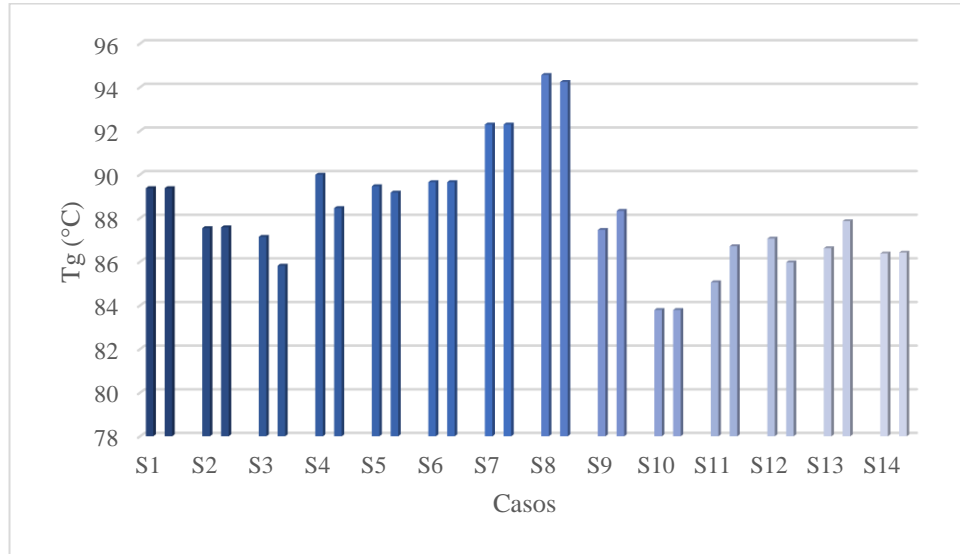


Figura 3. 10 Tg (°C) por cada caso [Autor]

3.3. Módulo de Elasticidad Tracción vs Análisis Dinámico Mecánico DMA

➤ **S1 - Ch+Ch+Ch+Ch+Ch**

S1	
Mód Elasticidad (Mpa)	9500,00
Mód Complejo (Mpa)	5228,86

Tabla 3.58 Propiedades mecánicas vs DMA caso 1 [Autor]

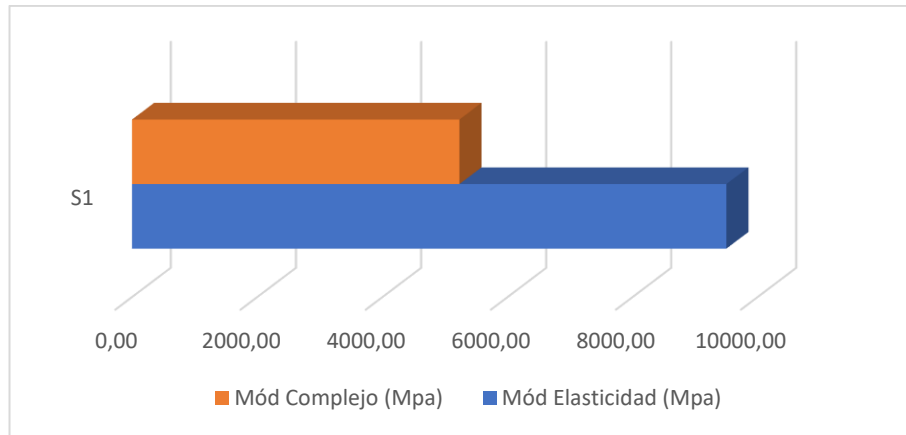


Figura 3.11 Propiedades mecánicas vs DMA caso 1 [Autor]

➤ **S2 - Ch+V**

S2	
Mód Elasticidad (Mpa)	9010,00
Mód Complejo (Mpa)	4921,97

Tabla 3.59 Propiedades mecánicas vs DMA caso 2 [Autor]

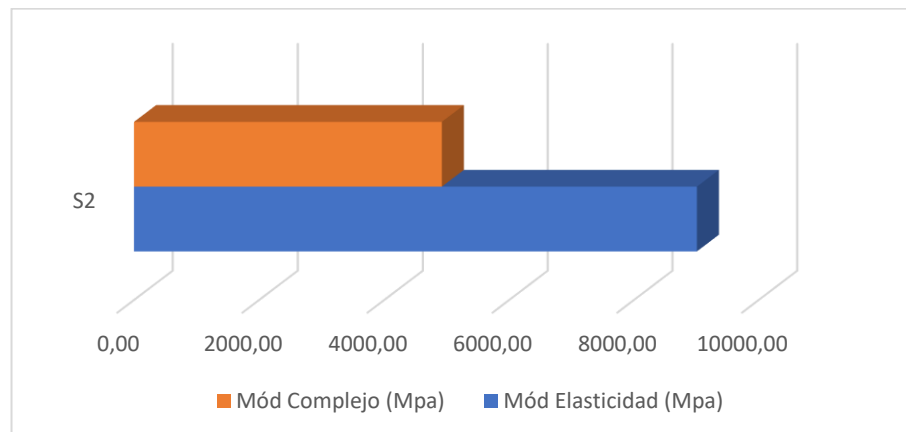


Figura 3.12 Propiedades mecánicas vs DMA caso 2 [Autor]

➤ **S3 - Ch+V+Ch**

S3	
Mód Elasticidad (Mpa)	1017,00
Mód Complejo (Mpa)	4330,40

Tabla 3.60 Propiedades mecánicas vs DMA caso 3 [Autor]

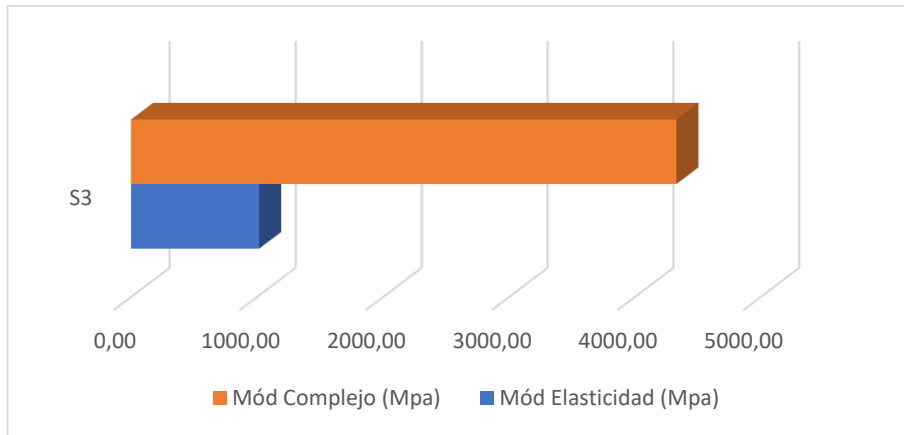


Figura 3.13 Propiedades mecánicas vs DMA caso 3 [Autor]

➤ **S4 – V+Ch+V**

S4	
Mód Elasticidad (Mpa)	11210,00
Mód Complejo (Mpa)	6986,55

Tabla 3.61 Propiedades mecánicas vs DMA caso 4 [Autor]

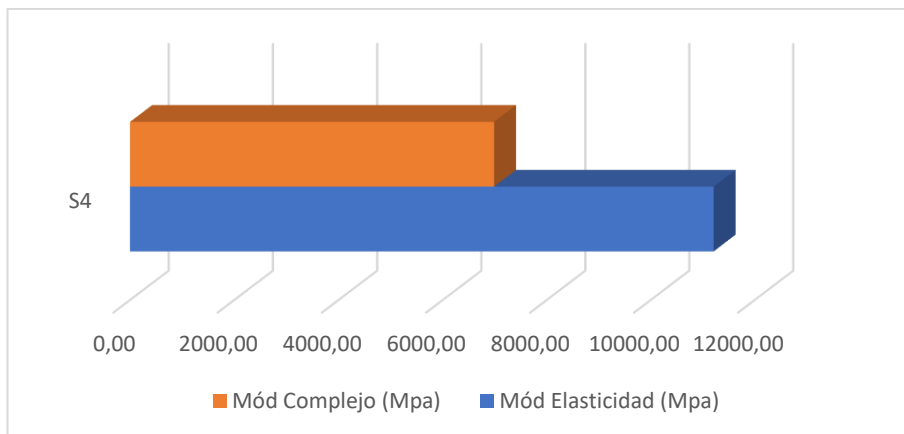


Figura 3.14 Propiedades mecánicas vs DMA caso 4 [Autor]

➤ **S5 – Ch+V+Ch+V**

S5	
Mód Elasticidad (Mpa)	9180,00
Mód Complejo (Mpa)	4728,03

Tabla 3.62 Propiedades mecánicas vs DMA caso 5 [Autor]

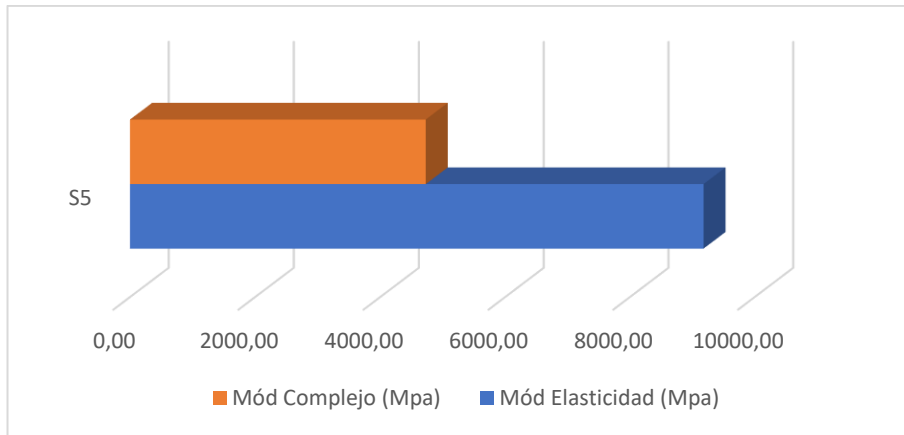


Figura 3.15 Propiedades mecánicas vs DMA caso 5 [Autor]

➤ **S6 – Ch+V+Ch+V+Ch**

S6	
Mód Elasticidad (Mpa)	7750,00
Mód Complejo (Mpa)	3527,83

Tabla 3.63 Propiedades mecánicas vs DMA caso 6 [Autor]

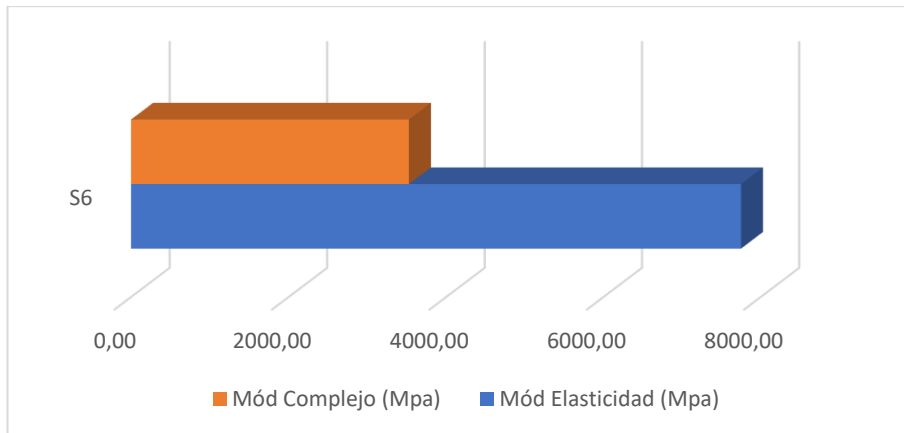


Figura 3.16 Propiedades mecánicas vs DMA caso 6 [Autor]

➤ **S7 – V+Ch+V+Ch+V**

S7	
Mód Elasticidad (Mpa)	12110,00
Mód Complejo (Mpa)	7201,36

Tabla 3.64 Propiedades mecánicas vs DMA caso 7 [Autor]

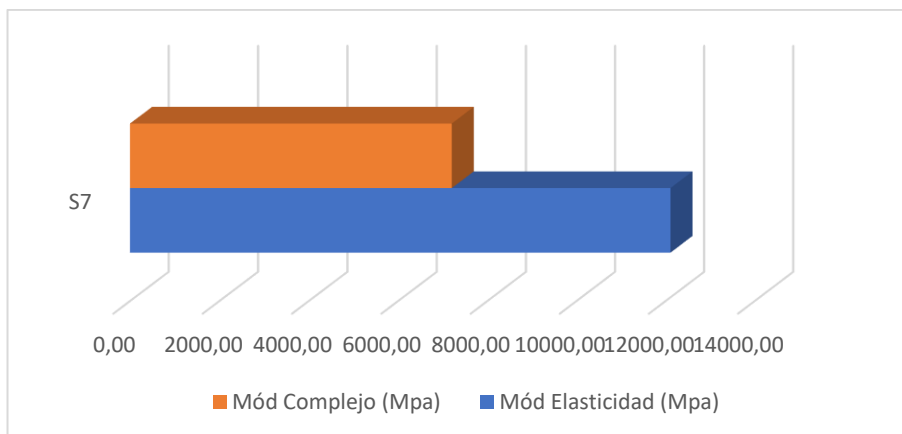


Figura 3.17 Propiedades mecánicas vs DMA caso 7 [Autor]

➤ **S8 – V+V+V+V+V**

S8	
Mód Elasticidad (Mpa)	12780,00
Mód Complejo (Mpa)	7308,82

Tabla 3.65 Propiedades mecánicas vs DMA caso 8 [Autor]

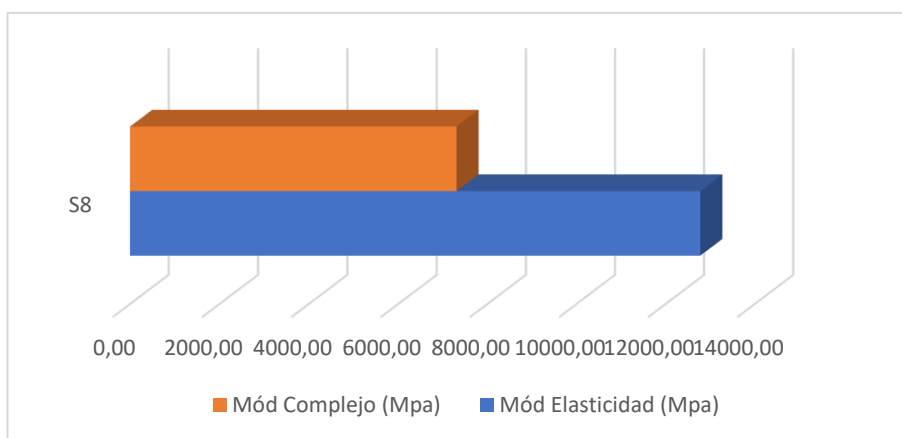


Figura 3.18 Propiedades mecánicas vs DMA caso 8 [Autor]

➤ **S9 – C+C+C+C+C**

S9	
Mód Elasticidad (Mpa)	44680,00
Mód Complejo (Mpa)	13243,50

Tabla 3.66 Propiedades mecánicas vs DMA caso 9 [Autor]

