



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

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

TEMA:

**“OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE
RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ
EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA
(ASTROCARYUM), CURADO AL AMBIENTE Y SU INCIDENCIA EN
LAS PROPIEDADES MECÁNICAS.”**

Autor: Andrés Santiago Tintín Chicaiza

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO - ECUADOR

Enero - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), CURADO AL AMBIENTE Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, elaborado por el Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza, portador de la cedula de ciudadanía: C.I. 1804378246, 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.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, enero 2022

Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACION

Yo, **Andrés Santiago Tintin Chicaiza**, con C.I. 1804378246, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), CURADO AL AMBIENTE Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, 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, enero 2022



Andrés Santiago Tintin Chicaiza

C.I: 1804378246

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, enero 2022



Andrés Santiago Tintín Chicaiza

C.I: 1804378246

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Andrés Santiago Tintín Chicaiza, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), CURADO AL AMBIENTE Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**.

Ambato, enero 2022

Para constancia firman:

Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega
Miembro Calificador

Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís
Miembro Calificador

DEDICATORIA

El presente Trabajo Experimental va dedicado para los pilares fundamentales de mi familia, mis padres, Patricio y Myrian, quienes han puesto toda su confianza en mí para alcanzar este logro tan importante en mi vida; a mis hermanos Diego y David que me ven como un ejemplo a seguir.

A mis familiares que siempre creyeron en mí y supieron aconsejarme para llegar a conseguir el objetivo; a la mujer que estuvo junto a mí durante todo este proceso brindándome su apoyo y palabras de aliento Geovana García.

Finalmente, a las personas que de alguna manera me brindaron su ayuda compartiéndome nuevos conocimientos y apoyo a lo largo de la carrera universitaria.

Andrés S. Tintín Ch.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por darme salud y vida. A mis padres que a pesar de cualquier adversidad siempre han estado conmigo brindándome apoyo y motivándome a ser alguien mejor.

A todos los docentes los cuales impartieron conocimientos fundamentales para poder ser la persona que soy ahora. Al Ing. Mg. Juan Paredes por haber puesto su confianza en mí, que en calidad de tutor me supo guiar y ayudar en la realización de este trabajo experimental.

Gracias a la Universidad Técnica de Ambato por permitirme formarme como profesional en sus aulas, en las cuales tuve el gusto de conocer grandes personas, docentes, personal, compañeros y amigos.

Un especial agradecimiento a todos aquellos que conforman el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, al teniente coronel Cristian Arias que nos permitió el acceso a sus instalaciones para poder llevar a cabo el trabajo experimental.

Finalmente agradecer a mis grandes amigos que siempre han estado en los buenos y malos momentos, Jair y Daniel, gracias por su amistad y por todos los momentos gratos e inolvidables que hemos pasado; y por qué no agradecer a mi leal amigo canino Tomás, quien me acompañó en aquellas noches de desvelo durante mi etapa como estudiante en la carrera de Ingeniería Mecánica.

Andrés S. Tintín Ch.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACION	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.1.1. Tema del trabajo experimental	1
1.1.2. Antecedentes	1
1.1.3. Justificación.....	2
1.2. Fundamentación teórica	3
1.2.1. Fibras.....	3
1.2.2. Fibras naturales de origen vegetal	4
1.2.3. Composición de las fibras naturales	5
1.2.4. Fibra de Chambira.....	7
1.2.5. Producción de chambira en el Ecuador	7
1.2.6. Aplicaciones	8
1.2.7. Ingeniería de los materiales.....	9
1.2.8. Materiales compuestos	9
1.2.9. Clasificación de los materiales compuestos	9
1.2.10. Componentes de los materiales compuestos	10
1.2.11. Matriz	11
1.2.12. Compactación matriz polimérica y metálica	11
1.2.13. Tipos de matriz.....	11
1.2.14. Matriz metálica.....	11
1.2.15. Matriz Cerámica.....	12
1.2.16. Matriz polimérica	12
1.2.17. Tipos de matrices poliméricas.....	12
1.2.18. Matriz termoestable.....	12

1.2.19.	Matriz elastomérica	14
1.2.20.	Matriz termoplástica.....	14
1.2.21.	Resina.....	15
1.2.22.	Resina Epoxi	15
1.2.23.	Ensayo de Materiales	17
1.2.24.	Ensayo de tracción	18
1.2.25.	Ensayo a flexión.....	18
1.2.26.	Ensayo por impacto por caída de dardo	19
1.3.	Objetivos	20
1.3.1.	Objetivo General	20
1.3.2.	Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II		21
2.1.	Diagrama de flujo del trabajo experimental	21
2.2.	Materiales	22
2.3.	Métodos.....	27
2.3.1.	Niveles de investigación.....	27
2.3.2.	Población y muestra	28
2.3.3.	Hipótesis.....	32
2.3.4.	Señalamiento de variables	32
2.4.	Operacionalización de variables.....	32
2.4.1.	Variable independiente.....	32
2.4.2.	Variable dependiente.....	34
2.5.	Obtención de la materia prima	35
2.6.	Determinación de las propiedades físicas de la fibra de chambira.....	35
2.6.1.	Determinación de la cantidad de matriz en función del peso de la fibra.....	39
2.6.2.	Determinación de la densidad calculada y medida del material compuesto	40
2.6.3.	Elaboración de probetas	42
2.7.	Ensayo de materiales.....	46
2.7.1.	Ensayo de tracción	46
2.7.2.	Ensayo de flexión.....	48
2.7.3.	Ensayo de impacto	50
CAPÍTULO III.....		52
3.1.	Análisis e interpretación de resultados.....	52
3.1.1.	Recolección de datos	52
3.2.	Análisis y discusión de resultados.....	143
3.2.3.	Verificación de supuestos paramétricos	144
3.2.4.	Análisis de ensayo a tracción	145

3.2.5. Análisis de ensayo a flexión.....	165
3.2.6. Análisis de ensayo a impacto	187
3.2.7. Optimización simultánea.....	194
3.3. Verificación de hipótesis.....	196
CAPÍTULO IV.....	198
4.1. Conclusiones	198
4.2. Recomendaciones.....	200
BIBLIOGRAFÍA.....	201
ANEXOS.....	205

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2: Posible estructura de la lignina	6
Figura 1.10: Máquina universal de ensayos - WAW600B.....	18
Figura 1.11: Máquina universal de ensayos - WAW600B.....	19
Figura 1.12: Máquina tipo caída de masas de impacto	19
Figura 2.1: Diagrama de flujo del trabajo experimental	22
Figura 2.2: Obtención de la densidad de la fibra de chambira	35
Figura 2.5: Probeta para ensayo de impacto.....	39
Figura 2.7: Ensayo de flexión	48
Figura 2.8: Ensayo de impacto.....	51
Figura 3.2: Análisis de la gráfica de Pareto para el Esfuerzo máximo a tracción	147
Figura 3.3: Análisis de los efectos significativos del Esfuerzo máximo a tracción	147
Figura 3.4: Análisis de efectos principales para el Esfuerzo máximo a tracción	149
Figura 3.5: Análisis de interacciones para el Esfuerzo máximo a tracción.....	149
Figura 3.6: Análisis de superficie de respuesta para el Esfuerzo máximo a tracción.....	150
Figura 3.7: Análisis de optimización para el Esfuerzo máximo a tracción.....	151
Figura 3.8: Análisis de gráfica de residuos vs orden del Módulo de elasticidad a tracción.....	154
Figura 3.9: Análisis de la gráfica de Pareto para el Módulo de elasticidad a tracción.....	154
Figura 3.10: Análisis de los efectos significativos del Módulo de elasticidad a tracción	155
Figura 3.11: Análisis de efectos principales para el Módulo de elasticidad a tracción.....	156
Figura 3.12: Análisis de interacciones para el Módulo de elasticidad a tracción.....	157
Figura 3.13: Análisis de superficie de respuesta para el Módulo de elasticidad a tracción	157
Figura 3.14: Análisis de optimización para el Módulo de elasticidad a tracción.....	158
Figura 3.15: Análisis de gráfica de residuos vs orden del porcentaje de elongación a tracción	161
Figura 3.16: Análisis de la gráfica de Pareto para el porcentaje de elongación a tracción	162
Figura 3.17: Análisis de los efectos significativos del porcentaje de elongación a tracción.....	162
Figura 3.18: Análisis de efectos principales para el porcentaje de elongación a tracción	163
Figura 3.19: Análisis de interacciones para el porcentaje de elongación a tracción	164
Figura 3.20: Análisis de superficie de respuesta para el porcentaje de elongación a tracción..	164
Figura 3.21: Análisis de optimización para el porcentaje de elongación a tracción	165
Figura 3.22: Análisis de gráfica de residuos vs orden del Esfuerzo máximo a flexión.....	168
Figura 3.23: Análisis de la gráfica de Pareto para el Esfuerzo máximo a flexión.....	168
Figura 3.24: Análisis de los efectos significativos del Esfuerzo máximo a flexión.....	169
Figura 3.25: Análisis de efectos principales para el Esfuerzo máximo a flexión.....	170
Figura 3.26: Análisis de interacciones para el Esfuerzo máximo a flexión	171
Figura 3.27: Análisis de superficie de respuesta para el Esfuerzo máximo a flexión	172
Figura 3.28: Análisis de optimización para el Esfuerzo máximo a flexión.....	172

Figura 3.29: Análisis de gráfica de residuos vs orden del Módulo de elasticidad a flexión	175
Figura 3.30: Análisis de la gráfica de Pareto para el Módulo de elasticidad a flexión	176
Figura 3.31: Análisis de los efectos significativos del Módulo de elasticidad a flexión.....	176
Figura 3.32: Análisis de efectos principales para el Módulo de elasticidad a flexión	178
Figura 3.33: Análisis de interacciones para el Módulo de elasticidad a flexión	178
Figura 3.34: Análisis de superficie de respuesta para el Módulo de elasticidad a flexión	179
Figura 3.35: Análisis de optimización para el Módulo de elasticidad a flexión	180
Figura 3.36: Análisis de gráfica de residuos vs orden de la deflexión a flexión	183
Figura 3.37: Análisis de la gráfica de Pareto para la deflexión a flexión.....	183
Figura 3.38: Análisis de los efectos significativos de la deflexión a flexión	184
Figura 3.39: Análisis de efectos principales para la deflexión a flexión.....	185
Figura 3.40: Análisis de interacciones para la deflexión a flexión.....	186
Figura 3.41: Análisis de superficie de respuesta para la deflexión a flexión	186
Figura 3.42: Análisis de optimización para la deflexión a flexión.....	187
Figura 3.43: Análisis de gráfica de residuos vs orden de la energía media de fallo.....	190
Figura 3.44: Análisis de la gráfica de Pareto para la energía media de fallo	190
Figura 3.45: Análisis de los efectos significativos de la energía media de fallo	191
Figura 3.46: Análisis de efectos principales para la energía media de falla.....	192
Figura 3.47: Análisis de interacciones para la energía media de fallo	193
Figura 3.48: Análisis de superficie de respuesta para la energía media de fallo	193
Figura 3.49: Análisis de optimización para la energía media de fallo	194
Figura 3.50: Análisis de optimización simultánea	195

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Fibras vegetales.....	4
Tabla 1.2: Composición química de fibras naturales	5
Tabla 1.3: Propiedades mecánicas de materiales compuestos con matriz termoestable reforzadas con fibras naturales	13
Tabla 1.4: Características y aplicaciones de los polímeros termoestables	13
Tabla 1.5: Resultados referentes a las propiedades mecánicas de materiales compuestos con fibras naturales y matriz termoplástica.....	14
Tabla 2.1: Materiales utilizados en la elaboración de las probetas	22
Tabla 2.2: Tipos de factores de entrada y niveles	28
Tabla 2.3: Matriz de diseño experimental	29
Tabla 2.4: Combinaciones base para realizar los ensayos mecánicos en el material compuesto (RE+FCH).....	31
Tabla 2.5: Variable independiente: Material compuesto.....	32
Tabla 2.6: Variable dependiente: Propiedades mecánicas	34
Tabla 2.7: Obtención de la densidad de la fibra de chambira sin tejer, a través del método gravimétrico	36
Tabla 2.8: Obtención de la densidad de la fibra de chambira tejida, a través del método gravimétrico	36
Tabla 2.9: Cantidades de resina y endurecedor.....	40
Tabla 2.10: Densidad de la resina epoxi y fibra de chambira	40
Tabla 2.11: Densidad calculada	42
Tabla 2.12: Proceso de elaboración de las probetas	42
Tabla 2.13: Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a tracción según la norma ASTM-3039-00.....	47
Tabla 2.14: Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a flexión según la norma ASTM-D7264-07.....	50
Tabla 2.15: Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a impacto según la norma ASTM D5628-10.....	51
Tabla.3.1: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 1	52
Tabla 3.2: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 2	54
Tabla 3.3: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 3	56
Tabla 3.4: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 4	58
Tabla 3.5: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 5	60
Tabla 3.7: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 7	64
Tabla 3.8: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 8	67
Tabla 3.9: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 9	69
Tabla 3.10: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 10	71
Tabla 3.11: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 11	73

Tabla 3.12: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 12	76
Tabla 3.13: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 13	78
Tabla 3.14: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 14	80
Tabla 3.15: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 15	83
Tabla 3.16: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 1	85
Tabla 3.17: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 2	88
Tabla 3.18: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 3	90
Tabla 3.19: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 4	92
Tabla 3.20: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 5	95
Tabla 3.21: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 6	97
Tabla 3.22: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 7	100
Tabla 3.23: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 8	102
Tabla 3.24: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 9	105
Tabla 3.25: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 10	107
Tabla 3.26: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 11	110
Tabla 3.27: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 12	112
Tabla 3.28: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 13	115
Tabla 3.29: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 14	117
Tabla 3.30: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 15	120
Tabla 3.46: Resultados de ensayos de tracción, flexión e impacto	143
Tabla 3.47: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Sut	146
Tabla 3.48: Análisis ANOVA para el Esfuerzo máximo a tracción.....	148
Tabla 3.49: Valores óptimos para el esfuerzo máximo a tracción	151
Tabla 3.50: Análisis del supuesto de normalidad para el Módulo de elasticidad a tracción	152
Tabla 3.51: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Módulo de elasticidad a tracción.....	153
Tabla 3.52: Análisis ANOVA para el Módulo de elasticidad a tracción	155
Tabla 3.53: Valores óptimos para el módulo de elasticidad a tracción	158
Tabla 3.54: Análisis del supuesto de normalidad para el porcentaje de elongación a tracción.	159
Tabla 3.55: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el porcentaje de elongación a tracción.....	160
Tabla 3.56: Análisis ANOVA para el porcentaje de elongación a tracción	162
Tabla 3.57: Valores óptimos para el porcentaje de elongación a tracción	165
Tabla 3.58: Análisis del supuesto de normalidad para el Esfuerzo máximo a flexión.....	166
Tabla 3.59: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Esfuerzo máximo a flexión	167
Tabla 3.60: Análisis ANOVA para el Esfuerzo máximo a flexión	169
Tabla 3.61: Valores óptimos para el esfuerzo máximo a flexión	173

Tabla 3.62: Análisis del supuesto de normalidad para el Módulo de elasticidad a flexión.....	173
Tabla 3.63: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Módulo de elasticidad a flexión	174
Tabla 3.64: Análisis ANOVA para el Módulo de elasticidad a flexión	177
Tabla 3.65: Valores óptimos para el módulo de elasticidad a flexión.....	180
Tabla 3.66: Análisis del supuesto de normalidad para la deflexión a flexión.....	181
Tabla 3.67: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para la deflexión a flexión..	182
Tabla 3.68: Análisis ANOVA para la deflexión a flexión	184
Tabla 3.69: Valores óptimos para la deflexión.....	187
Tabla 3.70: Análisis del supuesto de normalidad para la energía media de fallo.....	188
Tabla 3.71: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para la energía media de fallo	189
Tabla 3.72: Análisis ANOVA para la energía media de fallo	191
Tabla 3.73: Valores óptimos para la energía media de fallo	194
Tabla 3.74: Valores óptimos simultáneos para el material compuesto	196
Tabla 3.75: Valores predichos del punto óptimo simultáneo	196
Tabla 3.76: Análisis de ANOVA para la deseabilidad global.....	196

RESUMEN

El presente trabajo experimental se efectuó el análisis de las propiedades mecánicas del material compuesto de resina epoxi reforzado con fibras de chambira, el material fue moldeado a través de estratificación al vacío con curado al ambiente en diferentes períodos de días.

Para el análisis a realizar se planteó la Metodología de Superficie de Respuesta (MSR), utilizando el diseño de Box-Behnken estableciendo tres factores de entrada, cada factor tuvo tres niveles: orientación 1 de la fibra de chambira: -45, 0, 45 grados, orientación 2: -45, 0, 45 grados y tiempo de curado de 12, 22 y 32 días. El diseño mostró un número específico de tratamientos con distintas configuraciones de factores y niveles para el ensayo destructivo de las probetas, los datos obtenidos en ese proceso fueron validados con el cumplimiento de los supuestos paramétricos.

Se analizó la variabilidad ANOVA de los valores que se obtuvieron en el diseño MSR, haciendo énfasis en los efectos significativos y su incidencia en las propiedades mecánicas, una vez realizado el análisis anterior, se procedió a realizar la optimización de cada propiedad mecánica analizada mediante la función de deseabilidad global. Se obtuvo una configuración óptima al combinar la orientación 1 a 4.09 y la orientación 2 a 6.81 grados de giro y un tiempo de curado de 32 días, la deseabilidad compuesta es de 0.8323 y la variabilidad de las propiedades es 99.95 por ciento.

Palabras clave: Resina epoxi, Fibras de chambira, MSR, Box-Behnken, Propiedades mecánicas, Deseabilidad.

ABSTRACT

The present experimental work carried out the analysis of the mechanical properties of the epoxy resin composite material reinforced with chambira fibers, the material was molded through vacuum stratification with ambient curing in different periods of days.

For the analysis to be carried out, the Response Surface Methodology (MSR) was proposed, using the Box-Behnken design establishing three input factors, each factor had three levels: orientation 1 of the chambira fiber: -45, 0, 45 degrees, orientation 2: -45, 0, 45 degrees and cure time of 12, 22 and 32 days. The design showed a specific number of treatments with different configurations of factors and levels for the destructive test of the specimens, the data obtained in this process were validated with the fulfillment of the parametric assumptions.

The ANOVA variability of the values obtained in the MSR design was analyzed, emphasizing the significant effects and their incidence on the mechanical properties. Once the previous analysis had been carried out, the optimization of each mechanical property analyzed by means of the global desirability function. An optimal configuration was obtained by combining orientation 1 at 4.09 and orientation 2 at 6.81 degrees of spin and a cure time of 32 days, the composite desirability is 0.8323 and the variability of the properties is 99.95 percent.

Keywords: Epoxy resin, Chambira fibers, MSR, Box-Behnken, Mechanical properties, Desirability.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1. Tema del trabajo experimental

OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), CURADO AL AMBIENTE Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

1.1.2. Antecedentes

El señor José Salinas en su trabajo de investigación: “CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS A BASE DE POLÍMEROS – FIBRA DE BAGAZO DE NOPAL POR INYECCIÓN” realizado en la Universidad Autónoma de México, Facultad de Ingeniería en el año 2013 menciona, la investigación realizada a esta clase de material mediante el proceso de inyección para el polipropileno y al polietileno, al realizarlos en matriz se observó la reducción de las propiedades mecánicas provocado por la carencia de acoplamiento entre las matrices, sin embargo gracias a las fibras de bagazo de nopal presentes se notó un aumento mínimo de la dureza y rigidez del material compuesto. Luego de desarrollar el tratamiento de cera polimérica se obtuvo una buena adherencia en la matriz y el refuerzo, esto se ve reflejado en la ampliación de la resistencia mecánica [1].

En el año 2014 en la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, los Ingenieros Galeas S., Delgado F. y Guevara V. en su tesis: “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRAS DE COCO Y VIDRIO PARA LA ELABORACIÓN DE TABLEROS” afirmaron que la investigación hecha en los compuestos híbridos evidenció que las fracciones volumétricas del 0.15 y 0.20 de refuerzo revelaron aumento del módulo elástico densidad y resistencia al incrementar la fracción de fibra de vidrio, por el contrario muestra una baja de estas propiedades mecánicas cuando se aumenta la fibra de coco [2].

En la Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria, Edwin Andrés Proaño Fiallos en el año 2015 en su trabajo de titulación: “DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ DE POLIURETANO RÍGIDO REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA Y CON RAQUIS DE PALMA AFRICANA” concluye que el material con 15% en peso de fibra tuvo mejores características mecánicas al momento de realizar los ensayos de tracción y flexión, obteniendo así un módulo del material y esfuerzo máximo parecidos a los de un material de poliuretano rígido [3].

Patricio Vargas en el año 2018 en su investigación titulada “APLICABILIDAD DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS DE HOJA DE TUNA EN USOS INDUSTRIALES” expresa que las configuraciones entrecruzadas y a 45° dieron mejores efectos, no obstante, se debe tomar en cuenta la manera de fabricación y espesores promedios [4].

En el año 2020 en la Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, los Ingenieros Freddy Ayala y Francisco Conteras. en su tesis: “CARACTERIZACIÓN MECANICA DEL COMPOSITE UV FOTOCURABLE RESINA ASTROCARYUM CHAMBIRA ECUATORIANA” afirmaron que en las probetas a 0° se obtuvo una tensión máxima de 9.09 Mpa, mientras tanto en las probetas de fibra tejida se obtuvo un valor aún más alto de 38.22 Mpa [5].