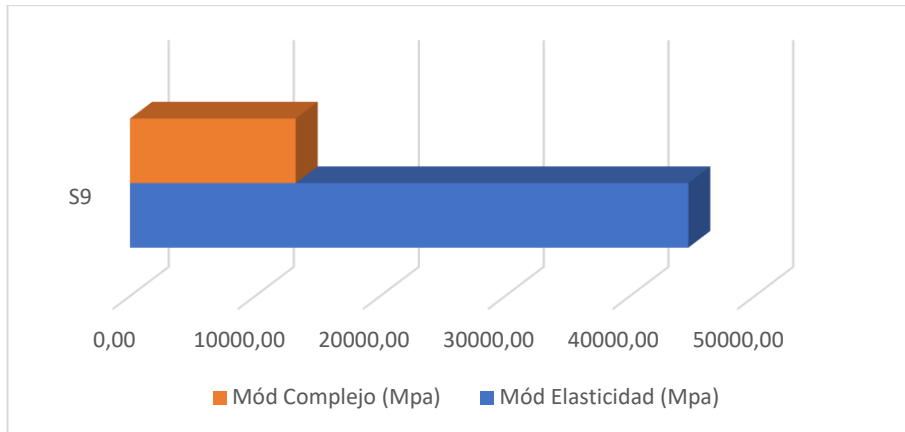


Figura 3.19 Propiedades mecánicas vs DMA caso 9 [Autor]

➤ **S10 – K+K+K+K+K**

S10	
Mód Elasticidad (Mpa)	4280,00
Mód Complejo (Mpa)	7703,91

Tabla 3.67 Propiedades mecánicas vs DMA caso 10 [Autor]

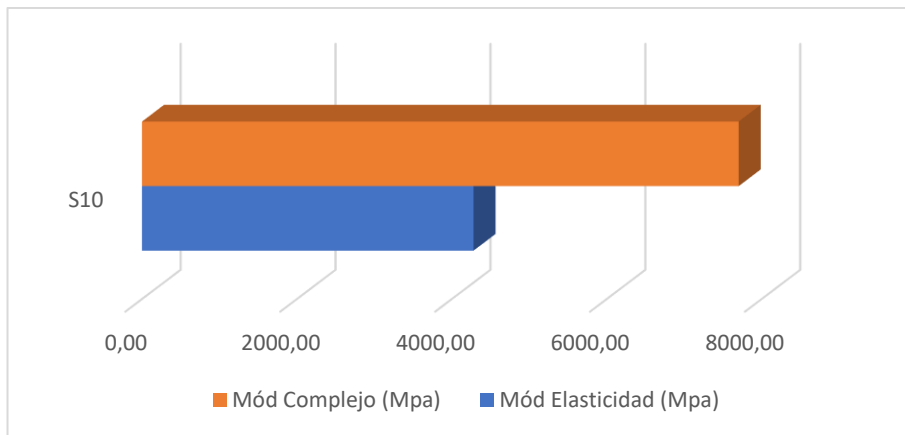


Figura 3.20 Propiedades mecánicas vs DMA caso 10 [Autor]

➤ **S11 – Ch+K**

S11	
Mód Elasticidad (Mpa)	13680,00
Mód Complejo (Mpa)	6900,22

Tabla 3.68 Propiedades mecánicas vs DMA caso 11 [Autor]

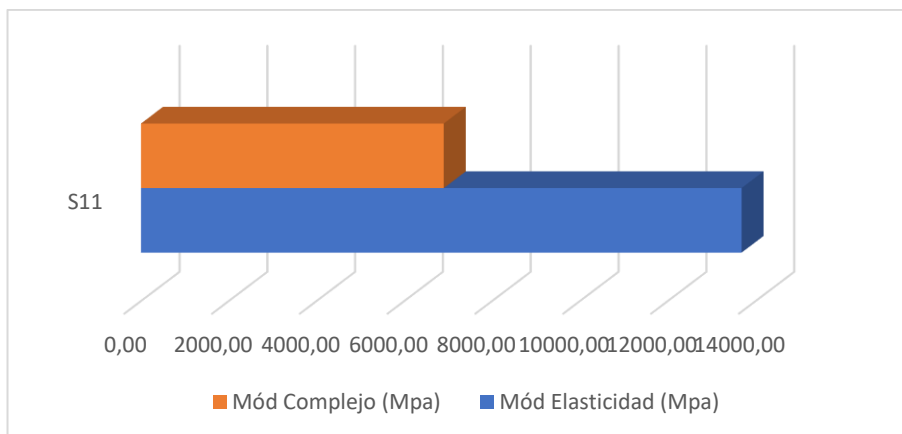


Figura 3.21 Propiedades mecánicas vs DMA caso 11 [Autor]

➤ **S12 – Ch+K**

S12	
Mód Elasticidad (Mpa)	9890,00
Mód Complejo (Mpa)	7996,48

Tabla 3.69 Propiedades mecánicas vs DMA caso 12 [Autor]

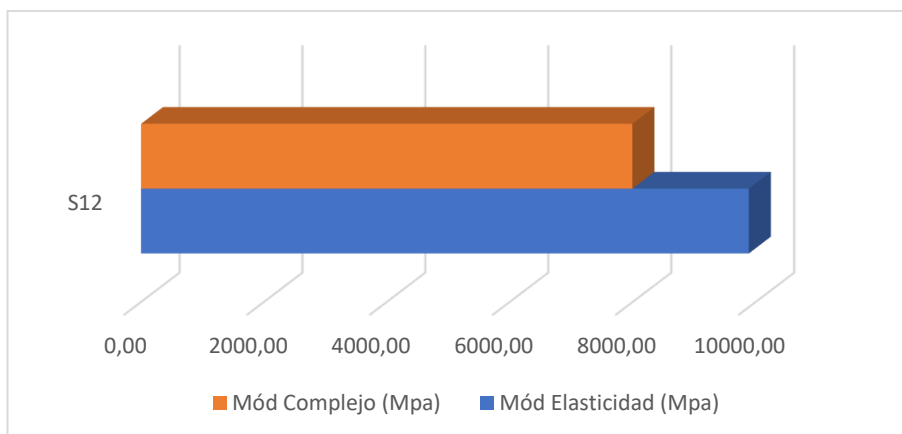


Figura 3.22 Propiedades mecánicas vs DMA caso 12 [Autor]

➤ **S13 – Ch+C+Ch**

S13	
Mód Elasticidad (Mpa)	8790,00
Mód Complejo (Mpa)	5343,76

Tabla 3.70 Propiedades mecánicas vs DMA caso 13 [Autor]

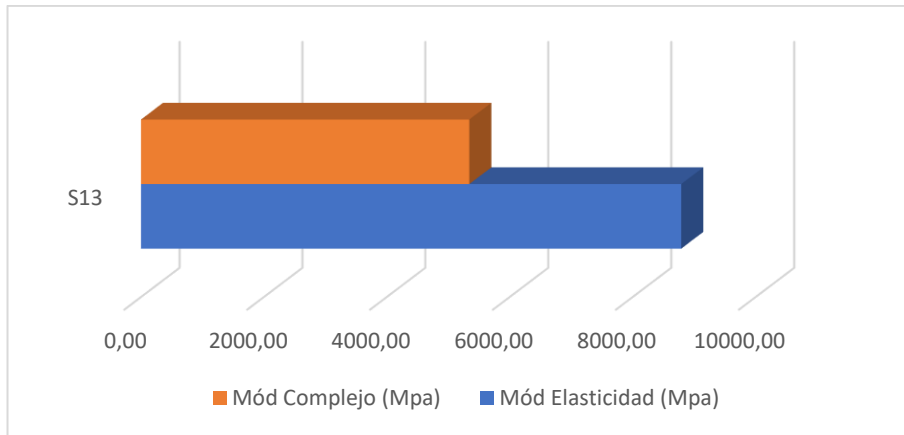


Figura 3.23 Propiedades mecánicas vs DMA caso 13 [Autor]

➤ **S14 – Ch+K+Ch**

S14	
Mód Elasticidad (Mpa)	9580,00
Mód Complejo (Mpa)	4792,62

Tabla 3.71 Propiedades mecánicas vs DMA caso 14 [Autor]

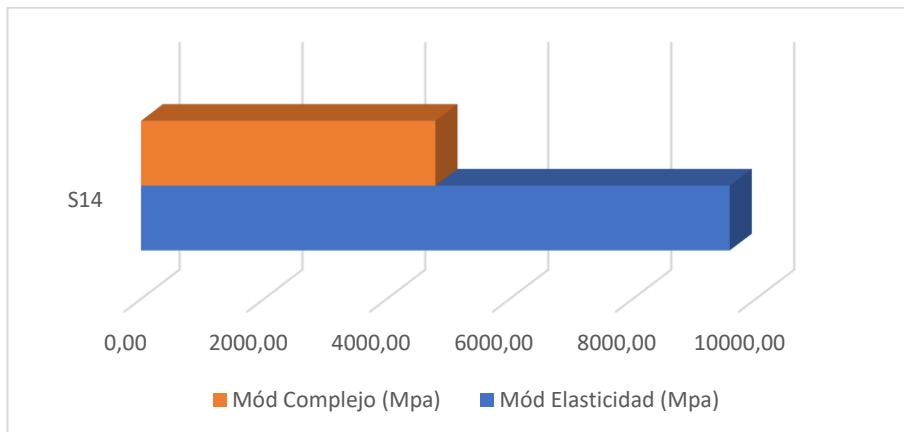


Figura 3.24 Propiedades mecánicas vs DMA caso 14 [Autor]

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Para la obtención de compuestos de matriz epoxi con fibras naturales y sintéticas fue necesario primero establecer los casos de estudio y las secuencias de fibra a estudiar, después realizar los cálculos respectivos del peso y densidad de la chambira para elaborar el tejido, de igual forma se realizaron cálculos para la cantidad de matriz para su conformación.
- Las probetas de material compuesto se conformaron mediante un proceso de estratificación al vacío o también llamado infusión. Método que nos facilita la obtención de probetas con mejor adherencia entre sus componentes, debido a que la resina pasa por todas las capas de tejido y se impregna en ellas formando un material más compacto, menos poroso y con mejor estética.
- Una vez obtenidos nuestros materiales compuestos y previo corte fue necesario un proceso de secado, mismo que se efectuó en dos partes, la primer que se llevó a cabo a una temperatura ambiente por 3 semanas y después en un horno a 90 °C por 2 horas.
- Para el análisis de las propiedades termomecánicas, se utilizo un analizador mecánico DMA 850, mismo que nos devolvió valores de: Módulo de Almacenamiento E' , Módulo de Pérdida E'' y Ángulo de desfase ($\tan \delta$).
 - El material que mejores propiedades termomecánicas presentó fue la combinación S9 (C+C+C+C+C), con valores en su módulo de almacenamiento (13139.92 MPa) y pérdida (1653.08 MPa) muy elevados, lo cual nos indica que, es un material capaz de absorber cantidades muy grandes de energía, y a su vez, muy capaz de disipar esas cantidades de energía.
 - El material hibrido con mejor módulo de almacenamiento fue la combinación S12 (Ch+K), misma que presentó un total de 7936.38 MPa.
 - El material hibrido con mejor módulo de pérdida fue la combinación S1 (Ch+Ch+Ch+Ch+Ch), misma que presentó un total de 1523.79 MPa.

- En general, la mejor secuencia de combinación de una fibra natural con una sintética es la combinación S12 (Ch+K), ya que presenta un módulo complejo de 7996.48 MPa, que representa la resistencia total de un material frente a la deformación aplicada.
- Dentro de los resultados del ensayo a tracción obtenidos, es importante señalar los siguientes puntos:
 - Los valores sobresalientes de esfuerzo máximo a tracción fueron de las combinaciones S4 y S11 por parte de las combinaciones a base de fibra natural y sintética, ya que el valor máximo corresponde a la combinación S9.
 - Los valores sobresalientes del módulo de elasticidad fueron de las combinaciones S7 y S11 por parte de las combinaciones a base de fibra natural y sintética, ya que el valor máximo corresponde a la combinación S9.
- Dentro de los resultados del ensayo a flexión obtenidos, es importante señalar los siguientes puntos:
 - Los valores sobresalientes de esfuerzo máximo a flexión corresponden a la combinación S4 parte de las combinaciones a base de fibra natural y sintética, ya que el valor máximo corresponde a la combinación S9.
 - Los valores sobresalientes de módulo de elasticidad corresponden a la combinación S7 parte de las combinaciones a base de fibra natural y sintética, ya que el valor máximo corresponde a la combinación S9.
 - Los valores sobresalientes de deflexión corresponden a la combinación S6 parte de las combinaciones a base de fibra natural y sintética, ya que el valor máximo corresponde a la combinación S1.
- Las propiedades de un material, tanto mecánicas como termomecánicas pueden variar dependiendo la configuración bajo la cual hay sido conformado el material, como pudimos observar durante este estudio, las probetas puras de fibra de carbono fueron las que mejores propiedades ostentaron, tanto mecánicas como termomecánicas. Por otra parte, cuando se trata de materiales híbridos con fibra natural y sintética no existe un material tan dominante ya que depende de varios factores que inciden en los resultados (espesor de las probetas, irregularidades en la muestra, temperatura de curado, etc) y como

podimos ver existen combinaciones que se comportan mejor que otras en ciertos campos.

- Por último, la temperatura de transición vítrea para todos los compuestos está en un rango desde los 80 hasta los 90°C, lo cual nos deja ver que los resultados son válidos, ya que si se toma como referencia la ficha del fabricante nos menciona que la temperatura de transición vítrea de ese material es de 196°F o su equivalente 91°C.

4.2. Recomendaciones

- La zona de trabajo debe estar completamente limpia, ya que caso contrario vamos a tener inconvenientes al momento de desmoldar.
- Verificar que se forme un sello hermético antes procesar la resina por las fibras, ya que si existen fugas no vamos a tener la presión suficiente para que el proceso por infusión funcione.
- Realizar los cálculos de las cantidades de fibra y de resina lo más exactos posibles a fin de evitar desperdicios durante el proceso de fabricación.
- Tener en cuenta que el tiempo que debe transcurrir antes de desmoldar nuestras probetas es de 24 horas, caso contrario las probetas se pueden encontrar todavía en un estado gomoso.
- Para el curado de las probetas no superar las 2 horas en el horno, ya que caso contrario las propiedades también se pueden ver afectadas.
- Documentar cada parte del proceso a fin de tener registros.
- Siempre llevar equipos de protección personal.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] S. C. Das *et al.*, “Effect of stacking sequence on the performance of hybrid natural/synthetic fiber reinforced polymer composite laminates”, *Compos Struct*, vol. 276, nov. 2021, doi: 10.1016/j.compstruct.2021.114525.
- [2] V. Gómez y E. Franco, “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES COMPUESTOS MANUFACTURADOS FUERA DE AUTOCLAVE”, 2017.
- [3] M. Reinoso y S. Espín, “MATERIALES COMPUESTOS POLIMÉRICOS CON MATRIZ POLIÉSTER Y FIBRA DE CARBONO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE TRACCIÓN”, 2015.
- [4] R. Zavala, W. Darío, T. Morales, y J. Luis, “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON TEJIDOS Y NO TEJIDOS DE FIBRA DE CABUYA MEDIANTE INFUSIÓN AL VACÍO TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO”, 2021.
- [5] E. Cunalata, C. Jiménez, C. Díaz, y E. Valencia, “CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE YUTE PRE-CARGADA MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN”, 2019.
- [6] F. Stupenengo, “Materiales y materias primas”, 2011. Consultado: oct. 06, 2022. [En línea]. Available: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>
- [7] W. Callister y D. Rethwisch, *Materials Science and Engineering*, 10a ed. Hoboken, NJ: Wiley, 2018. Consultado: oct. 06, 2022. [En línea]. Available: [https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/TEKNOLOGI%20REKAYASA%20MATERIAL%20PERTAHANAN/Materials%20Science%20and%20Engineering%20An%20Introduction%20by%20William%20D.%20Callister,%20Jr.,%20David%20G.%20Rethwisch%20\(z-lib.org\).pdf](https://ftp.idu.ac.id/wp-content/uploads/ebook/tdg/TEKNOLOGI%20REKAYASA%20MATERIAL%20PERTAHANAN/Materials%20Science%20and%20Engineering%20An%20Introduction%20by%20William%20D.%20Callister,%20Jr.,%20David%20G.%20Rethwisch%20(z-lib.org).pdf)
- [8] M. Cano, H. Rostro-Gonzales, H. Juárez, y E. Ortiz, “Desarrollo de un cuadricóptero-mini basado en materiales compuestos”, 2019.

- [9] R. Robayo, F. Delgado, J. Portocarrero, J. Tristancho, D. Pérez, y M. Holguín, “Materiales Compuestos. Clasificación, Procesamiento y Aplicaciones.”, 2021. https://issuu.com/publicificasemavi/docs/materiales_compuestos_final (consultado oct. 11, 2022).
- [10] F. Campbell, *Structural Composite Materials*. 2010. Consultado: oct. 06, 2022. [En línea]. Available: https://digilib.bppt.go.id/sampul/Structural_Composite_Materials_full.pdf
- [11] R. Imbaquingo, ““Caracterización, Diseño y Simulación de un Guardafango del Vehículo Chevrolet Aveo Constituido con Material Compuesto a base de Resina Epoxi y Refuerzo de Fibras Orgánicas.””, UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, Quito.
- [12] Á. Pozo, A. Güemes, y A. Fernández, “Materiales Compuestos de Fibras Naturales”, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2019. Consultado: oct. 12, 2022. [En línea]. Available: https://oa.upm.es/55053/1/ANGEL_RENATO_POZO_MORALES.pdf
- [13] J. Plasencia y J. Paredes, ““OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM) Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS””, 2021.
- [14] C. Julissa y C. Silvia, “DISEÑO TEXTIL A PARTIR DE FIBRAS VEGETALES Y SEMILLAS NATURALES”, 2022.
- [15] M. A. Jiménez, L. Castejón, y A. Miravete, “Materiales compuestos realizados a partir de nuevas tecnologías textiles”, 1997. [En línea]. Available: <http://materconstrucc.revistas.csic.es>
- [16] M. Marín, B. Millán, y F. Kahn, “Anatomy and physicochemical properties of the chambira fiber”, *Rev Peru Biol*, vol. 19, núm. 1, pp. 003–010, abr. 2012, doi: 10.15381/rpb.v19i1.779.
- [17] Besednjak A, “Los materiales compuestos”, Consultado: nov. 04, 2022. [En línea]. Available: <https://www.kimerius.com/app/download/5781437527/Los+materiales+compuestos.pdf>

- [18] Samantha Nuñez Reyes y SAúl David COotez Casasola, “TERMOPLÁSTICOS. | Polímeros”, 2012. <http://termoplas.blogspot.com/2012/10/termoplasticos.html> (consultado nov. 04, 2022).
- [19] “CARACTERÍSTICAS DE LOS TERMOESTABLES”.
- [20] A. Miravete *et al.*, “MATERIALES COMPUESTOS”, *Editorial Reverté. S.A.*, p. 83, 2012, Consultado: nov. 06, 2022. [En línea]. Available: <https://ia903100.us.archive.org/11/items/materialescompuestostomoianionimiravete/Materiales-Compuestos-Tomo-I-Antonio-Miravete.pdf>
- [21] W. O. Soboyejo, *Mechanical properties of engineered materials*. Marcel Dekker, 2003.
- [22] A. Güemes, G. Nuria, y M. Piris, “Ciencia de materiales para ingenieros”, 2012. [En línea]. Available: <http://fullengineeringbook.blogspot.com>
- [23] V. H. Guerrero *et al.*, *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES*.
- [24] D. R. Askeland y W. J. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*. 2016. [En línea]. Available: <http://latinoamerica.cengage.com>
- [25] A. Halley, “Procedure for impact testing of fused recycled glass Title Procedure for impact testing of fused recycled glass”, 2017. [En línea]. Available: <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/57313/>
- [26] Centro de Transferencia y Tecnología FICM, “RESISTENCIA DE IMPACTO SEGÚN ASTM D 5628-10”, 2022.
- [27] Vicent. Fombuena Borrás, O. A. Fenollar Gimeno, y N. Montañes Moñoz, *Caracterización de materiales poliméricos*. Editorial Universitat Politècnica de València, 2016.
- [28] J. Lizana, F. Carrión, y M. Bermúdez, “Caracterización Térmica y Mecánica de Nuevos Nanocomposites Reforzados con Nanotubos de Carbono”, 2010.
- [29] TA Instruments, “DISCOVER the WORLD’S FINEST DYNAMIC MECHANICAL ANALYZER”, *Discover a new DMA that provides*. Consultado: ene. 02, 2023. [En

- línea]. Available: <https://www.tainstruments.com/pdf/brochure/Discovery-DMA-Brochure.pdf>
- [30] P. Raja y A. Barron, “Análisis Mecánico Dinámico”, en *Métodos Físicos en Química y Nano Ciencia*, 2022. [En línea]. Available: <https://espanol.libretexts.org/@go/page/71092>
- [31] L. Martinez, “TÉCNICAS DE ANÁLISIS DINÁMICO MECÁNICO”, 2006.
- [32] E. Martínez, J. Negrete, y G. Torres, “Caracterización de tres aleaciones superplásticas utilizando análisis mecánico dinámico (DMA)”, *Revista Matéria*, v, vol. 13, núm. 2, pp. 365–373, 2008, [En línea]. Available: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo11000>
- [33] Todo En Polímeros, “TRANSICIÓN VÍTREA”, dic. 21, 2016. <https://todoenpolimeros.com/2016/12/21/transicion-vitrea/> (consultado ene. 02, 2023).
- [34] J. Lizana, “Caracterización Térmica y Mecánica de Nuevos Nanocomposites Reforzados con Nanotubos de Carbono”, 2010.
- [35] Inc. PTM&W Industries, “PR2032 Laminating Resin For Composite Parts”. [En línea]. Available: www.aeropoly.com
- [36] B. Gavilanes y J. Paredes, “OPTIMIZACIÓN-MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), MEDIANTE INFUSIÓN DE RESINA AL VACÍO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”, 2022.
- [37] “Hydraulic Universal Testing Machine”. https://www.xlctesting.com/products/Hydraulic_Universal_Testing_Machine.html (consultado ene. 07, 2023).
- [38] AIMPLAS, “Ensayos de resistencia a la flexión de plásticos”. <https://www.aimplas.es/tipos-ensayos/propiedades-mecanicas-de-los-materiales-plasticos/ensayo-de-flexion/> (consultado ene. 07, 2023).

ANEXOS

ANEXO 1

	<p style="margin: 0;">HexForce™ 7781 Fiber Glass Fabric</p>	<p style="margin: 0; font-size: 1.2em;"><i>Product Data</i></p>
---	--	---

STYLE 7781		US System	SI Units
<i>Type of Yarns</i>	<i>Warp Yarn:</i> <i>Fill Yarn:</i>	ECDE 75 1/0 ECDE 75 1/0	EC6 66 EC6 66
<i>Fabric Weight, Dry</i>		8.81 oz/yd ²	299 g/m ²
<i>Weave Style</i>	8 Harness Satin		
CONSTRUCTION			
<i>Nominal Construction</i>	<i>Warp Count:</i> <i>Fill Count:</i>	57/in 54/in	22.44/cm 21.25/cm
<i>Fabric Thickness</i>		8.6 mil	0.22 mm
<i>Breaking Strength</i>	<i>Warp</i> <i>Filling</i>	570 lbf/in 450 lbf/in	

IMPORTANT

All information is believed to be accurate but is given without acceptance of liability. All values have been generated from limited data. The values listed for weight, thickness and breaking strengths are typical greige values, unless otherwise noted. Users should make their own assessment of the suitability of any product for the purpose required. All sales are made subject to our standard terms of sales which include limitations on liability and other important terms. The fabric style listed may not be available from inventory and minimum order quantities may apply.

FOR FURTHER INFORMATION, PLEASE CONTACT US



1913 North King Street
 Seguin, Texas 78155
 Phone: 830-379-1580
 Fax: 830-379-9544
 Customer Service Toll Free: 1-866-601-5430

For European sales office numbers and a full address list, please go to:
<http://www.hexcel.com/contact/salesoffices>

® Hexcel and Hexcel logo are registered trademarks of Hexcel Corporation, Stamford, Connecticut.
 ™ HexForce is a trademark of Hexcel Corporation, Stamford, Connecticut.



3k

Tejido de Fibra de Carbono

Tejido de fibra de carbono Twill

El tejido de fibra de carbono 3K twill es el tejido más popular en la industria de automóviles, aplicaciones marinas, aeroespaciales y deportivas. El tejido de fibra de carbono twill ofrece una mayor adaptación en geometrías complejas y una ligera ventaja en la humectación de la resina. Este tejido puede reforzar cualquier proyecto y al mismo tiempo añadir un peso mínimo, con sólo tres capas son comúnmente utilizadas para producir piezas no estructurales.

Este tejido de fibra de carbono maximiza las propiedades de resistencia con nuestra resina epoxica Q1 (sistema de infusión o RTM) y con la resina epoxica Q2 (sistema con brocha).

Ancho: 1,27m de ancho
 Peso: 198 gr/m² (5.9 Oz)
 Tejido: Twill
 Tamaño de hebra: **3k**

Propiedades	Unidad U.S.	Unidad S.I.
Resistencia a la tracción		
3k	644ksi	4,440Mpa
6k	644ksi	4,440Mpa
12k	790ksi	5,445 Mpa
Módulo de tensión	33.5 Msi	231 Gpa
Alargamiento de rotura		
3k	1.80%	1.80%
6k	1.70%	1.70%
12k	1.70%	1.70%
Densidad	0.0647 lb/in ³	1.79g/cm ³

Clave: FC3KT50


www.quintum.com.mx

ANEXO 3



FICHA TÉCNICA

HILO KEVLAR 50

IMPORTANCIA:

Es un hilo de coser KEVLAR para-aramida, es un material innovador, ya que presenta una resistencia proporcional cinco veces superior a la del acero y son ligeros al mismo tiempo. Son hilos ignífugos (resistentes al fuego y a las altas temperaturas). Se puede construir equipos ligeros y resistentes a la corrosión.

DESCRIPCIÓN:

Es resistente a la tensión y al corte, es decir, no se rompen inmediatamente sino progresivamente, proporcionando un margen de seguridad. Es un material que tiene una baja conductividad eléctrica. No se funden, ya que resisten entre los 425°C y -198°C. Resiste excelentemente a los agentes químicos (solvente, combustibles, lubricantes o agua salada). Por último, se limita a la degradación superficial, por ejemplo, al exponerse a la luz cambia de color amarillo a marrón.

APLICACIONES:

- Óptimo para el refuerzo de neumáticos.
- Excelente en la minería, para la industria del calzado (botas militares), fabricación de uniformes de bomberos, trajes espaciales, chalecos antibalas, guantes, etc.

CARACTERÍSTICAS	DETALLES	
Procedencia	ESPAÑA	
Composición	Para- aramida 100%	
Material	Fibra cortada	
Construcción	Hilo torcido (S-Z)	
Tex	69	Norma UNE-EN ISO 2060
Metros/Kg	18,000 m	
Resistencia	8.7 Kg-fuerza	Norma UNE-EN ISO 2062
Alargamiento	3.40%	
Color	Amarillo	
Rendimiento por cono	4,000 m	
Peso por cono	250 gr	
Embalaje	10 unidades/caja	
Aguja recomendada	90 - 110	

* Tex: Es el peso en gramos de 1000 metros de hilo

Recomendaciones: Esta información se suministra de buena fe, es precisa y confiable según mejor conocimiento, pero debe considerarse solo como una guía en la selección del producto no como garantía de funcionamiento. • MARUPLAST INTERNACIONAL E.I.R.L. declina toda responsabilidad por resultados obtenidos mediante el uso de esta información.

MARUPLAST INTERNACIONAL EIRLTDA
Departamento Técnico

ANEXO 4



★ ★ ★

NEW HARDENER

PR2032
Laminating Resin
For Composite Parts

★

DESCRIPTION

PR2032 is a medium viscosity, unfilled, light amber laminating resin that is designed for structural production applications. When used with the three hardeners listed here, the combinations provide excellent wet-out of fiberglass, carbon and aramid fibers. Special additives have been incorporated into these products to promote chemical adhesion to fabrics made with these fibers. Typical applications include aircraft and sail plane skins and structural components, auto bodies, radomes and prototype parts.

Hardeners PH3660, PH3663 and PH3665 are the standard production hardeners for fabricating composite parts. PH3660 has a one hour working time, PH3663 has 90 minutes, and PH3665 has been developed to provide a longer working time for larger and/or more complicated laminates when needed. All three of these hardeners will cure completely at room temperature without additional heat.

★ PH3663 is a newer addition to the AEROPOXY line that offers some unique characteristics for certain uses. The mixed viscosity of the system when using PH3663 is considerably lower than the other laminating hardeners. This allows easy penetration of thicker fabrics during hand lay-up, and provides a good system for the infusion process. Also, even though it has a working time 50% longer than PH3660, it cures in essentially the same time as PH3660. Cured properties with the PH3663 maintain the high standard set by the AEROPOXY line.

PH3630 is a faster setting hardener that can be used for patching and repairs, and smaller laminates. PH3630 has a similar viscosity to PH3660 and PH3665, so handling will be similar, except for the faster cure.

These products can be considered low toxicity materials that have minimum hazard potential when used properly and in a clean and responsible manner. PR2032 does not contain any hazardous diluents or extenders. Hardeners PH3660, PH3663, PH3665 and PH3630 do not contain methylene dianiline (MDA), or other potentially harmful aniline derivatives. Neither the resin nor the hardeners will crystallize in normal shipping and storage conditions, including refrigerated storage. Both components have excellent moisture resistance, for minimal problems in high humidity environments.