1.1.3. Justificación

Actualmente en el Ecuador la realización de materiales compuestos se encuentra en una fase inicial, es por esto que el uso de fibras naturales dentro del ámbito industrial es bajo. Generalmente, la industrialización de fibras naturales no ha tenido un buen desarrollo en el país, esto puede cambiar tomando en cuenta el potencial que tiene el Ecuador para producir dichas fibras, además de que tendría la ventaja de reciclar y así disminuir el impacto ambiental [6].

Las circunstancias de vida de las personas nativas de la región necesitan ser mejorada por organizaciones que propongan proyectos tanto nacionales como extranjeros, mediante el aprovechamiento, producción y comercialización de productos realizados con fibras naturales [7].

Hoy en día la producción de los plásticos contribuye una enorme cantidad de productos al diario vivir del hombre, debido a su gran versatilidad. No obstante, al ser un derivado

del petróleo, posee una baja biodegradabilidad, genera una gran contaminación al medio ambiente y además es perjudicial para la vida vegetal, animal y humana [8].

Con lo anteriormente mencionado, existe la necesidad de desarrollar aplicaciones que agreguen valor a las fibras naturales combinándolas con polímeros; el siguiente trabajo experimental procura incorporar la fibra natural *Astrocaryum Chambira* como refuerzo de un material compuesto de una matriz epoxi y determinar sus propiedades mecánicas a través de la realización de ensayos de tracción, flexión e impacto; que permitan obtener las características del material como la resistencia última a la tracción, absorción de energía de impacto y el módulo de elasticidad. La finalidad del trabajo experimental es optimizar el material compuesto bajo la metodología de superficie de respuesta, realizando un curado a temperatura ambiente para posteriormente analizar su incidencia en las propiedades mecánicas; desde el punto de vista económico se contribuirá a la potenciación de la producción local de la Chambira, siendo así un material que pueda ser aprovechado por las comunidades de la región amazónica y el resto del país.

1.2. Fundamentación teórica

1.2.1. Fibras

Fibra se refiere a cada filamento que componen hilos que posteriormente se pueden convertir en tejidos, estos pueden ser de origen vegetal, animal, mineral o artificial [9]; generalmente las fibras son muy flexibles y finas, a continuación, se puede observar la clasificación de las mismas.

- **Fibras naturales**

Fibras vegetales, estas pueden ser de fruto y semilla como algodón, coco; de tallo como lino, yute, bambú; y de hoja como miraguano, sisal, etc.

Fibras animales, entre estas están los folículos pilosos como la angora, la lana; Glándulas sedosas como la seda o seda salvaje.

Fibras minerales como metales (plata, oro), amianto, etc. [9].

- **Fibras químicas**

Fibras artificiales, entre estas están las celulósicas como el látex, caucho; las proteínicas como las algas (alginato), vegetales (ardil), animales (fibrolana); las metálicas como el cobre, plata, oro, etc.

Fibras sintéticas, estas pueden ser de polimerización como el poliuretano, polivinilo, polipropileno; de policondensación como el poliéster, poliamida, etc. [9].

1.2.2. Fibras naturales de origen vegetal

Las fibras naturales de origen vegetal están compuestas generalmente de lignina, celulosa y demás componentes en cantidades menores. La más usada en el ámbito industrial es la celulosa, ya que con ella se puede fabricar papel [10].

Debido a que las fibras vegetales son extraídas tanto de semillas o frutos, hojas y tronco; existen los siguientes tipos de fibras: blandas y duras. Las fibras blandas se localizan en el tallo de las plantas que tienen semillas dicotiledóneas, algunos ejemplos son el lino, el cáñamo y el yute. Por otro lado, las fibras duras se obtienen de las hojas de las plantas monocotiledóneas, estas son mucho más resistentes gracias a su gran grado de lignificación, esto significa que adquiere mayor estabilidad por la acumulación de la celulosa, algunos ejemplos de estas fibras son la de yuca, esparto, sisal, etc. Se puede mencionar una última categoría la cual incluye a las fibras de superficie que son aquellos pelos de la epidermis que contiene la semilla, un claro caso es el algodón [11]. A continuación, en la tabla 1.1 se tiene las fibras vegetales más importantes.

Tabla 1.1: Fibras vegetales [12].

NOMBRE COMÚN	NOMBRE BOTÁNICO	LOCALIZACIÓN
Fibras de frutos y semillas		
Algodón	<i>Gossypium sp.</i>	África, Asia y EE.UU.
Nuez de coco	<i>Cocos nucifera</i>	Trópicos
Miraguano	<i>Ceiba perunada</i>	Trópicos
Fibras de troncos		
Lino	<i>Linium sp.</i>	Zonas templadas
Yute	<i>Corchorus capsularis</i>	India
Sunn	<i>Crotalia juncea</i>	India
Cáñamo	<i>Cannabis sativa</i>	Zonas templadas

Roselle	<i>Hibiscus sabdarifa</i>	Brasil, Indonesia
Kenaf	<i>Hibiscus cannabis</i>	India, América del Sur
Ramio	<i>Bohemeria nivea</i>	EE.UU., China
Fibras de hojas		
Henequén	<i>Neoglazioia variegara</i>	México, Cuba
Abacá	<i>Musa textilis</i>	Ecuador, Filipinas
Sisal	<i>Agave sisalama</i>	México, Haití
Cantala	<i>Agave Cantala</i>	Indonesia, Filipinas
Ixtle	<i>Agave fourcroydes</i>	México
Mauritos	<i>Furcraea gigantea</i>	Venezuela, Brasil
Sansevieria	<i>Sansevieria sp.</i>	América del Sur, Africa

1.2.3. Composición de las fibras naturales

Toda fibra natural está compuesta por distintas proporciones de lignina, hemicelulosa y celulosa [9], en la siguiente tabla 1.2 se presentan las composiciones químicas de algunas fibras naturales, cabe mencionar que la lignina ayuda a la permeabilización de la fibra, mientras que la celulosa contribuye con resistencia a la flexión y tracción, además de darle mayor rigidez [13].

Tabla 1.2: Composición química de fibras naturales [14].

Nombre	Lignina (%peso)	Pectina (%peso)	Hemicelulosa (%peso)	Celulosa (%peso)
Banana	-	-	-	36-64
Yute	21-24	-	18-22	41-48
Miraguano	13	23	23	64
Nuez de coco	31-45	3-4	10	36-46
Ramio	0.6-0.7	1.9	5-16.7	68.6-91
Ortiga	-	-	-	86
Lino	2.2	2.3	16.6-20.6	71
Kenaf	15-21	-	18-24	37-49
Bambú	27-32.2	-	15	35-60.38
Algodón	-	1.2	-	94
Abacá	7-9	6	15-17	56-63

Henequén	13.1	-	4-8	77.6
Cáñamo	3.7-13	0.9	14-22.4	57-77
Sisal	7-11	10	70-24	47-78

1.2.3.1. Celulosa

En insoluble en el agua gracias a que sus moléculas están unidas por medio de enlaces β -1, 4-O-glucosídico; su peso molecular tiende a variar cuya formula empírica es $(C_6H_{10}O_5)_n$ (n mínimo 200), en la siguiente figura 1.1 se muestra la estructura de la celulosa [15].

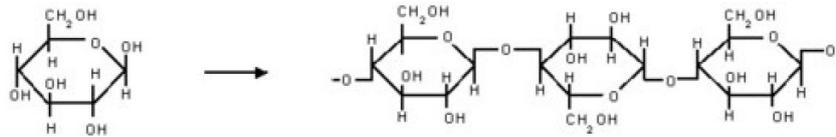


Figura 1.1: Estructura de la celulosa [15].

1.2.3.2. Lignina

No dispone de una estructura como tal, a pesar de ello a través de los años se han propuesto varios modelos de lo que podría ser su estructura, como se observa en la figura 1.2 [15].

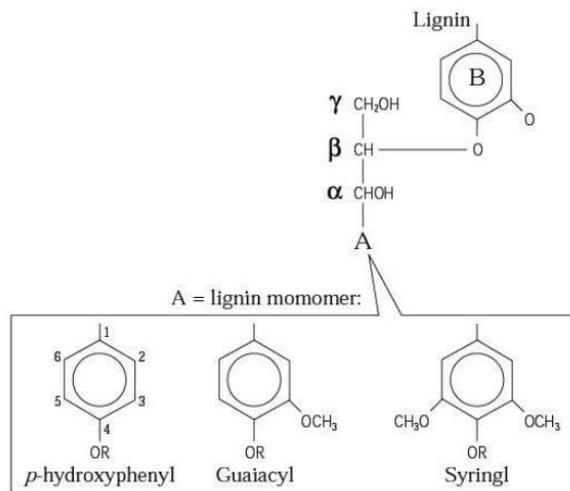


Figura 1.2: Posible estructura de la lignina [15].

1.2.3.3. Hemicelulosa

Se caracteriza por no ser celulosa ni pectina, la hemicelulosa es diferente de la celulosa, tiene unidades distintas de azúcares, en tanto contiene únicamente unidades de 1, 4- β -D-glucopiranososa el cual construye una red con otros polímeros de carbohidratos [16].

1.2.4. Fibra de Chambira

Es un tipo de fibra vegetal que generalmente se encuentra en las palmeras nativas de la región amazónica, dicha fibra corresponde a la familia *Astrocaryum*; en países como Panamá, Costa Rica, Colombia y Ecuador la *Astrocaryum Standleyanum* es aprovechada para la confección de hamacas, cestos y sombreros [17].

La *Astrocaryum Chambira* es considerada como una de las especies más relevantes para el desarrollo de fibras vegetales de la región amazónica; algunas etnias como los Chacobo, Bora, Huaorani, Cofán, Secoya, etc., son las principales que tienen como fuente de empleo la domesticación de fibras [18].

1.2.5. Producción de chambira en el Ecuador

La chambira tiene un tallo el cual puede llegar a alcanzar los 30m, su diámetro va desde los 25 hasta los 45cm, su corona está compuesta por 9 a 16 hojas erguidas pinnadas con una longitud hasta 5m. La *Astrocaryum Chambira* se puede encontrar en el parque Yasuní, no obstante, también se la puede localizar en pantanos, en la figura 1.3 se puede observar el árbol de chambira junto a la figura 1.4 donde se puede observar un diagrama donde se ve las zonas donde crece la chambira [19].



Figura 1.3: *Astrocaryum Chambira* [19].

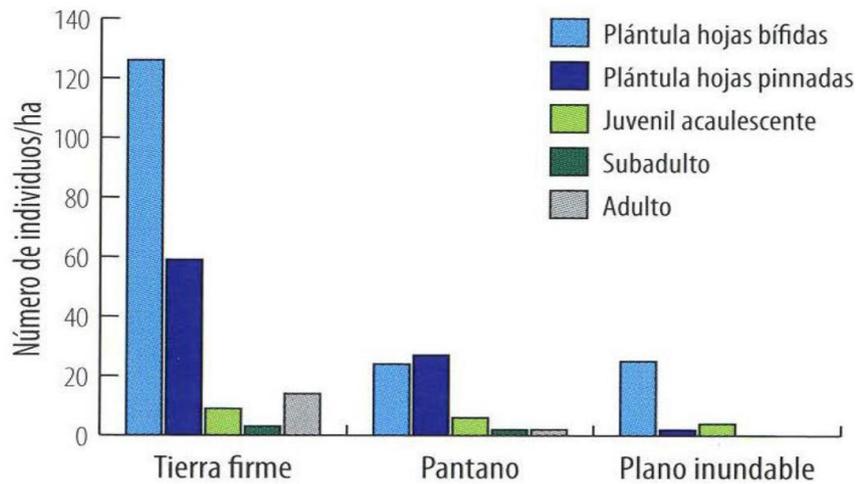


Figura 1.4: Crecimiento de la Chambira [19].

En la figura 1.5 se puede observar con mayor detalle cómo se realiza la cosecha de la fibra de chambira, primero, con un machete se procede a cortar las hojas que se encuentran en lo más alto del tallo, una vez cortadas se juntan y se alistan para ser transportadas, para extraer la fibra se debe hacer el desprendimiento de la epidermis de los folíolos, posterior a ello se las cocina por 30 minutos, se las lava y se las deja secar al sol. Una vez obtenida la fibra totalmente seca se la tensa y tuerce hasta formar una piola conformada por muchas fibras, las cuales serán utilizadas para diferentes aplicaciones [19].



Figura 1.5: Cosecha de la *Astrocaryum Chambira* [19].

1.2.6. Aplicaciones

De la *Astrocaryum Chambira* se produce diversas clases de productos que cumplen diferentes usos, la fibra es utilizada para la fabricación de redes en la caza y pesca, en el ámbito alimenticio se usan el endospermo líquido, la semilla y el palmito crudo, también

se utiliza como combustible en donde se aprovecha los residuos de los foliolos, además se elaboran bolsos, hilos, piolas, hamacas, pulseras, canastas y cepillos [20].

1.2.7. Ingeniería de los materiales

En este campo de la ingeniería se aplica los aprendizajes obtenidos de la ciencia de materiales con la finalidad de conseguir un ligado de propiedades que relacionan la constitución estructura-propiedad, con el objetivo de crear mejores productos con propiedades (químicas, magnéticas, eléctricas, mecánicas, ópticas y térmicas) mucho más desarrolladas [21].

1.2.8. Materiales compuestos

Son aquellos que se consiguen a través de la unión de distintos materiales, los mismos que de manera independiente tienen características químicas, físicas o mecánicas inferiores a las que presenta el material compuesto, debido a que es específicamente desarrollado para mejorar las propiedades anteriormente mencionadas [22].

1.2.9. Clasificación de los materiales compuestos

Según el tipo de matriz:

- Metálica
- Cerámica
- Polimérica

Según el tipo de refuerzo:

A continuación, en la figura 1.6 se presenta los tipos de refuerzo de los materiales compuestos.

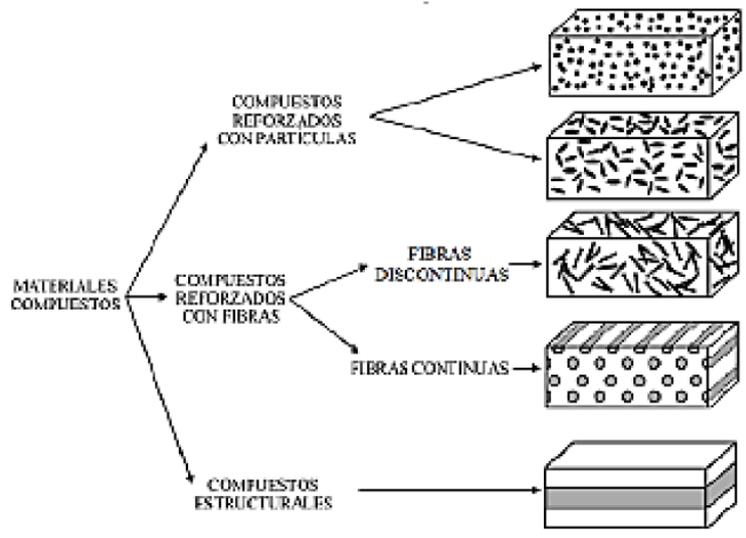


Figura 1.6: Tipos de refuerzo de un material compuesto [23].

1.2.10. Componentes de los materiales compuestos

La unión entre el refuerzo y la matriz se la conoce como interfaz, se pueden aglutinar más elementos ya sean acoples, rellenos y revestaduras; en la figura 1.7 se observa la constitución de un material compuesto con fibras.

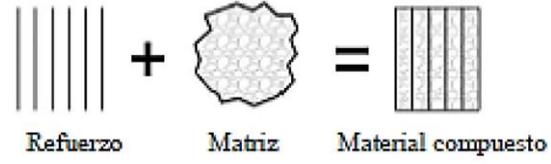


Figura 1.7: Constitución de un material compuesto [24].

En la siguiente figura 1.8 se observa los componentes del material compuesto, en este caso la fibra de carbono absorbe los esfuerzos originados por el material [25].

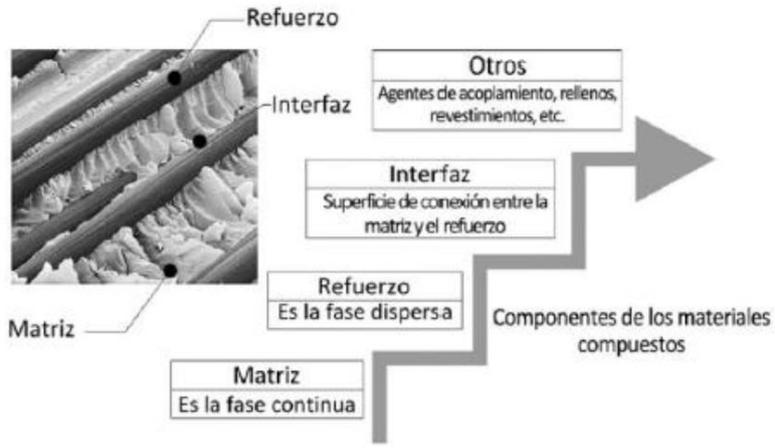


Figura 1.8: Componentes de un material compuesto [26].

1.2.11. Matriz

Es la fase continua la cual contiene los componentes del refuerzo brindando estabilidad y continuación al material, algunas de sus funciones principales son:

- Conceder al refuerzo un muro que lo protege de los cambios ambientales.
- Transferir las cargas hacia el refuerzo.
- Ligar los refuerzos [25].

1.2.12. Compactación matriz polimérica y metálica

En la siguiente figura 1.9 se puede ver la unión de las fibras de carbono en una matriz de cobre de no muy buena calidad, con la finalidad de mejorar la resistencia se debe usar unos recubrimientos especiales.

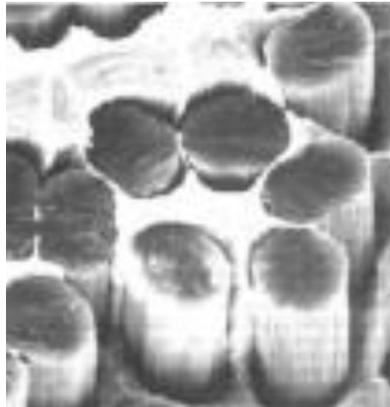


Figura 1.9: Fibras de carbono en matriz de cobre [27].

1.2.13. Tipos de matriz

El tipo de matriz que se utilice depende de las propiedades que este tenga, además de la temperatura a la que va a ser sometido.

1.2.14. Matriz metálica

En general los metales trabajan en aleación brindando alta rigidez y resistencia mecánica en los diferentes escenarios a los que sean expuestos.

Este tipo de matriz tiene la capacidad de contener refuerzo de un 20 a 50% de volumen, especialmente son usadas donde la situación requiera rigidez, dureza, resistencia mecánica, resistencia a grandes temperaturas y módulo específico elevado; comúnmente este tipo de matriz se utilizan en ingenierías automotriz y aeroespacial.

Algunos de los estándares que debe cumplir el refuerzo para poder trabajar con una matriz metálica son:

- Estabilidad térmica.
- Coeficiente de expansión térmica baja.
- Elevada resistencia a la tracción y compresión.
- Densidad baja.
- Módulo de elasticidad alto.

1.2.15. Matriz Cerámica

Son perfectas para trabajar a elevadas temperaturas, excelentes propiedades mecánicas y bajas densidades. En la actualidad se utilizan para crear componentes de aviones y automóviles [28].

1.2.16. Matriz polimérica

Presenta muchas facilidades de aplicación, gracias a su densidad baja pueden trabajar a temperatura ambiente, también se pueden combinar con fibras naturales.

1.2.17. Tipos de matrices poliméricas

- Termoestables
- Termoplásticos
- Elastómeros

1.2.18. Matriz termoestable

La fragilidad y rigidez de este tipo de matriz se debe a las cadenas de polímeros que forman una malla de estructura reticulada en diferentes direcciones. Los materiales mas usados para realizar estas matrices son: el epoxi, el poliéster y las poliamidas, estas últimas se utilizan generalmente en la fabricación de materiales con fibras largas [12].

En la siguiente tabla 1.3 se puede observar ciertas propiedades mecánicas de diferentes materiales compuestos.

Tabla 1.3: Propiedades mecánicas de materiales compuestos con matriz termoestable reforzadas con fibras naturales [29].

Material Compuesto	Modulo de elasticidad (GPa)	Esfuerzo de ruptura (MPa)	Resistencia al impacto (KJ/m²)
Poliéster	1.75	41.60	9.3
Sisal/Poliéster (25%)	1.90	34.35	30
Coco/Poliéster (25%)	1.40	14.10	11.1
Banano/Poliéster (25%)	2.34	43.25	10
Vidrio/Poliéster (25%)	2.71	55.65	45
Sisal/Epoxi (58%)	8.85	350	-

Algunas de las ventajas de la matriz termoestable son:

- Elevado equilibrio dimensional.
- Buena estabilidad térmica.
- Buenas propiedades ante el aislamiento eléctrico.
- Buena rigidez
- Peso ligero.

Tabla 1.4: Características y aplicaciones de los polímeros termoestables [25].

Termoestable	Características	Aplicación
Fenólicas	Estabilidad térmica hasta los 150°C, apto para formar materiales compuestos con varias resinas, material de relleno, etc.	Accesorios eléctricos, carcasas de teléfonos, motores.
Siliconas	Buenas propiedades eléctricas, económico, se puede usar en temperatura ambiente o superior, comúnmente es reforzada con fibras	Cintas y láminas aislantes a altas temperaturas.
Poliésteres	Buenas propiedades eléctricas, económico, se puede usar en temperatura ambiente o superior, comúnmente es reforzada con fibras	Ventiladores, paneles de automóviles, sillas, barcos pequeños, cascos.