PRODUCT SPECIFICATIONS

	PR2032	PH3630	PH3660	PH3663	PH3665	ASTM Method
Color	Lt. Amber	Amber	Amber	Lt. Amber	Amber	Visual
Viscosity, @77°F, centipoise	1,650 cps	150-175 cps	190-200 cps	35 cps	200-250 cps	D2392
Specific Gravity, gms./cc	1.15	0.96	0.96	0.97	0.95	D1475
Mix Ratio, By Wt.		30 minutes	1 hour	90 minutes	2 hours	PTM&W
Pot Life, 4 fl. Oz. Mass @ 77°F		100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume		100 : 25 By Weight	100 : 27 By Wt. or 3 to 1 By Vol.	D2471

HANDLING and CURING

PH3660, PH3663 and PH3665 are the hardeners typically used to fabricate high performance composite parts. PH3660 has a one hour working time, and can be used for all sizes of parts using the contact layup method of fabrication. If the vacuum bagging technique is being used, PH3660 should only be used for smaller parts. Hardener PH3665 has a longer working time that is useful for vacuum bagging larger parts before the resin has gelled. PH3663 falls between these two hardeners, and can be used for parts somewhat larger than would be produced with PH3660, while maintaining a faster cure than with PH3665. In any case, with either of these three hardeners, plan to allow the laminate to cure at least 24 hours, at a minimum of 72°F, before moving the structure. This can be accelerated by applying heat after the resin has gelled. Be careful using heat guns and lamps, as they tend to concentrate heat, producing localized hot spots which can damage the epoxy. These systems can be cured at ambient temperatures, or given an elevated temperature cure. The higher the curing temperature, the higher the resulting service temperature. With a higher temperature cure, a safe service temperature over 200°F can be obtained.

Hardener PH3630 will cure completely at room temperature, and does not require a heat cure. It is intended for fast repairs or additions to a primary structure, and for parts that will be exposed to lower service temperatures. All primary structures should be fabricated with PH3660, PH3663 or PH3665 to take advantage of their longer work life and better service temperature capabilities.

Inasmuch as PTM&W Industries, Inc. has no control over the use to which others may put material, it does not guarantee that the same results as those described herein will be obtained. The above data was obtained under laboratory conditions, and to the best of our knowledge is accurate. This information is presented in good faith to assist the user in determining whether our products are suitable for his application. No warranty or representation, however is intended or made, nor is protection from any law or patent to be inferred, and all patent rights are reserved. Before using, user shall determine the suitability of the product for his intended use, and user assumes all risk and liability whatsoever in connection therewith. In no event will PTM&W Industries, Inc. be liable for incidental or consequential damages. Buyer's sole and exclusive remedy in such instances shall be limited to replacement of the purchase price.

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH3630	PR2032 with PH3660				PR2032 PH3663	PR2032 PH3665	ASTM Method
		Neat Resin (Unreinforced)	With Fiberglass	With Graphite	With Kevlar			
Mix Ratio	100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume				100 : 25 By Weight	100:27 By Wt. 3 to 1 By Vol.	PTM&W	
Pot Life, @ 77°F	30 minutes	1 hour				1.5 Hour	2 hours	D2471
Color	Lt. Amber	Light Amber				Light Amber	Lt. Amber	Visual
Mixed Viscosity, @ 77°F, cps	800-875 cps	900 - 950 cps				440 cps	925-975 cps	D2393
Cured Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, grams, cc	1.16	1.11				1.109	1.12	D1475
Density, lb./cu. Inch	.0420	.0401				.0401	.0410	D792
Specific Volume, cu. in./lb.	23.8	25.0				24.96	24.4	D792
Tensile Strength, psi ⁽¹⁾	45,350 psi	9828 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % ⁽¹⁾	1.91 %	1.90 %	1.96 %	0.91 %	1.31 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile modulus, psi ⁽¹⁾	2,800,000 psi	418,525 psi	2,620,000 psi	8,170,000 psi	3,770,000 psi	2,647,520 psi	2,520,000 psi	D638
Flexural Strength, psi ⁽¹⁾	68,167 psi	16,827 psi	62,285 psi	96,541 psi	34,524 psi	65,461 psi	66,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi ⁽¹⁾	2,770,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,500,000 psi	2,639,766 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., T _g	194°F	196°F				194°F	194°F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.3 x 10 ⁻⁵ in./in./°F				4.14 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.15 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	D696

⁽¹⁾ Fiberglass Properties Derived with A 10 Ply Laminate, Hand Lay-up, Style 181 Glass Fabric, 55% Glass Content;
Graphite Properties with a 10 Ply Laminate of 5.6 oz. 3K Fabric; and Kevlar Properties with A 10 Ply Laminate of 5 oz. Kevlar

PACKAGING WEIGHTS



	Quart Kit	Gallon Kit	Pail Kit	Drum Kit
PR2032	2.25 lb.	7.5 lb.	48 lb.	500 lb.
PH3630, PH3660 or PH3665	.66 lb.	2 lb.	13 lb.	135 lb.
PH3663	.6 lb.	1.9 lb.	12 lb.	126 lb.
Kit	2.9 lb.	2.85 lb.	9.5 lb.	9.4 lb.
			61 lb.	60 lb.
				635 lb.
				626 lb.

SAFETY and HANDLING

PTM&W AEROPOXY epoxy products are made from raw materials carefully chosen to minimize or even eliminate toxic chemicals, and therefore offer the user high performance products with minimum hazard potential when properly used. Generally, the PTM&W AEROPOXY epoxy resins and hardeners will present no handling problems if users exercise care to protect the skin and eyes, and if good ventilation is provided in the work areas. However, all epoxy resins and hardeners can be irritating to the skin, and prolonged contact may result in sensitization; and breathing of mist or vapors may cause allergenic respiratory reaction, especially in highly sensitive individuals. As such, avoid contact with eyes and skin, and avoid breathing vapors. Wear protective rubber apron, clothing, gloves, face shield or other items as required to prevent contact with the skin. In case of skin contact, immediately wash with soap and water, followed by a rinse of the area with vinegar, and then a further wash with soap and water. The vinegar will neutralize the hardener and lessen the chances of long term effects. Use goggles, a face shield, safety glasses or other items as required to prevent contact with the eyes. If material gets into the eyes, immediately flush with water for at least 15 minutes and call a physician. Generally, keep the work area as uncluttered and clean as possible, and clean up any minor spills immediately to prevent accidental skin contact at a later time. Keep tools clean and properly stored. Dispose of trash and empty containers properly. Do not use any of these types of products until Material Safety Data Sheets have been read and understood.

AEROPOXY PR2032 w-4 Hardeners Bulletin / ZW-38 / 062408-C2



PTM&W Industries, Inc.

10640 S. Painter Avenue Santa Fe Springs, CA 90670-4092
562-946-4511 800-421-1518 FAX: 562-941-4773
Visit Us At: www.aeropoxy.com Send Questions To: info@aeropoxy.com

ANEXO 5

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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

1. Scope

1.1 This test method 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, $[\Theta]$ for thermodynamic temperature,

and [*nd*] for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.2 *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^{su}—ultimate shear strength in the test direction.

h—coupon thickness.

L_g—extensometer gage length.

L_{min}—minimum required bonded tab length.

n—number of coupons per sample population.

P—force carried by test coupon.

P^f—force carried by test coupon at failure.

P^{max}—maximum force carried by test coupon before failure.

s_{n-1}—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 ± 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_3) and width plane (B_2) 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

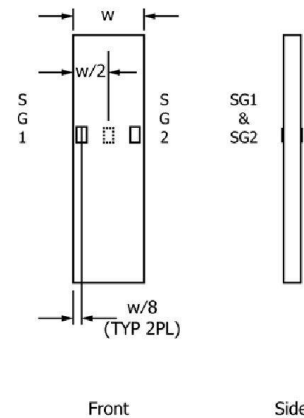


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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 $\mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

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

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

where:

- B_y = percent bending about system y axis (about the narrow plane), as calculated by Eq 1, %;
- B_z = percent bending about system z axis (about the wide plane), as calculated by Eq 2, %;
- $\epsilon_1, \epsilon_2, \text{ and } \epsilon_3$ = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1, $\mu\epsilon$; and
- ϵ_{ave} = $((\epsilon_1 + \epsilon_2)/2 + \epsilon_3)/2$

NOTE 3—Experimental error may be introduced by sources such as poor system alignment, specimen preparation and strain gage precision and calibration. These sources of error may result in an average calculated strain (ϵ_{ave}) of 0, causing B_y and B_z (Eq 1 and Eq 2) to approach infinity as the average calculated strain is the denominator. To minimize the potential for this occurrence during system alignment evaluation, it is recommended that force be applied to the alignment coupon until all three strain gages measure positive strain of no less than 500 $\mu\epsilon$ with an ϵ_{ave} of no less than 1000 $\mu\epsilon$. If these conditions can not be met, the test configuration should be adjusted prior to performing further system alignment evaluation.

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

7.3.1 *Bonded Resistance Strain Gage Selection*—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].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. E., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54–65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153–154.

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 tabs	$\pm 1\%$ tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered 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, °
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	—	—

^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:

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

where:

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

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

8.2.3 *Detailed Examples*—The minimum requirements for specimen design discussed in 8.2.1 are by themselves 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-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
 NO DECIMAL .X .XX
 ±.3 ±.1 ±.3
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN ± .5°.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

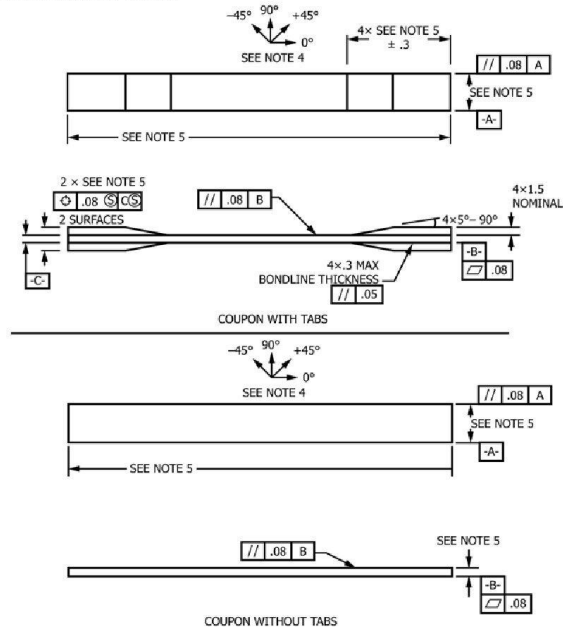


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

11. Procedure

11.1 *Parameters To Be Specified Before Test:*

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 7—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 *General Instructions:*

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
±.1	±.03	±.01
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ±.5°.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64V (SYMBOLGY 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: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

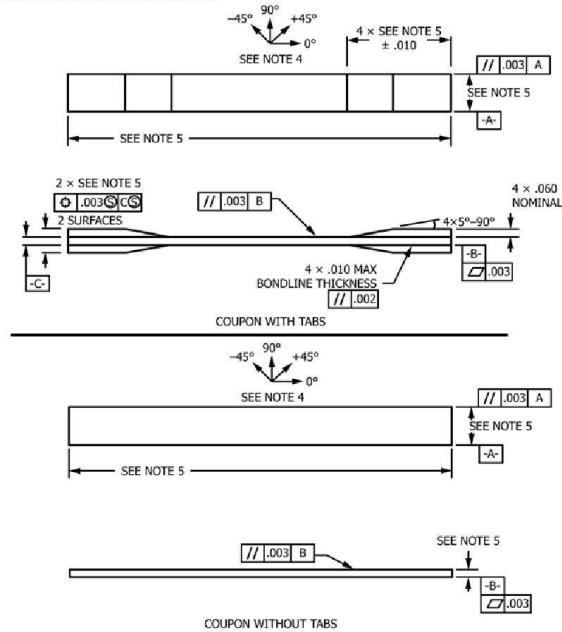


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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].

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

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

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 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.

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

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

where:

- F^{tu} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^{max} = maximum force before failure, N [lbf];
- 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 Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
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 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

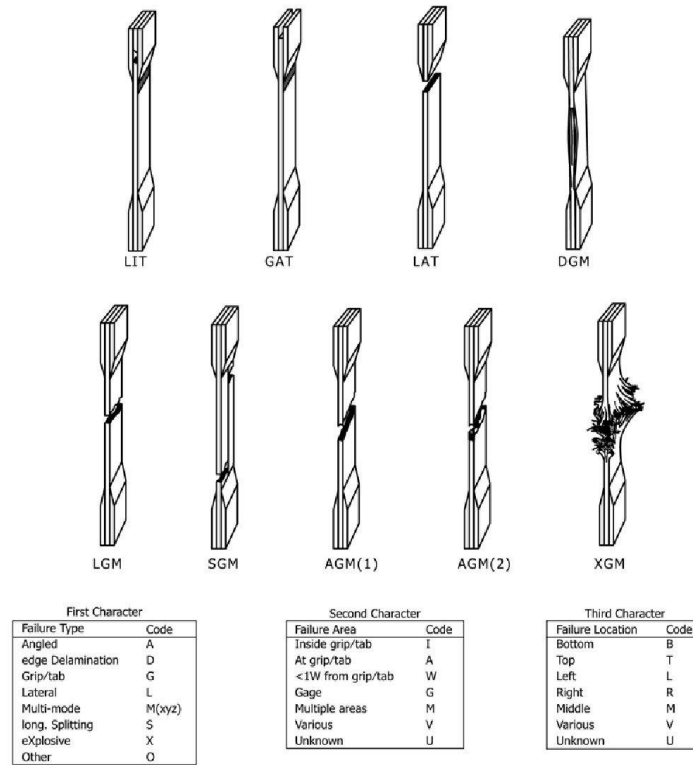


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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.

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

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
- $\Delta\varepsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

13.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user's discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 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

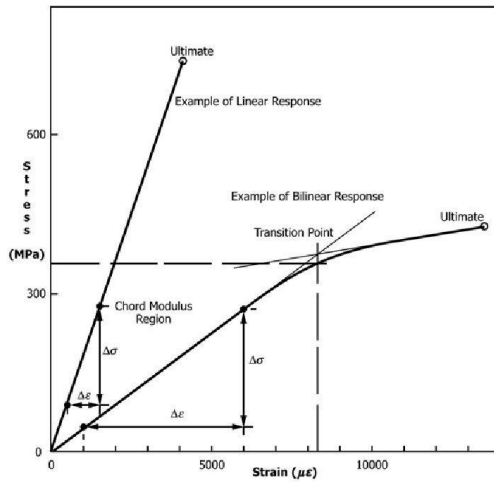


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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_t , 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.