Epoxis	Excelentes propiedades eléctricas, resistencia a la corrosión, estables dimensionalmente, buena adherencia, buenas propiedades mecánicas, económico.	Adhesivos, laminas con refuerzo de fibra de vidrio, enchufes, recubrimientos de protección.
---------------	--	---

1.2.19. Matriz elastomérica

Se caracterizan principalmente por su amplio estiramiento el cual puede ser hasta 5 o 6 veces su longitud inicial, esto gracias a su zona elástica, aunque sus módulos de elasticidad son bajos. En relación con los polímeros termoestables, presentan enlaces de reticulación menores, un ejemplo común de este tipo de material es el caucho natural [26].

1.2.20. Matriz termoplástica

Tienen una estructura molecular muy poco ramificada, en otras palabras, lineal, al ser sometidos al calor se funden y se hacen sólidos de manera rápida al realizar contacto con el aire, una de las grandes ventajas de un termoplástico es que se lo puede fundir en varias ocasiones, sin embargo, pueden llegar a degradarse. Generan menor impacto ambiental, tiene un costo económico de fabricación que un termoestable, tiene excelentes propiedades; gracias a todas estas características, son muy utilizados en la industria automovilística, ofreciendo una buena resistencia al envejecimiento. Entre los termoplásticos más comunes están: policloruro de vinilo (PVC), polipropileno (PP), poliuretano (PU), polietileno (PE), etc. [12].

En la siguiente tabla 1.5 se muestra los resultados de referencia a las propiedades mecánicas hechas a materiales compuestos con fibras naturales y matrices termoplásticas.

Tabla 1.5: Resultados referentes a las propiedades mecánicas de materiales compuestos con fibras naturales y matriz termoplástica [30].

Material Compuesto	Módulo de Elasticidad (MPa)	Esfuerzo ultimo de tensión (MPa)	Elongación (%)
Cabuya (20%)/PE	167.2	11.48	33.3
Abaca (20%)/PE	251.8	13.17	34
Abaca (30%)/PP	1185.6	33.2	11.8
Cañamo (30%)/PP	6800	52	-
Yute (30%)/PP	3100	28	-

Sisal (20%)/PP	1630.8	36.5	8.33
Sisal (40%)/PP	716.4	38.7	8.56
Kenaf (50%)/PP	7200	62.0	-
Kenaf (30%)PP	6900	29	-

1.2.21. Resina

Es una sustancia con alta solubilidad, densidad y olor; es conseguida naturalmente mediante la secreción de plantas específicas, una de ellas es el pino resinero, en un principio es líquida la cual al someterse a un proceso de polimerización se solidifica [31].

Tiene mucho valor debido a las propiedades y aplicaciones que tienen, entre tantos de sus usos están: elaboración de perfumes, pegamentos, bálsamos, aditivos alimenticios, etc. A la par existe resinas fabricadas de manera industrial, con propiedades casi iguales a las naturales, un ejemplo de estas resinas es: resina epoxi, el acrílico, poliéster, poliuretano, etc. [32].

1.2.22. Resina Epoxi

Se caracteriza principalmente por su brillo y dureza, sirve para realizar trabajos industriales como revestimiento de suelos y adhesivo para la manufactura de automóviles. El Centro de Investigación en Química Aplicada define a la resina epoxi como un polímero termoestable, el cual se endurece cuando se mezcla con un catalizador, es ampliamente usado en materiales reforzados con fibras, compuestos, revestimientos de superficies, adhesivos, etc. [33].

Conocido también como poliepóxido, esta resina puede reaccionar con homopolimerización catalítica o a través de co-reactivos: alcoholes, tioles, anhídridos ácidos, fenoles y ácidos; las resinas epóxicas pueden clasificarse en:

- Éteres glicéricos
- Ésteres glicéricos
- Alifáticos lineales
- Cicloalifáticos

A nivel comercial los éteres son más trascendentales, ya que el 95% de las resinas usadas son glicidiléteres, que se obtienen mediante una reacción de la epichlorhidrina con el bisfenol A. El adidamiento de diluyentes o pigmentos a la resina, es importante ya que

ayuda a que su gama de aplicaciones sea más grande; para esto, las resinas son endurecidas a través de reacciones químicas que convierten su estructura, en un procesamiento conocido como “curado” [33].

1.2.22.1. Aplicaciones de la resina epoxi

La resina epoxi puede ser utilizada en varios campos industriales como la construcción naval, aeronáutica, artística y textil, etc.

Generalmente, estas resinas poseen cuatro usos estructurales:

- **Como adhesivo o pegamento**

Brinda estabilidad y rigidez a los objetos donde se los aplica, su resistencia térmica es favorable para utilizarla en temperaturas hasta 200°C. Puede ser usada en varias superficies como el vidrio, metal, plástico; como pegamento es muy requerido en metales debido a que posee buenas propiedades aislantes, esto hace que su manejo sea seguro [33].

- **Manejo en la electricidad**

Gracias a que no conducen electricidad es usado comúnmente para evitar cortocircuitos, adicional a esto también es utilizado como aislante de algunas piezas para protegerlas del polvo y la humedad [33].

- **Uso en embarcaciones**

La resina epoxi sirve para la construcción o reparación de botes, yates y barcos que, al estar a exposición a la corrosión de la sal del mar y humedad, necesitan de un material que les brinde protección y que sea capaz de soportar este tipo de factores [33].

- **Uso en la electrónica**

La finalidad principal de la resina epoxi es brindar protección a los objetos y materiales que se cubran con ella, en el ámbito electrónico las resinas evitan que la humedad y el polvo averíen los circuitos integrados, así como los impresos, que son importantes para fabricar diferentes dispositivos electrónicos [33].

- **Construcción de moldes**

Debido al bajo costo que tiene la resina epoxi en comparación a otros materiales como el metal, es bastante utilizada en la industria de los moldes, es destinada a la manufactura de laminados y piezas maestras; también es muy común encontrar esta resina en el proceso de extrusión ya que consiste en la creación de objetos o piezas con secciones transversales fijas, las cuales están destinadas al sector constructor [33].

- **Industrias**

Las resinas epoxi son utilizadas en la industria alimentaria sirviendo como recubrimiento interior de productos de metal, como las latas de comida, conductos de suministro de agua, tapas de botella [33].

- **Uso para manualidades**

Existen artesanías con encapsulado de madera y ornamentos que contienen la resina, de igual manera ocurre en la bisutería y joyería las cuales también llegan a tener resina epoxi en su conformación [33].

1.2.22.2. Ventajas de la resina epoxi

- Resistencia a altas temperaturas
- Altamente polivalente
- Fácil de limpiar
- Fácil manejo
- Resistente a la corrosión

1.2.23. Ensayo de Materiales

Este ensayo hace posible obtener las características mecánicas de los materiales compuestos, instaurando comportamientos sometidos a influencias externas. Los ensayos físicos determinan la dimensión y forma de los objetos, como la humedad, densidad y peso específico; en cambio, en los ensayos mecánicos se obtienen ductilidad, plasticidad, elasticidad, resistencia y tenacidad, etc.

La ASTM (Sociedad Americana para Ensayos y Materiales) ha creado normas específicas para el ensayo de materiales, las cuales son: norma ASTM D3039 para tracción, norma ASTM D7264 para flexión y norma ASTM D5628 para impacto.

1.2.24. Ensayo de tracción

Este ensayo está regido bajo la norma D3039, sirve para obtener el comportamiento mecánico del material cuando está sometido a esfuerzos, el material tiene la tendencia a deformarse hasta llegar a romperse debido a la carga uniaxial a lo largo del eje principal la cual aumenta gradualmente en la probeta. En la figura 1.10 se muestra la máquina para realizar los ensayos de tracción.



Figura 1.10: Máquina universal de ensayos - WAW600B [Autor].

1.2.25. Ensayo a flexión

El ensayo a flexión es la manera de determinar la rigidez a la flexión y propiedades de resistencia de un compuesto por matriz polimérica, el proceso corresponde a un sistema de carga en tres puntos, una carga central y a los extremos unos apoyos simples.

En relación a materiales conformados con fibras el ensayo a flexión se basa en la norma D7264 utilizando una máquina universal de ensayos como se muestra en la figura 1.11.



Figura 1.11: Máquina universal de ensayos - WAW600B [Autor].

1.2.26. Ensayo por impacto por caída de dardo

En este ensayo el dardo debe golpear en el centro de la muestra sin provocar algún rebote, luego de ellos se revisa la muestra para observar si ha fallado o no, teniendo en cuenta que una falla puede ser una ruptura o grieta provocada por el mismo impacto, a continuación, en la figura 1.12 se puede observar la máquina tipo caída de masas de impacto.



Figura 1.12: Máquina tipo caída de masas de impacto [Autor].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de chambira (*Astrocaryum*) utilizando la metodología de superficie de respuesta (MSR).