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

where:

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

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:

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

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

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

where:

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

14. Report

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

- 14.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 14.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 14.1.3 The name(s) of the test operator(s).
- 14.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
- 14.1.5 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
- 14.1.6 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
- 14.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.
- 14.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.
- 14.1.9 Average ply thickness of the material.
- 14.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.
- 14.1.11 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, coupon cutting method, identification of tab geometry, tab material, and tab adhesive used.
- 14.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

- 14.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.
- 14.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.
- 14.1.15 Dimensions of each test specimen.
- 14.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.
- 14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.
- 14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.
- 14.1.19 Number of specimens tested.
- 14.1.20 Speed of testing.
- 14.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.
- 14.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.
- 14.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.
- 14.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.
- 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}	$s \bar{x}$	S_r	S_R	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

⁵ A 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)n
- B IM-6/3501-6 uni-tape (90)n
- C IM-6/3501-6 uni-tape (90/0)n
- F Glass/epoxy fabric (7781 glass/Ciba R 7376 Epoxy)-warp aligned
- G Carbon/epoxy fabric (66108 carbon/Ciba R 6376)

15.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_j/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_j/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 reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

ANEXO 6

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: D7264/D7264M – 21

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D7264/D7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

NOTE 1—Unlike Test Method D6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations, this standard permits loading at only one-half the support span.

1.2 For comparison purposes, tests may be conducted according to either test procedure, provided that the same procedure is used for all tests, since the two procedures generally give slightly different property values.

1.3 *Units*—The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system are not necessarily exact equivalents; therefore, to ensure conformance with the standard, each system shall be used independently of the other, and values from the two systems shall not be combined.

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

1.5 *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.*

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 Laminated Test Methods.

Current edition approved Jan. 1, 2021. Published February 2021. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2015 as D7264/D7264M – 15. DOI: 10.1520/D7264_D7264M-21.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

D790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials

D792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement

D883 Terminology Relating to Plastics

D2344/D2344M Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins

D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics

D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials

D3878 Terminology for Composite Materials

D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D5687/D5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

2.2 *Other Documents*:³

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric

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.

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

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)

3. Terminology

3.1 Definitions—Terminology D3878 defines the 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 documents.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 flexural modulus, n —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

3.2.2 flexural strength, n —the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

3.3 Symbols:

- b = specimen width
- CV = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
- h = specimen thickness
- L = support span
- m = slope of the secant of the load-deflection curve
- n = number of specimens
- P = applied force
- s_{n-1} = sample standard deviation
- x_i = measured or derived property
- \bar{x} = sample mean
- δ = mid-span deflection of the specimen
- ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 Procedure A—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 Procedure B—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

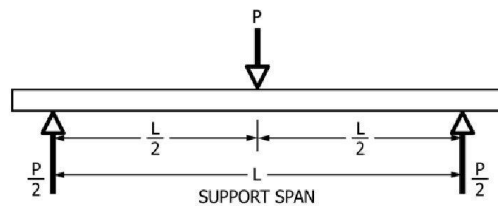


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

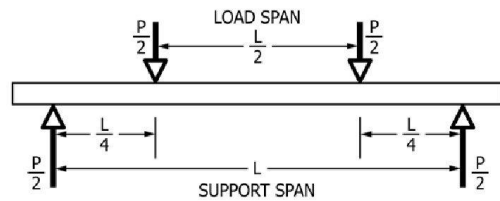


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration, the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D2344/D2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D2344/D2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning or testing environments, or both, and rate of straining. When evaluating several datasets, these parameters shall be equivalent for all data in the comparison.

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

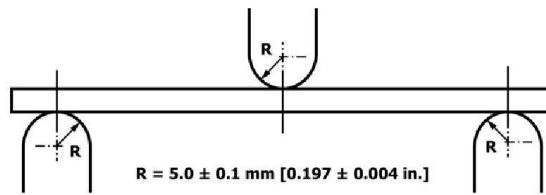
6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

6.4 Loading noses shall be fixed, rotatable, or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses shall uniformly contact the specimen across its width. Lack of uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

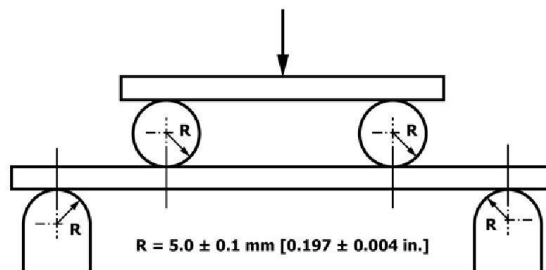
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The testing machine shall be properly calibrated and operate at a constant rate of crosshead motion with the error in the force application system not exceeding $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces with a hardness ≥ 55 HRC and shall have finely ground surfaces free of



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Mar 23 10:10:07 EDT 2021 3
 Downloaded/printed by
 Escuela Politecnica Nacional (Escuela Politecnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

indentation and burrs, with all sharp edges relieved. The radii of the loading nose and supports shall be 5.0 ± 0.1 mm [0.197 ± 0.004 in.], as shown in Fig. 3, unless otherwise specified or agreed upon between the interested parties. Loading noses and supports shall be arranged in a fixed, rotatable, or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 Micrometers and Calipers—For width and thickness measurements, the micrometers shall use a 4 to 8 mm [0.16 to 0.32 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The use of alternative measurement devices is permitted if specified (or agreed to) by the test requestor and reported by the testing laboratory. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is adequate for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 Deflection Measurement—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 Conditioning Chamber—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within ± 3 °C [± 5 °F] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method D5229/

D5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature within ± 3 °C [± 5 °F] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 Specimen Preparation—Guide D5687/D5687M provides recommended specimen preparation practices and shall be followed when practical.

8.2 Specimen Size is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide D6856. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used, provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio shall not

- DRAWING NOTES:**
 1. DRAWING INTERPRETATION PER ANSI Y14.5-1999 AND ANSI B46.1-1995.
 2. SEE 8.2 AND 11.3 OF THIS TEST STANDARD FOR THE REQUIRED VALUES OF SPAN AND OVERALL LENGTH.

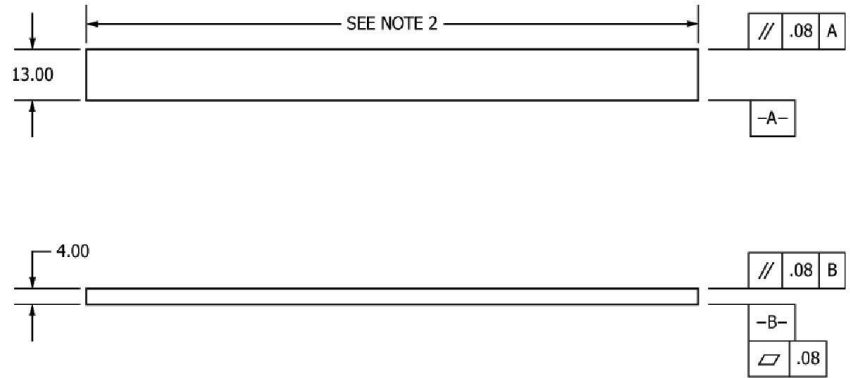


FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Mar 23 10:10:07 EDT 2021 4
 Downloaded/printed by
 Escuela Politecnica Nacional (Escuela Politecnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

DRAWING NOTES:
 1. DRAWING INTERPRETATION PER ANSI Y14.5-1999 AND ANSI B46.1-1995.
 2. SEE 8.2 AND 11.3 OF THIS TEST STANDARD FOR THE REQUIRED VALUES OF SPAN AND OVERALL LENGTH.

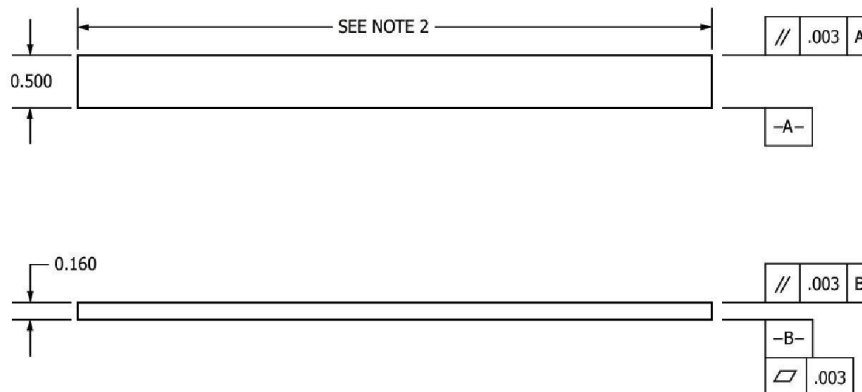


FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

8.3 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels as the test samples. 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. Void content may be evaluated from the equations of Test Method D2734 and is applicable to both Test Methods D2584 and D3171.

8.4 *Labeling*—Label the specimens 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. Number of Test Specimens

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E122 shall be consulted. Report the method of sampling.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens shall be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning, but before testing, measure and record the specimen width, *b*, and thickness, *h*, at the specimen mid-section, and the specimen length, to the accuracy specified in 7.3.

11.3 Measure the span, *L*, accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See Annex A1 for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D790 for Procedure A and Test Method D6272 for Procedure B. The use of an alternative test rate is permitted if specified (or agreed to) by the test requestor and reported by the testing laboratory.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See Annex A1 for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be

manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by, delamination of the outer ply.

11.7.1 *Failure Identification Codes*—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in Fig. 6. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode, then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) shall be reexamined.

13. Calculation

Note 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section, it is necessary to determine if the toe compensation (see Annex A2) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress shall be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1}$$

where:

- σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P* = applied force, N [lbf],
- L* = support span, mm [in.],
- b* = width of beam, mm [in.], and
- h* = thickness of beam, mm [in.].

Note 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber

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

strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to ½ the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress shall be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (2)$$

where:

- σ = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 *Flexural Strength*—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 *Flexural Stress at a Given Strain*—The maximum flexural stress at any given strain shall be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 *Maximum Strain, Procedure A*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it shall be calculated as follows:

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

- ε = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it shall be calculated as follows:

$$\varepsilon = \frac{48\delta h}{11L^2} \quad (4)$$

⁴For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

where:

- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- ε = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 *Flexural Modulus of Elasticity:*

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (5)$$

where:

- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\varepsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.],
- h = thickness of beam, mm [in.] and
- m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B:*

⁵For 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.

$$E_f^{secant} = \frac{11L^3m}{64bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as defined for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported, although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it shall be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests, calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

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

$$CV = 100 \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

- \bar{x} = average value or sample mean,
- x_i = value of single measured or derived property,
- n = number of specimens,
- s_{n-1} = estimated standard deviation,
- CV = coefficient of variation in percentage.

14. Report

14.1 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 of panel fabrication parameters, shall be the responsibility of the requestor):

- 14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.
- 14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.
- 14.1.3 The name(s) of the test operator(s).
- 14.1.4 The test Procedure used (A or B).
- 14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
- 14.1.6 Identification of the material tested, including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
- 14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate, including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
- 14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.
- 14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.
- 14.1.10 Average ply thickness of the material.
- 14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

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

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

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

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

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

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in

percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

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

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

A1.2 Measurement of Span:

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 Setting the Span and Alignment of Loading

Nose(s)—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

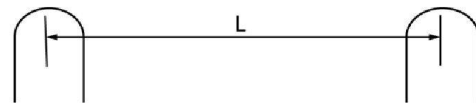


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

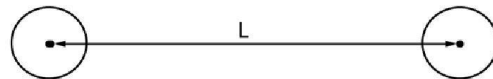


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

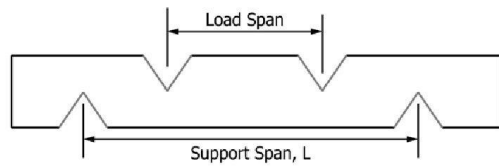


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be

determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

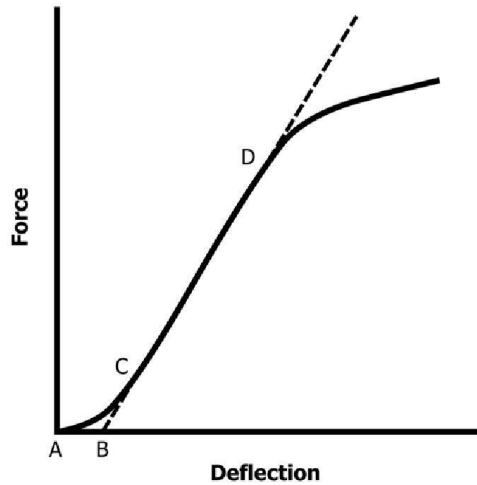


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

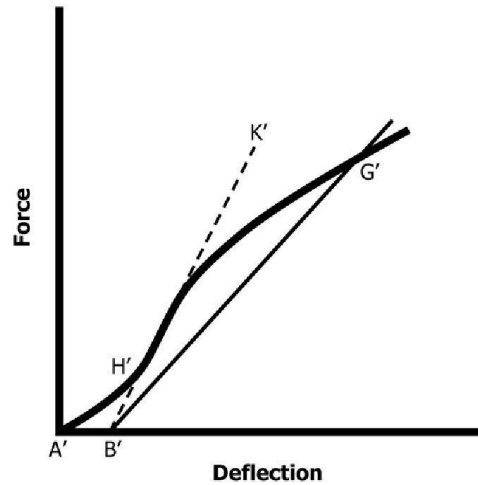


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

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

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

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923. Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

ANEXO 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.



Designation: D5628 – 18

Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

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

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

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

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D883 Terminology Relating to Plastics

D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics

D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved May 1, 2018. Published June 2018. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2010 as D5628 - 10. DOI: 10.1520/D5628-18.

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.

D2444 Practice for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)

D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6779 Classification System for and Basis of Specification for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 *ISO Standards:*³

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D883 and D1600.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass, or, to the product of the constant mass and the mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

NOTE 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

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

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Mar 23 10:09:29 EDT 2021 1

Downloaded/printed by

Escuela Politecnica Nacional (Escuela Politecnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

3.2.5 *tup*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tup) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass × height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁴ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different tup and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method is to be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC is to be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

⁴The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter tup used in Geometry FB minimizes problems with tup penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and tup must be somewhat arbitrary. Although a choice of tup geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests are used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any

D5628 – 18

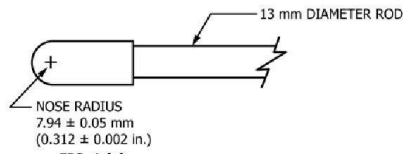


FIG. 1 (a)

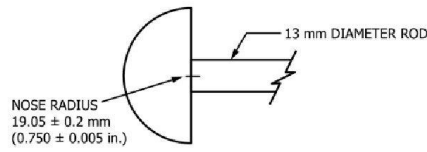
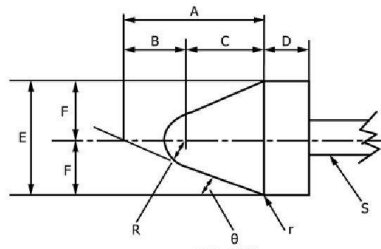


FIG. 1 (c)

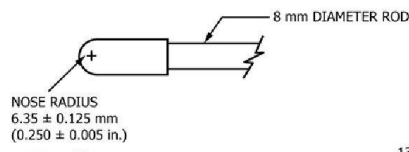


FIG. 1 (d)

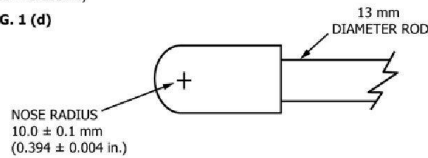


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be $\pm 2\%$.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) ^A	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

^A Larger diameter shafts shall be used.

FIG. 1 **Top Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)**

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Mar 23 10:09:29 EDT 2021 3

Downloaded/printed by

Escuela Politecnica Nacional (Escuela Politecnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

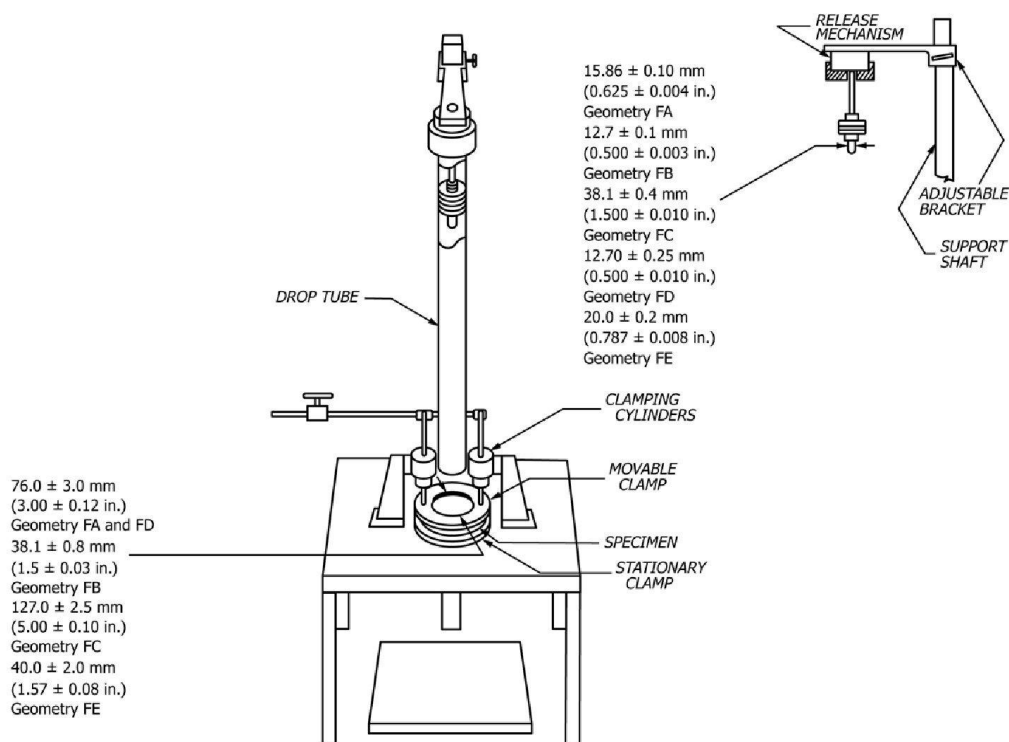


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

7. Apparatus

7.1 Testing Machine—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 Specimen Clamp—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp constructed as shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter shall be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter shall be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter shall be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp constructed as shown in Fig. 4 is required. The inside diameter shall be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp shall be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius shall be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 Tup Support, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 Positioning Device—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 Tup:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10-mm (0.625 ± 0.004-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Mar 23 10:09:29 EDT 2021 4
 Downloaded/printed by
 Escuela Politecnica Nacional (Escuela Politecnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

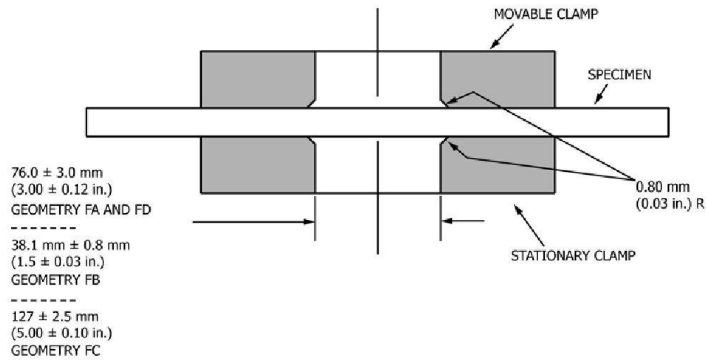


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

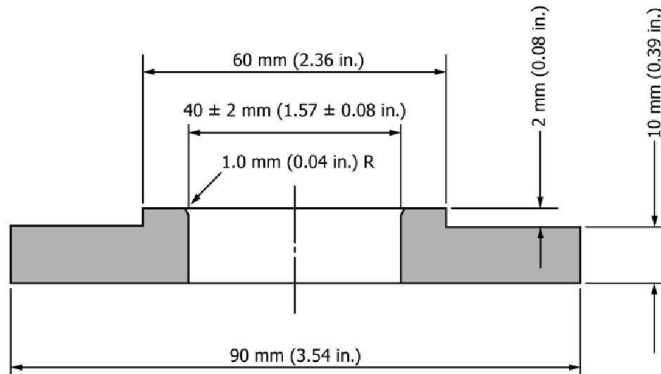


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 ± 0.10 (0.625 ± 0.004)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FB	12.7 ± 0.1 (0.500 ± 0.003)	38.1 ± 0.8 (1.5 ± 0.03)
FC	38.1 ± 0.4 (1.5 ± 0.010)	127.0 ± 2.5 (5.00 ± 0.10)
FD	12.70 ± 0.25 (0.500 ± 0.010)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FE	20.0 ± 0.2 (0.787 ± 0.008)	40.0 ± 2.0 (1.57 ± 0.08)

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2-mm (0.787 ± 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

7.4 *Micrometer*—Apparatus for measuring the width and thickness of the test specimen shall comply with the requirements of Test Methods D5947.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ±1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section 14.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with

ISO 6603-1 the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens shall be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective shall not be tested for specification purposes. Production parts, however, shall be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618, for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System D6779) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for

no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D618.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in 10.3.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is sufficient to measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area shall be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force shall be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

NOTE 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used shall be equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X , to indicate a failure and a different symbol, such as O , to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly is found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- w = mean-failure mass, kg,
- h = mean-failure height, mm,
- d_w = increment of tup weight, kg,
- d_h = increment of tup height, mm,
- N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- w_o = smallest mass at which an event occurred, kg
- h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=1}^k in_i$,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
- n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
- $w_i = w_o + id_w$, and
- $h_i = h_o + id_h$.

In calculating w or h , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: $MFE = hwf$

where:

- MFE = mean-failure energy, J,

h = mean-failure height or constant height as applicable, mm
 w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and
 f = factor for conversion to joules.
 Use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ if $h = \text{mm}$ and $w = \text{kg}$.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \text{ or} \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

s_w = estimated standard deviation, mass, kg
 s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is < 0.3 , use Table 1 from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_w = Gs_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h = Gs_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

s_h = estimated standard deviation of the mean height, mm,
 s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg, and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of G at other levels of s/d , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_h w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

S_{MFE} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^a	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^a	11.8	14.9	42.2

^aData generated in three laboratories.
 V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
 $r = 2.83 V_r$.

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The repeatability standard deviation has been determined as shown in Tables 3 and 4. Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

⁵Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
 $r = 2.83 V_r$.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

15.2 Attempts to develop a full precision and bias statement for this test method have not been successful. For this reason, data on precision and bias cannot be given. Because this test method does not contain a round-robin-based numerical precision and bias statement, it shall not be used as a referee test method in case of dispute. It is recommended that anyone wishing to participate in the development of precision and bias data contact the Chairman, Subcommittee D20.00 (Section 20.00.00), ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.”

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	i	n_i	m_1	$\hat{p}\eta_1$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
9.00						X															1	0	2	1	2	4	
8.00				O		X		X				X		X							4	1	1	4	4	4	4
7.00		X		O			O		X		O		O		X		X		O		4	5	0	4	0	0	0
6.00	O		O								O						O		O		0	5					
Totals											9	11		9	6	8											
											(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)											

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00(6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 \sqrt{d^2((NB - A^2)/9^2) + 0.029}$
 $= 1.620 (1.00) \sqrt{((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029}$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

s/d	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 10) that may impact the use of this standard. (May 1, 2018)

- (1) Revised Sections 5, 6, 7, 10 and 12 to remove permissive language.
- (2) Revised 7.4.
- (3) Revised Section 15 Precision and Bias to ASTM D4968-17 guidelines.

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

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

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; http://www.copyright.com/

ANEXO 8

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: D7028 – 07 (Reapproved 2015)

Standard Test Method for Glass Transition Temperature (DMA T_g) of Polymer Matrix Composites by Dynamic Mechanical Analysis (DMA)¹

This standard is issued under the fixed designation D7028; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the procedure for the determination of the dry or wet (moisture conditioned) glass transition temperature (T_g) of polymer matrix composites containing high-modulus, 20 GPa ($> 3 \times 10^9$ psi), fibers using a dynamic mechanical analyzer (DMA) under flexural oscillation mode, which is a specific subset of the Dynamic Mechanical Analysis (DMA) method.

1.2 The glass transition temperature is dependent upon the physical property measured, the type of measuring apparatus and the experimental parameters used. The glass transition temperature determined by this test method (referred to as "DMA T_g") may not be the same as that reported by other measurement techniques on the same test specimen.

1.3 This test method is primarily intended for polymer matrix composites reinforced by continuous, oriented, high-modulus fibers. Other materials, such as neat resin, may require non-standard deviations from this test method to achieve meaningful results.

1.4 The values stated in SI units are standard. The values given in parentheses are non-standard mathematical conversions to common units that are provided for information only.

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

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards*:²
D3878 Terminology for Composite Materials

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

Current edition approved Aug. 1, 2015. Originally approved in 2007. Last previous edition approved in 2007 as D7028-07¹. Published August 2015. DOI: 10.1520/D7028-07E01R15.

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.

- D4065 Practice for Plastics: Dynamic Mechanical Properties: Determination and Report of Procedures
D4092 Terminology for Plastics: Dynamic Mechanical Properties
D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
E1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases (Withdrawn 2015)³
E1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases (Withdrawn 2015)³
E1471 Guide for Identification of Fibers, Fillers, and Core Materials in Computerized Material Property Databases (Withdrawn 2015)³
E1640 Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperature By Dynamic Mechanical Analysis
E1867 Test Method for Temperature Calibration of Dynamic Mechanical Analyzers

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D3878 defines terms relating to polymer matrix composites. Terminology D4092 defines terms relating to dynamic mechanical property measurements on polymeric materials.

3.2 *Symbols*: E' = storage modulus
 E'' = loss modulus

$\tan \delta = E''/E'$ = tangent delta

DMA T_g = glass transition temperature defined from dynamic mechanical analysis measurement

L = length of specimen

W = width of specimen

T = thickness of specimen

T_p = peak temperature from tangent delta curve

³ The last approved version of this historical standard is referenced on www.astm.org.

4. Summary of Test Method

4.1 A flat rectangular strip of laminate is placed in the DMA equipment and oscillated at a nominal frequency of 1 Hz. The specimen is heated at a rate of 5°C/min (9°F/min). The same loading frequency and heating rate is used for both dry and wet specimens (moisture conditioned) to allow for comparison. The temperature at which a significant drop in storage modulus (E') begins is assigned as the glass transition temperature (DMA T_g). The peak temperature of the tangent delta curve (T_δ) is identified along with DMA T_g for comparison purposes.

5. Significance and Use

5.1 This test method is designed to determine the glass transition temperature of continuous fiber reinforced polymer composites using the DMA method. The DMA T_g value is frequently used to indicate the upper use temperature of composite materials, as well as for quality control of composite materials.

6. Interferences

6.1 The standard testing machine shall be of the Dynamic Mechanical Analysis (DMA) type of instrument that operates with forced oscillation and applies a flexural loading mode (either three-point bend or dual cantilever) to the test specimen. Refer to Practice D4065 for a summary of various other DMA practices. Other loading modes (such as tensile, torsion or shear) may produce different test results. If another equipment type or loading mode is used the non-standard approach shall be described in the report and the test result recorded as non-standard.

6.2 A fixed frequency of 1 Hz is standard in this test method. In general, for a given material, a higher testing frequency produces a higher DMA T_g value than this standard, while use of the resonance mode will yield a different DMA T_g that may be either higher or lower than the standard. If a non-standard frequency, or the resonance mode, is used, the non-standard approach shall be described in the report and the test result recorded as non-standard.

6.3 A heating rate of $5 \pm 1^\circ\text{C}/\text{min}$ ($9 \pm 2^\circ\text{F}/\text{min}$) is standard in this test method. A change in heating rate will affect the glass transition temperature result; the standard heating rate is the best available compromise for comparing DMA T_g results of dry and wet laminates. If a different heating rate is used it shall be described in the report and the result recorded as non-standard.

NOTE 1—Users should be advised that a heating rate of $5^\circ\text{C}/\text{min}$ represents a compromise between various issues related to T_g measurement precision and bias. It is widely known that heat transfer limitations are more pronounced in DMA apparatus compared to other thermal analysis techniques, such as differential scanning calorimetry (DSC) and thermomechanical analysis (TMA). For greatest precision, it has been recommended that heating rates be $2^\circ\text{C}/\text{min}$ or less. Test Method E1640 specifies a heating rate of $1^\circ\text{C}/\text{min}$. However, in many cases $5^\circ\text{C}/\text{min}$ is recommended as a compromise between T_g measurement accuracy and test method convenience, especially for wet laminate measurements, since the slower heating rate will cause specimen drying that will itself bias the results.

6.4 Purge gas type and flow rate and the position of the thermocouple can affect the DMA T_g test result and shall be

noted and reported. The same conditions shall be used for both calibration and testing runs. Instrumentation manufacturer recommendations should be followed.

6.5 It is standard in this test method that one of the major fiber directions shall be parallel to the length of the specimen. The span-to-depth ratio, ply orientation, and ply stacking sequence of a specimen with respect to the testing fixture have a profound effect on the DMA T_g result. A meaningful comparison of data requires that the specimen configuration be the same. A non-standard specimen configuration shall be described in the report and the result recorded as non-standard.

6.6 The standard definition in this test method for DMA T_g is based on intersecting two tangent lines from a semi-logarithmic plot of the storage modulus versus temperature. Other T_g definitions typically produce different test results. For example, a linear plot scale will result in a lower value of DMA T_g . A non-standard DMA T_g definition shall be described in the report and the result recorded as non-standard. For comparison purposes the peak temperature of the tangent delta curve (T_δ) is identified along with DMA T_g .

7. Apparatus

7.1 *Micrometer*, suitable for reading to 0.025 mm (0.001 in.) accuracy for measuring the specimen thickness and width.

7.2 *Caliper*, suitable for reading to 0.025 mm (0.001 in.) accuracy for measuring the specimen length and instrument clamping distance.

7.3 *Dynamic Mechanical Analyzer (DMA)*, with oven capable of heating to above the glass transition temperature and of controlling the heating rate to the specified value.