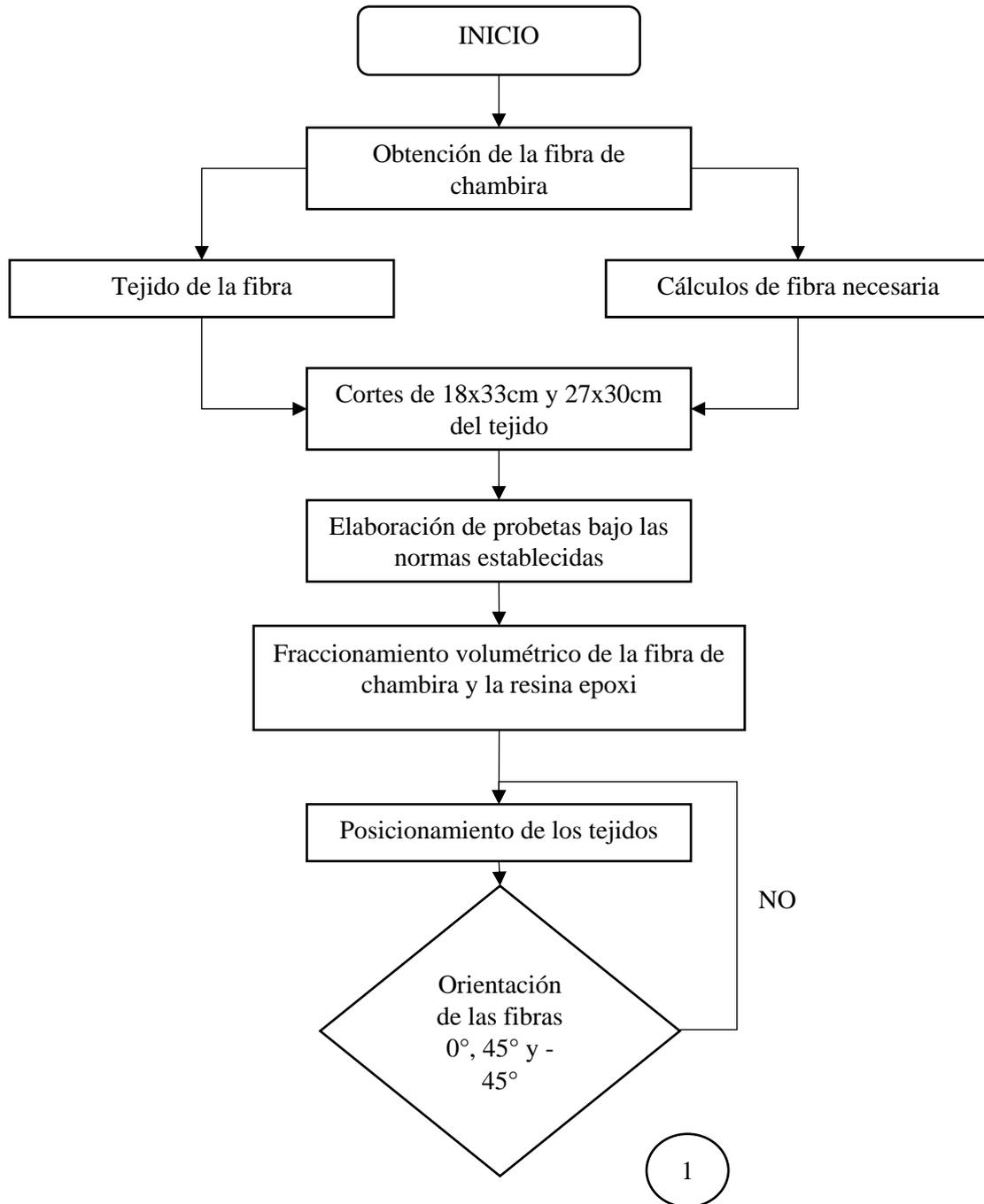
1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de obtención del material compuesto (orientación, tiempo de curado, capas), los factores y niveles a utilizar la metodología MSR.
- Establecer las propiedades mecánicas del material a través de ensayos a flexión, tracción e impacto según las normas ASTM (Tracción; ASTM D3039, Flexión; ASTM D7264, Impacto; ASTM D5628).
- Analizar el comportamiento mecánico del material compuesto.

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Diagrama de flujo del trabajo experimental

A continuación, se presenta un diagrama de procesos el cual detalla de manera específica y detallada cada una de las actividades más importantes dentro del trabajo experimental.



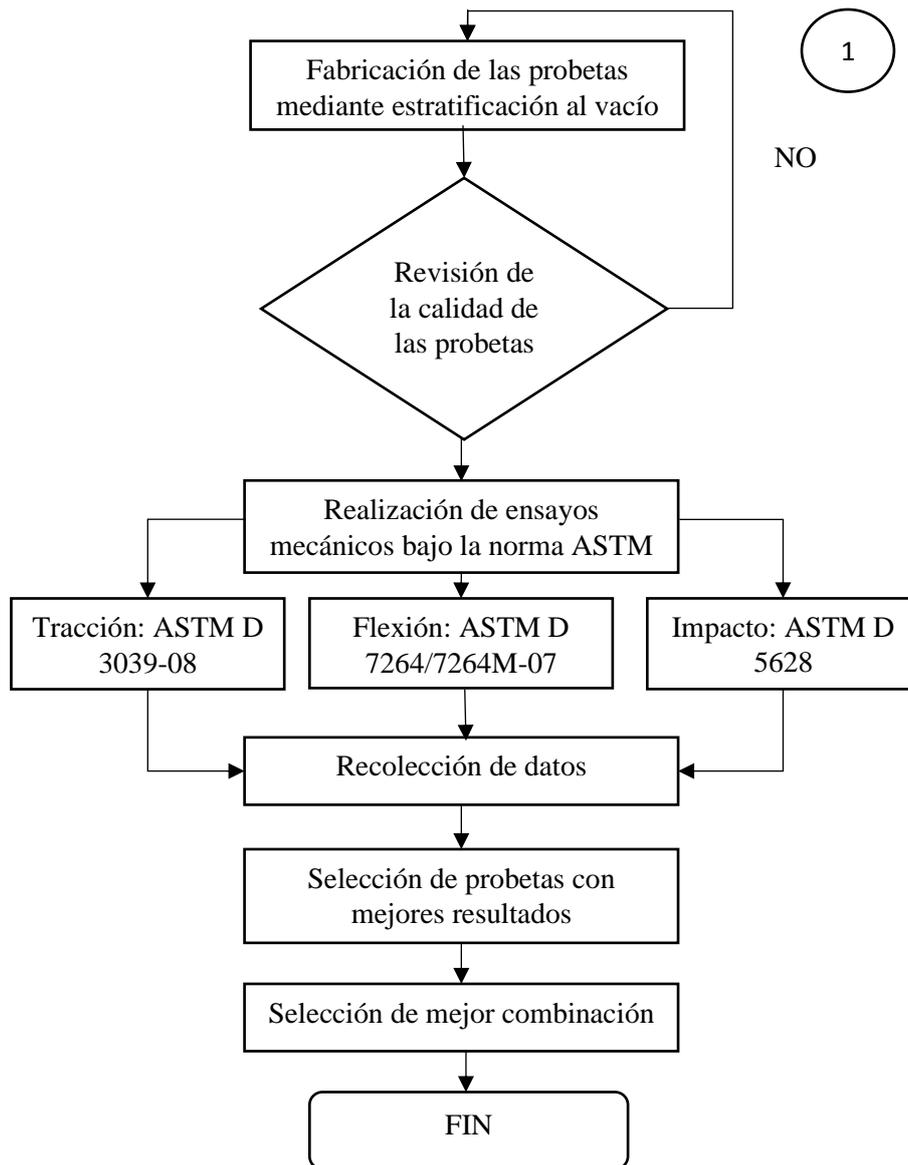


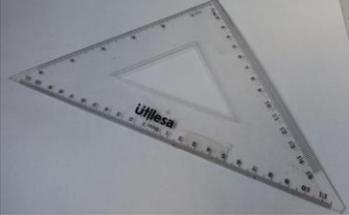
Figura 2.1: Diagrama de flujo del trabajo experimental [Autor].

2.2. Materiales

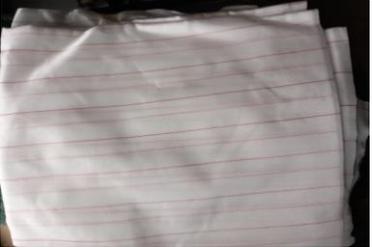
En la siguiente tabla se muestran todos los materiales utilizados para la elaboración de las probetas mediante estratificación al vacío.

Tabla 2.1: Materiales utilizados en la elaboración de las probetas [Autor].

Denominación	Especificación	Ilustración
Fibra de chambira	La fibra de chambira es obtenida de las zonas húmedas de la provincia de Pastaza.	

Cinta masking	Permite adherir el tejido de chambira a la mesa de materiales.	
Marcador	Sirve para trazar las medidas, que posteriormente son cortadas.	
Tijera	Permite cortar en pedazos más pequeños el tejido de chambira.	
Regla	Sirve para medir los pedazos en los cuales se corta el tejido.	
Estilete	Permite cortar en pedazos más pequeños el tejido de chambira.	
Lija	Sirve para limpiar la superficie de la mesa de materiales.	

Guaípe	Sirve para limpiar la superficie de la mesa de materiales.	
Thinner	Sirve para limpiar la superficie de la mesa de materiales.	
Cera desmoldante	Permite el fácil desmoldeo de los trozos de tejido junto con resina.	
Balanza digital	Permite el pesado de la fibra de chambira y la resina.	
Resina epoxi	Marca: Aero epoxi Resina PR2032 $\rho = 1.16 \text{ g/cm}^3$	

Catalizador	Endurecedor PH3660	
Recipiente plástico	Sirve para mezclar la resina con el catalizador.	
Palo de madera	Sirve para mezclar la resina con el catalizador.	
Guantes quirúrgicos	Permite la protección de las manos al tener contacto con la resina.	
Paletas plásticas	Sirve para esparcir la resina por toda la capa de chambira.	
Peel ply	Tela desmoldante que permite que la resina no se adhiera al tener contacto consigo misma.	

Manta de absorción	Tela que permite absorber la resina excedente.	
Butilo	Cinta que permite adherir el plástico de enfundado a una superficie plana, con la finalidad de evitar fugas.	
Bolsa de vacío	Bolsa que permite succionar el aire interior hasta dejarlo completamente vacío.	
Válvulas de vaciado	Sirve para conectar la bomba de vacío a la bolsa de plástico.	
Bomba de vacío	Marca: Viot 2.75 CFM ¼ HP	
Cortadora CNC	Permite cortar las capas en probetas más pequeñas y dimensionadas mediante la norma ASTM.	

Máquina universal de ensayos a tracción	Permite realizar ensayos de tracción a las probetas.	
Máquina universal de ensayos a flexión	Permite realizar ensayos de flexión a las probetas.	
Máquina tipo caída de masas de impacto	Permite realizar ensayos de impacto a las probetas.	

2.3. Métodos

2.3.1. Niveles de investigación

2.3.1.1. Experimental

La presente investigación es de carácter experimental debido a que los resultados conseguidos serán utilizados como referencia de experimentación para futuros trabajos similares.

2.3.1.2. Descriptiva

Gracias a este tipo de investigación se puede determinar el comportamiento de las distintas probetas del material compuesto al momento de someterlos a los ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto.

2.3.1.3. Bibliográfica

El trabajo investigativo es de tipo bibliográfico ya que para poder elaborar los ensayos se necesita de principios bibliográficos como tesis, artículos científicos, libros y demás documentos que sirvan de base para realizar la investigación.

2.3.2. Población y muestra

2.3.2.1. Población

El trabajo experimental presenta como población la fabricación de probetas las cuales son ensayadas para determinar sus propiedades mecánicas, las probetas están formadas de matriz polimérica (resina epoxi) y como refuerzo la fibra de chambira (*Astrocaryum*), el refuerzo que corresponde a la fibra natural está configurado en un tejido plano, las probetas están constituidas por dos capas de diferente orientación según especificaciones del MSR. La realización de las probetas será a través de estratificación al vacío en una superficie de 150x210 mm, mientras que el espesor será de acuerdo al número de capas de refuerzo y cantidad de matriz.

2.3.2.2. Muestra

En el presente trabajo experimental la muestra está basada en la aplicación del diseño experimental (DOE), dirigido al Método de Superficie de Repuesta de Box-Behnken el mismo que permitirá analizar la influencia de la resistencia mecánica en el material compuesto.

La matriz de diseño experimental mediante el MSR está formada tomando en cuenta factores como la orientación y la temperatura de curado, en este caso como es a temperatura ambiente se tomará en cuenta los días de curado, a continuación, se presenta la siguiente tabla con los datos anteriormente mencionados.