8. Sampling and Test Specimens

8.1 Two specimens shall be tested for each sample. If the testing is part of a designed experiment, other sampling techniques may be used if described in the test plan.

8.2 Consult the instrument manufacturer's manual for specimen size. A span-to-thickness ratio greater than ten is recommended. Specimen absolute size is not fixed by this method as various dynamic mechanical analyzers require different sizes. Depending on the analyzer, typical specimen size can range from $56 \pm 4 \times 12 \pm 1 \times 2.0 \pm 0.5$ mm ($2.21 \pm 0.16 \times 0.47 \pm 0.04 \times 0.08 \pm 0.02$ in.) (L \times W \times T) to $22 \pm 1 \times 3 \pm 1 \times 1.0 \pm 0.5$ mm ($0.9 \pm 0.04 \times 0.12 \pm 0.04 \times 0.04 \pm 0.02$ in.).

8.3 One of the major fiber directions in the specimen shall be oriented along the length axis of the specimen. It is standard that one of the major fiber directions shall be parallel to the length of the specimen, and specimens containing only off-axis plies shall not be used. Any deviations from the standard orientation shall be reported and the test results noted as non-standard.

8.4 The specimen surfaces shall be flat, clean, straight, and dry to prevent slippage in the grips and mitigate any effects due to moisture. Opposite surfaces must be essentially parallel and intersecting surfaces perpendicular. Tolerances in thickness and width must be better than $\pm 2\%$.

8.5 The selected sample shall be taken from a representative portion of the laminate. Laminate edges or other irregularities created in the laminate by mold or bagging techniques should be avoided.

9. Calibration

9.1 The DMA equipment shall be calibrated in accordance with Test Method E1867 for temperature signals and in accordance with the equipment manufacturer's recommendation for the storage modulus. The equipment must be calibrated in the same loading mode as will be used for testing, either dual cantilever or three-point bending. The temperature calibration points must span the DMA T_g result.

10. Conditioning

10.1 Moisture has significant effect on DMA T_g. Therefore, it is recommended that the test specimens should be weighed before and after DMA T_g testing to quantify the moisture change in the specimen resulting from the DMA T_g test.

10.2 *Dry Specimens*—To minimize the presence of moisture in the specimens, dry specimens must be conditioned prior to testing by using either of the following techniques:

10.2.1 Dry the specimens in an oven in accordance with Test Method D5229/D5229M, Procedure D, then stored until test in a desiccator or sealed MIL-PRF-131⁴ (or equivalent) aluminized bag, or

10.2.2 Store the material in a desiccator or sealed aluminized bag immediately after material curing (lamination), where the material shall remain except for the minimum time required for removal during specimen preparation and testing. The maximum time between cure (lamination) and testing shall be 30 days, after which, prior to testing, specimens shall be oven-dried in accordance with 10.2.1.

10.3 *Wet Specimens*—Condition in accordance with Test Method D5229/D5229M, Procedure B. The conditioned specimens shall be tested within 30 minutes after removal from the conditioning chamber, or stored in sealed MIL-PRF-131 (or equivalent) aluminized bag until test.

11. Procedure

11.1 *Test Specimen*—Measure the specimen thickness and width to 0.025 mm (0.001 in.) and record. Measure the specimen length to 0.025 mm (0.001 in.) and record. Weigh the specimen to the nearest milligram (0.001 g) and record.

11.2 *Specimen Installation*—Install the specimen in the DMA test equipment oven based upon clamping method to be employed.

11.3 *Positioning of Specimen*—Follow the manufacturer's procedure for positioning the specimen in the clamps. Generally, the specimen should be centered between the clamp faces and be parallel to the base of the instrument. Mount the specimen in dual cantilever mode or three-point bending mode.

11.4 *Heating Rate*—The standard heating rate is 5 ± 1°C/min (9 ± 2°F/min). The same heating rate shall be used for all samples whose results are to be compared. Any deviations from this heating rate shall be noted in the report and the result shall be reported as non-standard.

11.5 *Frequency*—The standard frequency to be used in this standard is 1 Hz, and the instrument should be operated in constant strain mode.

11.6 *Strain Amplitude*—The maximum strain amplitude should be kept within the linear viscoelastic range of the material. Strains of less than 0.1 % are standard.

11.7 *Temperature Range*—Program the run to begin at room temperature or a temperature at least 50°C (90°F) below the estimated DMA T_g and to end at a temperature at least 50°C (90°F) above DMA T_g, but below decomposition temperature.

11.8 *Purge Gas Flow Rate*—Follow the manufacturer's manual or recommendations to set the purge gas flow rate. Five litres/minute (0.2 CFM) is a typical purge gas flow rate setting. For some types of dynamic mechanical analyzers, a purge gas flow setting is not required.

11.9 *Thermocouple Positioning*—Follow the manufacturer's manual or recommendations to position the thermocouple. Typically the thermocouple should be as close to the sample as possible.

11.10 *Test*—Conduct DMA T_g measurements using the instrument settings specified and record the load and displacement data as a function of temperature. Allow the oven to cool before removing the specimen. Weigh the specimen after the test to the nearest milligram (0.001 g) after the removal from the oven and record.

11.11 *Specimen Examination*—Examine the specimen after the test and inspect for any visual anomalies (that is, delamination, blisters, cracks, etc.). Record any visual anomalies observed.

12. Interpretation of Results

12.1 *Glass Transition Temperature (DMA T_g)*—Plot the logarithm of storage modulus (E') and linear tangent delta (tan δ) versus the linear temperature (Fig. 1). During the glass transition, the storage modulus of the composite material is significantly reduced. The DMA T_g is determined to be the intersection of two tangent lines from the storage modulus by this test method. The first tangent line (Line A, Fig. 1) is selected at a temperature before the transition. This temperature is designated as TA. The second tangent line (Line B, Fig. 1) is constructed at the inflection point to approximately the midpoint of the storage modulus drop. This temperature is designated as TB. The two tangent lines are intersected, and temperature corresponding to this intersection point is recorded as the DMA T_g. See Appendix X1 for additional guidelines to draw tangent lines.

12.2 *Tangent Delta (δ) peak (T_δ)*—The peak temperature of the tangent delta curve (T_δ) is identified and reported (Fig. 1).

13. Validation

13.1 Any specimen that has an obvious flaw or deviation from the requirements of this test method may be rejected. A

⁴ MIL-PRF-131, Barrier Materials, Watervapoorproof, Greaseproof, Flexible, Heat-Sealable. Available at <http://assist.daps.dla.mil> or from the Standardization Document Order Desk, 700 Robbins Avenue, Building 4D, Philadelphia, PA 19111-5094.

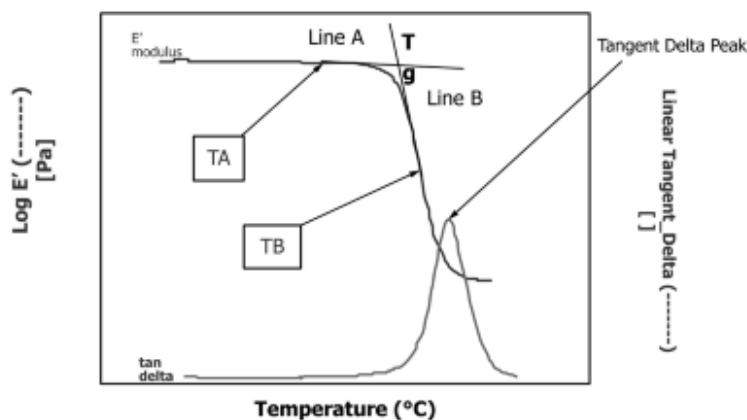


FIG. 1 Construction of Storage Modulus Glass Transition Temperature

new or spare specimen shall be prepared from the same material package and tested to replace any specimens rejected per this paragraph.

13.2 Test results may be discarded for any conditions which compromise the integrity of the test. Should the results be retained, then these conditions shall be described in the test report. Specific examples include:

13.2.1 Cracks evident in the specimen after the test. This could indicate that the sample was taken from a defective portion of the laminate.

13.2.2 An irregularity of the plotted curve, such as change in slope, other than that due to the glass transition, or excessive noise. It is possible that more than one transition exists, but this should be confirmed by a separate run.

13.2.3 Slippage of the specimen in the grips.

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):

Norm 2—Guides E1309, E1434, and E1471 contain data reporting recommendations for composite materials and composite materials mechanical testing.

14.1.1 The revision level or date of issue of this test method.

14.1.2 The name(s) of the test operator(s).

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

14.1.4 Identification of all the materials constituent to the plate specimen tested, including for each: material specification, material type, manufacturer's material designation, manufacturer's batch or lot 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, matrix content, and volatiles content.

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

14.1.6 Ply orientation and stacking sequence of the laminate, relative to the longitudinal (long) dimension.

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

14.1.8 Method of preparing the test specimen, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

14.1.9 Calibration dates and methods for all measurements and test equipment.

14.2 Report the following information:

14.2.1 Date of test.

14.2.2 Test span length and thickness.

14.2.3 Specimen conditioning history including weight gain or weight loss of specimen.

14.2.4 Instrument brand name, type, or model number.

14.2.5 Specimen loading condition and clamping details.

14.2.6 Heating rate and loading frequency.

14.2.7 Flow rate and type of the purge gas.

14.2.8 Any non-standard testing or data reduction parameters, including heating rate and loading frequency.

14.2.9 Deformation amplitude or strain.

14.2.10 Test results, including DMA T_g, peak tangent delta value (T_g), TA, TB, the method for DMA T_g determination, and comments on any irregularities or unexpected results.

14.2.11 Sample weight before and after DMA T_g testing and weight loss percentage.

TABLE 1 Precision Statistics

Material	\bar{X}	S_y	S_D	r	R	$S_y/\bar{X},\%$	$S_D/\bar{X},\%$
DMA Tg (°C), Dry							
A	129	0.33	5.83	0.93	16.3	0.26	4.93
B	176	1.75	6.70	4.91	18.8	1.00	3.82
C	256	1.12	9.19	3.13	25.7	0.44	3.59
D	262	1.69	7.16	4.73	20.1	0.65	2.74
DMA Tg (°C), Wet							
A	79	1.03	6.55	2.88	18.3	1.30	8.31
B	120	1.41	7.03	3.96	19.7	1.18	5.85
C	190	0.41	7.70	1.14	21.6	0.22	4.06
D	190	2.27	9.23	6.35	23.9	1.19	4.85

15. Precision and Bias^a

15.1 Precision:

15.1.1 The precision of the DMA Tg measurements depend on strict adherence to this test method 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 DMA testing equipment (stiffness, damping, and mass), accuracy of the loading and deflection measurements, loading frequency, alignment of the test specimen in the clamping device, clamping distance, thermocouple location.

15.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (surface quality, flatness, fiber alignment, aspect ratio, and so forth).

15.1.4 An interlaboratory test program was conducted where an average of two specimens each, of four different materials and layup configurations, were tested by seven different laboratories. The specimens were conditioned to both dry and wet environments per Test Method D5229/D5229M. Table 1 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E691 for DMA Tg dry and wet values. The materials listed in Table 1 are defined as:

- A Glass/Epoxy Fabric (90/0)₁₀ layup
- B Carbon/Epoxy Tape (90/0)₂₄ layup
- C Carbon/Bismaleimide Tape (90/0)₂₄ layup
- D Carbon/Bismaleimide Fabric (90/0)₁₂ layup

15.1.5 The averages of the coefficient of variation are shown in Table 2. The values of S_y/\bar{X} and S_D/\bar{X} represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation. These averages allow a relative comparison of the repeatability (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the DMA Tg test parameters. These values indicate that the material factors did not have a significant impact on repeatability and reproducibility of the DMA Tg values measured. The DMA Tg dry values were found to exhibit higher repeatability and reproducibility than the DMA Tg wet values.

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

16. Keywords

16.1 composite; DMA; dynamic mechanical analysis; glass transition temperature; polymer matrix composite

TABLE 2 Averages of the Coefficient of Variation

Parameter	Average of $S_y/\bar{X},\%$	Average of $S_D/\bar{X},\%$
DMA Tg Dry	0.59	3.7
DMA Tg Wet	0.97	5.8

^a A research report is available from ASTM Headquarters. Request RR-D30-1004.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. EXAMPLES FOR INTERPRETATION OF RESULTS

XI.1 The DMA Tg is determined by this test method to be the intersection of two tangent lines from the storage modulus. Examples are shown in this appendix to provide graphical illustrations of how to select the two tangent lines.

XI.2 Fig. XI.1 shows an ideal DMA thermogram. It is ideal because the glass transition is clearly displayed. Before the transition the storage modulus is relatively constant, the sigmoidal change during transition is clear, and after the

transition the storage modulus is relatively constant.⁶ As described in 12.1, the first tangent line is selected at a temperature before the transition and the second tangent line is constructed at the inflection to mid-point of the modulus drop. Using this approach the intersection point is drawn as shown in

⁶ In Fig. XI.1 the loss modulus (E'') and tangent delta ($\tan \delta$) curves are also plotted. Alternative definitions of glass transition temperature such as the peak of the loss modulus or of the $\tan \delta$ have been reported in literatures.

Fig. X1.2. If the two tangent lines are constructed from temperatures too close to the transition, the intersection is depicted as shown in Fig. X1.3. On the other hand, if the two tangent lines are constructed at temperatures too far away from the transition, the intersection is depicted in Fig. X1.4. Figs. X1.3 and X1.4 illustrate that not following the approach of this test method can cause the intersection temperature of an ideal thermogram to vary by 3°C (5°F).

X1.3 Fig. X1.5 shows a non-ideal DMA thermogram. In this example the transition is less clear than the thermogram of Fig. X1.1. Before the transition the storage modulus continues to

slope downward and after the transition the storage modulus continues to slope downward. Using the approach of this test method the intersection point is drawn as shown in Fig. X1.6. If the two tangent lines are constructed from temperatures too close to the transition, the intersection is depicted as shown in Fig. X1.7. On the other hand, if the two tangent lines are constructed at temperatures too far away from the transition, the intersection is depicted in Fig. X1.8. Figs. X1.7 and X1.8 illustrate that not following the approach of this test method can cause the intersection temperature of a non-ideal thermogram to vary by 8°C (14°F).

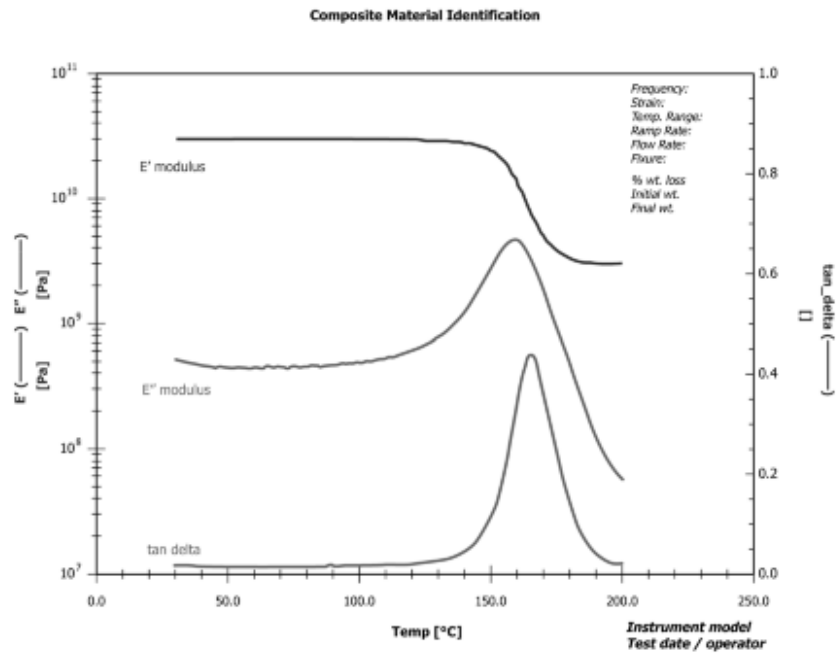


FIG. X1.1 An Example of an Ideal DMA Thermogram Showing Storage Modulus, Loss Modulus, and Tan Delta

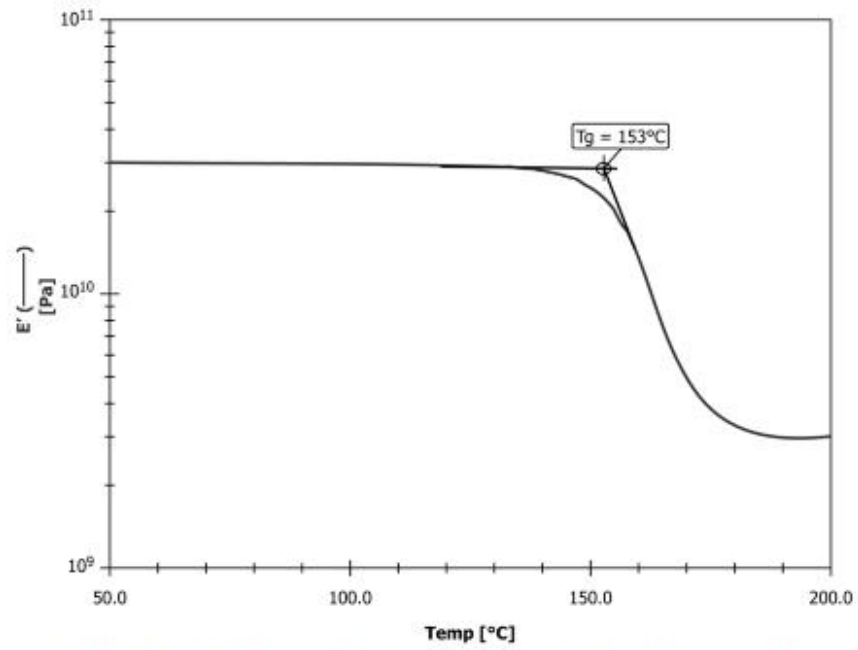


FIG. X1.2 An Example of the Determination of the DMA Tg Value as Described in this Test Method

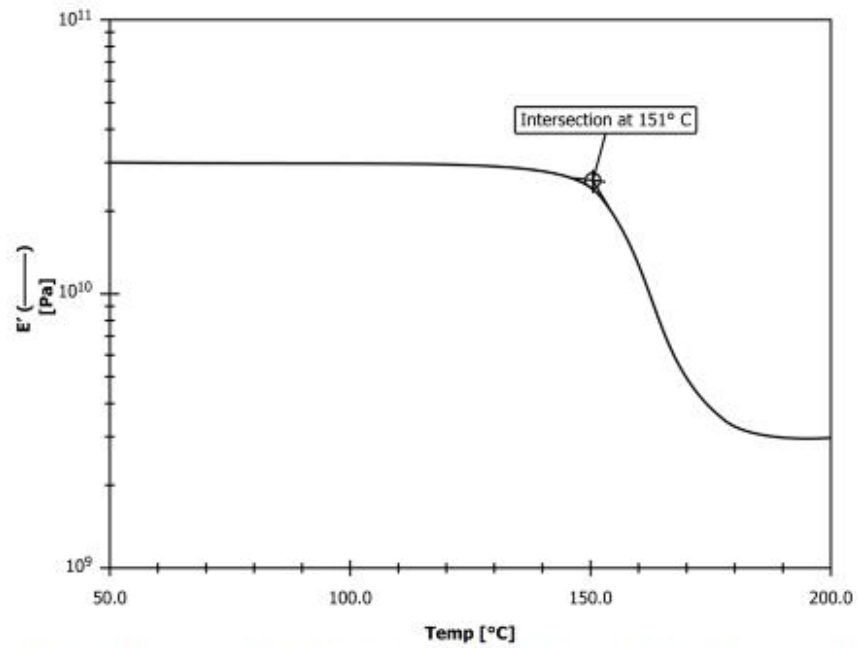


FIG. X1.3 An Example of the Intersection Drawn Where the First Tangent Line is Selected Too Close to the Transition and the Second Tangent Line is Selected Too Close to the Transition for the DMA T_g value.

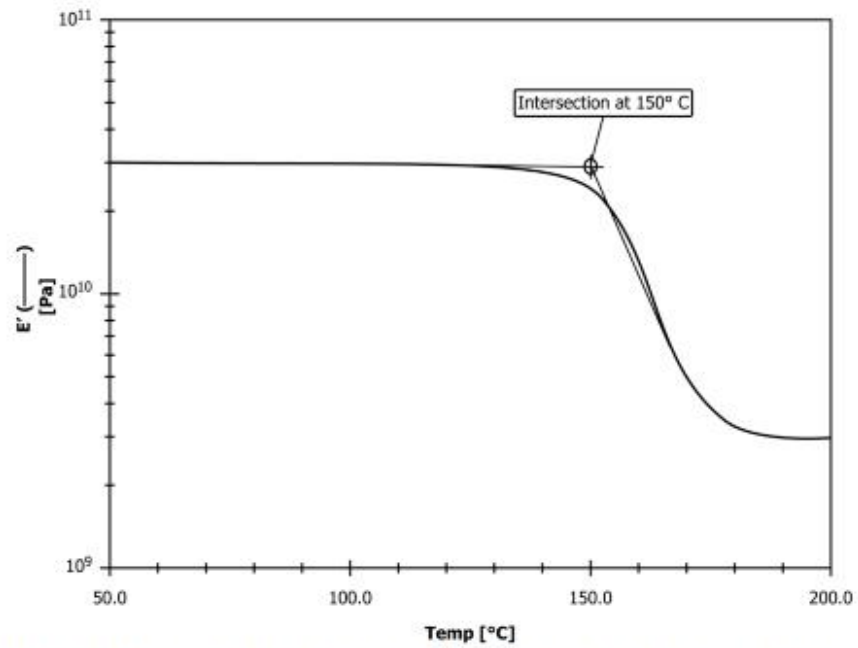


FIG. X1.4 An Example of the Intersection Drawn Where the First Tangent Line is Selected Too Far Away from the Transition and the Second Tangent Line is Selected Below the Mid-Point of the Modulus Drop for the DMA Tg Value

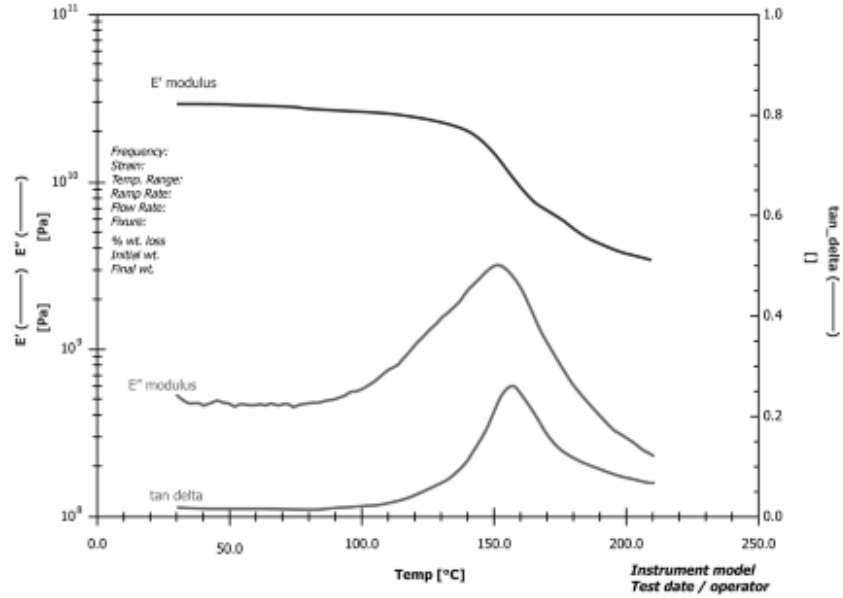


FIG. X1.5 An Example of a Non-Ideal DMA Thermogram Showing Storage Modulus, Loss Modulus, and Tan Delta from a Moisture Conditioned Laminate for DMA Tg Wet Values

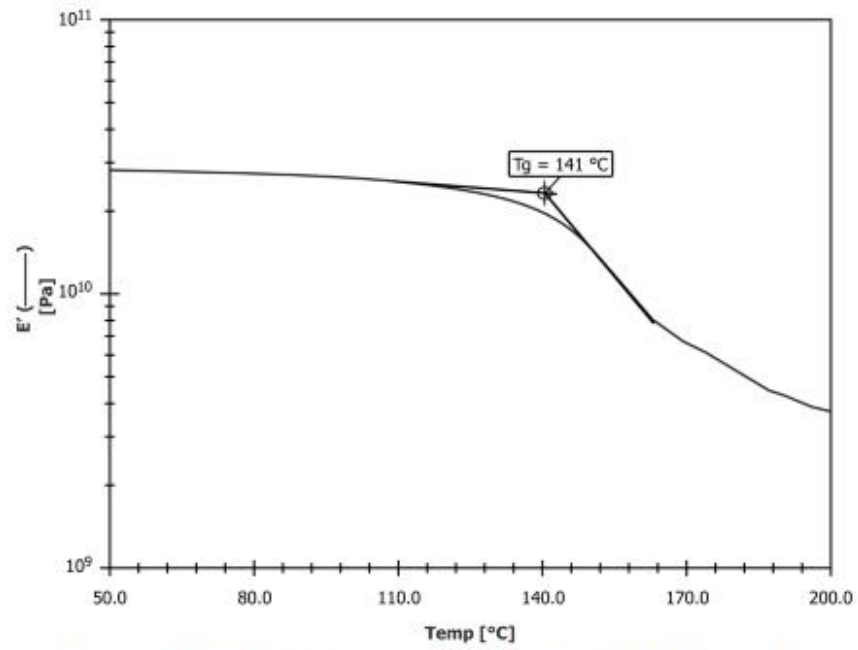


FIG. X1.6 An Example of the Determination of the DMA Tg Wet Value as Described in this Test Method

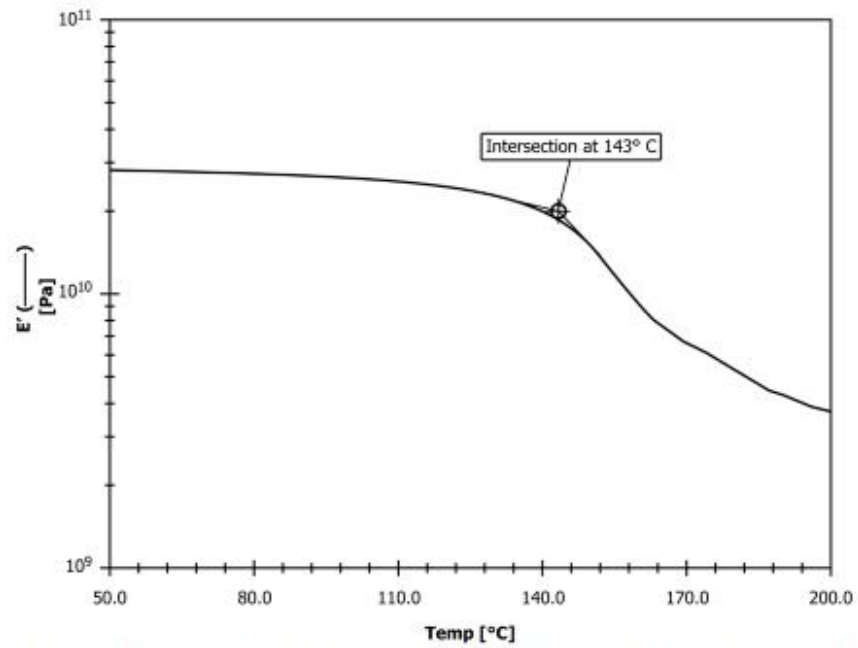


FIG. X1.7 An Example of the Intersection Drawn Where the First Tangent Line is Selected Too Close to the Transition and the Second Tangent Line is Selected Too Close to the Transition for the DMA Tg Wet Value

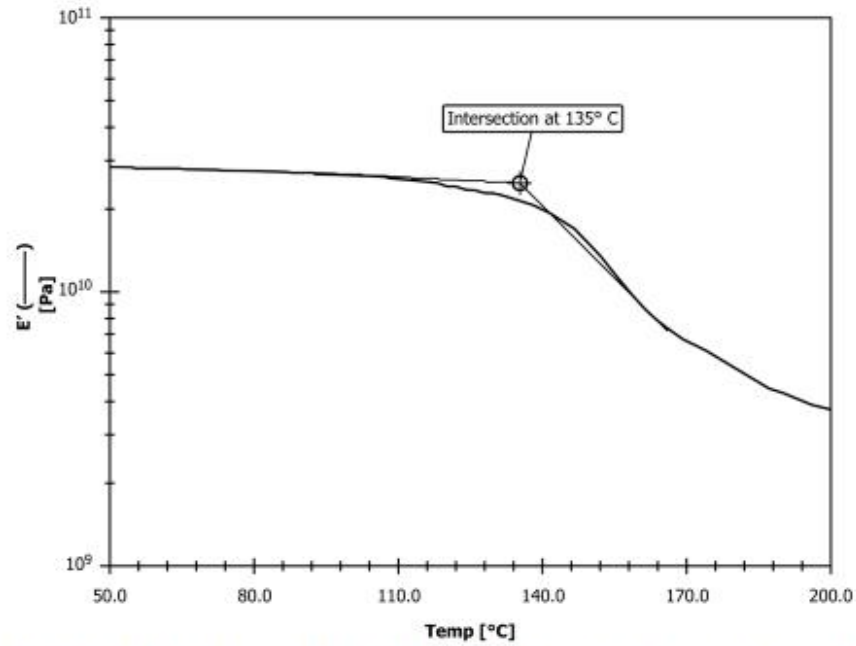


FIG. X1.8 An Example of the Intersection Drawn Where the First Tangent Line is Selected Too Far Away From the Transition and the Second Tangent Line is Selected Below the Mid-Point of the Modulus Drop for the DMA T_g Wet Values

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

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

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2909, 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), 610-832-9335 (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/