Tabla 2.2: Tipos de factores de entrada y niveles [Autor].

Tipo de factores	Factores	Niveles	
	Orientación de la capa 1 (OC1)	Bajo	-45°
		Medio	0°
		Alto	45°

Categoricos o cuantitativos	Orientación de la capa 2 (OC2)	Bajo	-45°
		Medio	0°
		Alto	45°
	Tiempo de curado (Temp. Ambiente)	Bajo	12 días
		Medio	22 días
		Alto	32 días

Para crear el diseño experimental se debe aplicar 3 réplicas, los mismos que determinarán el número total de corridas para el análisis experimental.

Resultado del modelo aplicado por MSR

Se utilizó el diseño de Box-Behnken debido a que hay únicamente factores categóricos o cuantitativos, esto da como resultado 45 corridas experimentales por cada ensayo de tracción, flexión e impacto, también se desea observar puntos medios y centrales para estimar una curvatura en el diseño que permitirá apreciar la variación de las propiedades mecánicas del material compuesto.

En este caso la muestra estimada está basada en aplicar el diseño experimental (DOE), orientado al Método de Superficie de Respuesta de Box-Behnken, el mismo que admitirá analizar la influencia de la resistencia mecánica en el material compuesto.

Para realizar la matriz de diseño experimental se toma en cuenta 3 factores de entrada categóricos y 2 niveles (Orientación de la capa 1 a -45°, orientación de la capa 2 a +45° y el tiempo de curado a temperatura ambiente de 12 y 32 días), como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 2.3: Matriz de diseño experimental [Autor].

Orden Estadístico	Orden Corrida	Tipo Punto	Bloques	OC1 (°)	OC2(°)	Tiempo de curado (días)
39	6	2	1	0	-45	12
24	17	2	1	0	-45	12
9	39	2	1	0	-45	12
5	31	2	1	-45	0	12

20	33	2	1	-45	0	12
35	34	2	1	-45	0	12
6	22	2	1	45	0	12
36	26	2	1	45	0	12
21	44	2	1	45	0	12
10	4	2	1	0	45	12
25	18	2	1	0	45	12
40	37	2	1	0	45	12
31	9	2	1	-45	-45	22
16	12	2	1	-45	-45	22
1	29	2	1	-45	-45	22
2	14	2	1	45	-45	22
17	27	2	1	45	-45	22
32	41	2	1	45	-45	22
29	1	0	1	0	0	22
14	16	0	1	0	0	22
45	19	0	1	0	0	22
15	21	0	1	0	0	22
28	23	0	1	0	0	22
13	28	0	1	0	0	22
30	30	0	1	0	0	22
43	32	0	1	0	0	22
44	45	0	1	0	0	22
18	7	2	1	-45	45	22
3	40	2	1	-45	45	22
33	42	2	1	-45	45	22
34	2	2	1	45	45	22
19	8	2	1	45	45	22
4	13	2	1	45	45	22
41	3	2	1	0	-45	32
11	24	2	1	0	-45	32
26	38	2	1	0	-45	32
22	5	2	1	-45	0	32
37	35	2	1	-45	0	32
7	36	2	1	-45	0	32
8	11	2	1	45	0	32
38	20	2	1	45	0	32
23	43	2	1	45	0	32
12	10	2	1	0	45	32
42	15	2	1	0	45	32
27	25	2	1	0	45	32

Luego de haber generado las posibles combinaciones se puede observar el resumen del diseño de Box-Behnken en el cual se detalla 3 factores, 3 réplicas, 15 corridas base, 45 corridas totales, 1 bloque base, 1 bloque total y 9 puntos centrales.

Tabla 2.4: Combinaciones base para realizar los ensayos mecánicos en el material compuesto (RE+FCH) [Autor].

Combinación	Orientación de las capas (°)		Tiempo de curado (días)	Tipo de ensayo	Cantidad de probetas	Total
	Capa 1	Capa 2				
1	0	-45	12	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
2	-45	0	12	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
3	45	0	12	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
4	0	45	12	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
5	-45	-45	22	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
6	45	-45	22	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
7	0	0	22	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
8	0	0	22	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
9	0	0	22	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
10	-45	45	22	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
11	45	45	22	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
12	0	-45	32	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	

13	-45	0	32	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
14	45	0	32	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
15	0	45	32	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
Total						135

2.3.3. Hipótesis

El diseño experimental bajo el método de superficie de respuesta permitirá optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira.

2.3.4. Señalamiento de variables

2.3.4.1. Variable independiente

Optimización del material compuesto bajo la metodología de superficie de respuesta.

2.3.4.2. Variable dependiente

Propiedades mecánicas del material compuesto.

2.4. Operacionalización de variables

2.4.1. Variable independiente

Tabla 2.5: Variable independiente: Material compuesto [Autor].

Concepto	Categoría	Indicadores	ítem	Herramienta
Material compuesto de matriz polimérica reforzado con	Material Compuesto	Fracción volumétrica	$C.R. = \frac{100}{127} * PF$ $C.E. = \frac{27}{127} * PF$	Referencias bibliográficas Normas ASTM
		Orientación de las capas de la fibra tejida	Bajo: -45° Medio: 0° Alto: 45°	Software estadístico: MSR

fibra de Chambira		Tiempo de curado	12 días 22 días 32 días	Conformado al vacío del composite Registro de datos
----------------------	--	---------------------	-------------------------------	--

2.4.2. Variable dependiente

Tabla 2.6: Variable dependiente: Propiedades mecánicas [Autor].

Concepto	Categoría	Dimensiones	Indicadores	Ítem	Herramientas
La caracterización de los materiales es una forma de obtener las propiedades específicas en un material compuesto ya sean físicas, químicas y mecánicas, esta última se rige bajo norma ASTM	Propiedades mecánicas	Tracción	Carga máxima	¿Cuál es la carga máxima aplicada?	Recolección de datos Maquina universal de tracción Norma ASTM D3039
			Esfuerzo máximo	¿Qué resistencia máxima a la tracción tendrá el material?	
			Módulo de elasticidad	¿Cuál será el módulo de elasticidad?	
			Deformación máxima	¿Cuál será el porcentaje de deformación?	
		Flexión	Carga máxima	¿Cuál es la carga máxima aplicada?	Recolección de datos Maquina universal de flexión Norma ASTM D7264
			Esfuerzo máximo	¿Qué resistencia máxima a la flexión tendrá el material?	
			Módulo de elasticidad	¿Cuál será el módulo de elasticidad?	
			Deflexión máxima	¿Cuál será la deflexión del material?	
	Impacto	Resistencia al impacto (J)	¿Cuál será la resistencia al impacto que soportará el material?	Recolección de datos Equipo de ensayo de impacto con caída dardo Norma ASTM D5628	
	Optimización	Superficie de Respuesta	Valor-p	0 – 1	Software estadístico
			Coficiente de determinación	0 % - 100 %	

2.5. Obtención de la materia prima

La fibra de chambira es obtenida de la región amazónica, por lo que su adquisición fue realizada en la ciudad del Puyo provincia de Pastaza, se compró un total de 4 ovillos de fibra. Posteriormente se realizó el tejido de la fibra en el cantón Salasaca.

La bolsa de vacío, el butilo, la manta de absorción, el peel ply, la resina epoxi y el catalizador fueron conseguidos en la empresa JEV SOLUCIONES EN INGENIERÍA ubicada en la ciudad de Quito provincia de Pichincha.

2.6. Determinación de las propiedades físicas de la fibra de chambira

Mediante un ensayo gravimétrico se obtuvo la densidad de la fibra de chambira.



Figura 2.2: Obtención de la densidad de la fibra de chambira [Autor].

- Pesarse únicamente la fibra o tejido de chambira
- Colocar cierta cantidad de resina epoxi en un vaso de precipitación.
- Sumergir la fibra anteriormente pesada en la resina epoxi.
- Observar el cambio de volúmenes y ver la diferencia existente.

Una vez obtenido el peso y el volumen de la fibra, se procede a calcular la densidad con la siguiente ecuación 2.1.

$$\delta = \frac{m}{v} \quad (\text{Ec 2.1})$$

Donde:

δ = densidad (gr/cm³)

m = masa (gr)

v = volumen (cm³)

Se realizaron 3 mediciones para obtener un valor más exacto tanto con la fibra suelta como la tejida, según investigaciones previas la densidad de la Chambira varía entre 0.87-1.247 gr/cm³, esto determinado mediante un proceso gravitatorio utilizando alcohol isopropílico como líquido de inmersión.

Tabla 2.7: Obtención de la densidad de la fibra de chambira sin tejer, a través del método gravimétrico [Autor].

Densidad de la fibra de chambira (sin tejer)					
Fibra	Masa (g)	Volumen inicial (cm3)	Volumen final (cm3)	Variación de Volumen	Densidad (g/cm3)
1	1,8027	148	149,6	1,6	1,127
2	1,7506	115	116,5	1,5	1,167
3	1,1849	150	151,05	1,05	1,128
Densidad promedio (g/cm3)					1,141

Tabla 2.8: Obtención de la densidad de la fibra de chambira tejida, a través del método gravimétrico [Autor].

Densidad de la fibra de chambira (tejido)					
Tejido	Masa (g)	Volumen inicial (cm3)	Volumen final (cm3)	Variación de Volumen	Densidad (g/cm3)
1	13,35	150	164	14	0,954
2	12,9	150	165	15	0,860
3	14,05	150	165	15	0,937
Densidad promedio (g/cm3)					0,917

La densidad obtenida de la fibra de chambira sin tejer es de 1.141 g/cm³, mientras tanto la densidad de la fibra tejida es 0.917 g/cm³, debido a esto se calculó un promedio entre ambas densidades dando como resultado 1.029 g/cm³, dicho valor será utilizado para cálculos posteriores.

Dimensiones de las probetas a ensayar

Probeta para ensayo a tracción

Las medidas de las probetas a tracción fueron determinadas mediante la Norma ASTM 3039-00, en la siguiente figura 2.28 se muestra las dimensiones.

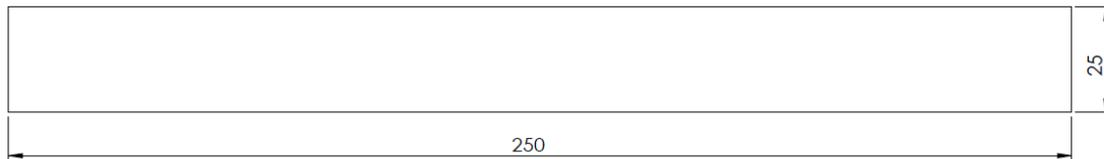


Figura 2.3: Dimensión probeta de tracción [Autor].

El espesor de la probeta debido a las dos capas de fibra de chambira junto con la resina epoxi dio un aproximado de 1.5mm.

A continuación, se procede a calcular el área y volumen de la probeta a tracción.

- Área

$$A = b * h$$

$$A = 250 * 25$$

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

- Volumen

$$V = A * e$$

$$V = 6250 * 1.5$$

$$V = 9375 \text{ mm}^3$$

Donde:

A= área de la probeta

b= base de la probeta

a= altura de la probeta

V= volumen de la probeta

Probeta para ensayo a flexión

Las medidas de las probetas a flexión fueron determinadas mediante la Norma ASTM 7264-07, en la siguiente figura 2.29 se muestra las dimensiones.

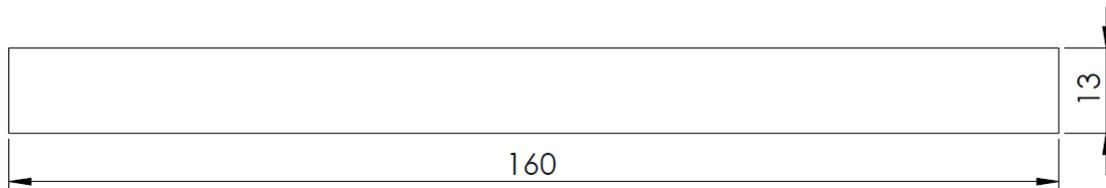


Figura 2.4: Dimensión probeta de flexión [Autor].

El espesor de la probeta debido a las dos capas de fibra de chambira junto con la resina epoxi dio un aproximado de 1.5mm.

A continuación, se procede a calcular el área y volumen de la probeta a flexión.

- Área

$$A = b * h$$

$$A = 160 * 13$$

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

- Volumen

$$V = A * e$$

$$V = 2080 * 1.5$$

$$V = 3120 \text{ mm}^3$$

Donde:

A= área de la probeta

b= base de la probeta

a= altura de la probeta

V= volumen de la probeta

Probeta para ensayo de impacto

Las medidas de las probetas de impacto fueron determinadas mediante la Norma ASTM D5628-10, en la siguiente figura 2.30 se muestra las dimensiones.

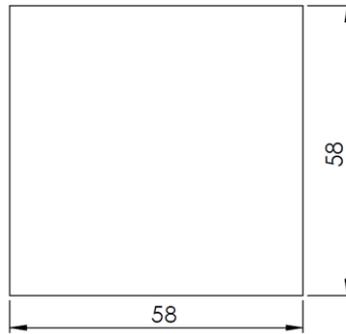


Figura 2.5: Probeta para ensayo de impacto [Autor].

El espesor de la probeta debido a las dos capas de fibra de chambira junto con la resina epoxi dio un aproximado de 1.5mm.

A continuación, se procede a calcular el área y volumen de la probeta a flexión.

- Área

$$\begin{aligned}
 A &= l * l \\
 A &= 58 * 58 \\
 A &= 3364 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- Volumen

$$\begin{aligned}
 V &= A * e \\
 V &= 3364 * 1.5 \\
 V &= 5046 \text{ mm}^3
 \end{aligned}$$

Donde:

A= área de la probeta

l= base de la probeta

V= volumen de la probeta

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

La cantidad de resina y endurecedor a utilizar serán determinadas mediante las siguientes ecuaciones.

$$C.R. = \frac{100}{127} * P.F. \tag{Ec 2.2}$$

$$C.E. = \frac{27}{127} * P.F. \tag{Ec 2.3}$$

Donde:

C.R.= cantidad de resina (g)

C.E.= cantidad de endurecedor (g)

P.F.= peso de la fibra (g)

Una vez aplicadas las fórmulas mencionadas, se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 2.9: Cantidades de resina y endurecedor [Autor].

Combinación	Refuerzo	Orientación de las capas (°)		Tiempo de curado (días)	Peso de la fibra (g)	Cantidad de resina (g)	Cantidad de endurecedor (g)
		Capa 1	Capa 2				
1	FCH	0	-45	12	64,05	50,43	13,62
2	FCH	-45	0	12	61,53	48,45	13,08
3	FCH	45	0	12	61,65	48,54	13,11
4	FCH	0	45	12	63,58	50,06	13,52
5	FCH	-45	-45	22	65,42	51,52	13,91
6	FCH	45	-45	22	60,17	47,38	12,79
7	FCH	0	0	22	65,17	51,31	13,86
8	FCH	0	0	22	62,15	48,94	13,21
9	FCH	0	0	22	65,33	51,44	13,89
10	FCH	-45	45	22	65,03	51,20	13,83
11	FCH	45	45	22	63,84	50,27	13,57
12	FCH	0	-45	32	64,1	50,47	13,63
13	FCH	-45	0	32	57,12	44,98	12,14
14	FCH	45	0	32	65,54	51,61	13,93
15	FCH	0	45	32	64,86	51,07	13,79

FCH: Fibra de chambira

2.6.2. Determinación de la densidad calculada y medida del material compuesto

Tabla 2.10: Densidad de la resina epoxi y fibra de chambira [Autor].

Densidad	g/cm^3
Resina epoxi (AEROPOXY)	1.16
Fibra de chambira	1.029

Ahora se procede a calcular la densidad del material compuesto a través de la siguiente ecuación 2.4.

$$\rho_c = f_f * \rho_f + f_R * \rho_R \quad (\text{Ec 2.4})$$

Donde:

ρ_c : Densidad calculada del material compuesto (g/cm³)

f_f : Fracción volumétrica de la fibra de chambira (%)

ρ_f : Densidad de la fibra de chambira (g/cm³)

f_R : Fracción volumétrica de la resina epoxi (%)

ρ_R : Densidad de la resina epoxi (g/cm³)

Ahora se debe determinar la fracción volumétrica de la fibra de chambira y de la resina epoxi, para ello:

Se determina el peso del material compuesto mediante la ecuación 2.5.

$$P_c = P_f + P_R \quad (\text{Ec 2.5})$$

Donde:

P_c : Peso calculado del material compuesto (g)

P_f : Peso de la fibra de chambira (g)

P_R : Peso de la resina epoxi (g)

Los valores de los pesos de la fibra y resina fueron determinados mediante las ecuaciones 2.2 y 2.3 respectivamente.

Una vez determinado el valor del peso del material compuesto, se procede a calcular las fracciones volumétricas de la fibra de chambira y resina epoxi a través de las siguientes ecuaciones:

$$f_f = \frac{P_f * 100\%}{P_c} \quad (\text{Ec 2.6})$$

$$f_R = \frac{P_R * 100\%}{P_c} \quad (\text{Ec 2.7})$$

Los valores de los pesos de la fibra (P_f) y resina (P_R) están determinados en la tabla 2.9; posteriormente a la obtención de los valores anteriormente mencionados, ahora se puede calcular la densidad para las 15 combinaciones, como se presenta en la siguiente tabla 2.11.

Tabla 2.11: Densidad calculada [Autor].

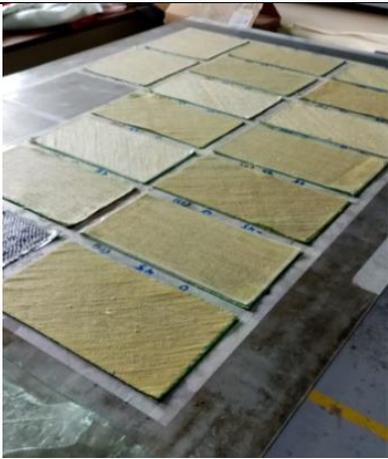
Combinación	Refuerzo	Orientación de las capas (°)		Tiempo de curado (días)	Peso de la fibra (g)	Cantidad de resina (g)	Cantidad de endurecedor (g)	Densidad calculada (g/cm ³)
		Capa 1	Capa 2					
1	FCH	0	-45	12	64,05	50,43	13,62	1,09
2	FCH	-45	0	12	61,53	48,45	13,08	1,09
3	FCH	45	0	12	61,65	48,54	13,11	1,09
4	FCH	0	45	12	63,58	50,06	13,52	1,09
5	FCH	-45	-45	22	65,43	51,52	13,91	1,08
6	FCH	45	-45	22	60,17	47,38	12,79	1,09
7	FCH	0	0	22	65,17	51,31	13,86	1,08
8	FCH	0	0	22	62,15	48,94	13,21	1,09
9	FCH	0	0	22	65,33	51,44	13,89	1,09
10	FCH	-45	45	22	65,03	51,20	13,83	1,09
11	FCH	45	45	22	63,84	50,27	13,57	1,09
12	FCH	0	-45	32	64,10	50,47	13,63	1,09
13	FCH	-45	0	32	57,12	44,98	12,14	1,09
14	FCH	45	0	32	65,54	51,61	13,93	1,09
15	FCH	0	45	32	64,86	51,07	13,79	1,09

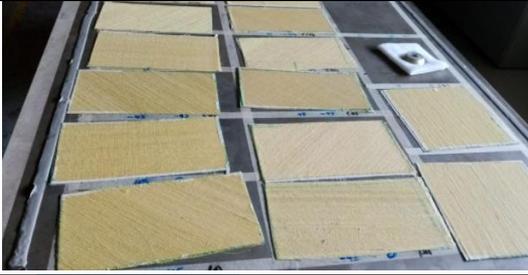
2.6.3. Elaboración de probetas

Tabla 2.12: Proceso de elaboración de las probetas [Autor].

Actividad	Descripción	Figura
1	Realizar un tejido con los ovillos de chambira adquiridos y posicionarlo en un área amplia, limpia y regular.	

2	<p>Asegurar el tejido a la mesa con cinta masking y posterior a ello trazar las medidas de 18x33cm y 27x30cm.</p>	
3	<p>Pegar cinta masking en las líneas por donde se va a realizar los cortes para evitar posibles deshilamientos.</p>	
4	<p>Cortar el tejido para posteriormente llevar los pedazos al área de materiales.</p>	
5	<p>Encerar la mesa con tres capas de cera, para asegurar un buen desmolde.</p>	

6	Prepara la resina según los cálculos previamente realizados.	
7	Colocar la resina en cada uno de los tejidos recortados anteriormente.	
8	Esparcir bien la resina para que las capas tengan una buena adherencia entre sí.	
9	Posicionar cada capa de acuerdo al caso que corresponda.	

10	Colocar la tela peel ply y la tela absorbente sobre las capas.	
11	Pegar el butilo alrededor de las capas para fijar la bolsa de vacío a la mesa.	
12	Eliminar el aire contenido en la bolsa de vacío con la ayuda de la bomba de vacío.	
13 Dejar secar a las capas durante 24 horas, para una mejor fijación.		
14	Desmoldar las capas con precaución para evitar cualquier desperfecto.	
15	Realizar el corte de cada una de las probetas según las normas establecidas para los diferentes tipos de ensayo (tracción, flexión e impacto) mediante una cortadora CNC.	

16	Codificar las probetas de acuerdo al caso al que pertenezca, para tener una mejor identificación de las mismas.	
----	---	--

2.7. Ensayo de materiales

2.7.1. Ensayo de tracción

Esta clase de ensayo se rige bajo la norma ASTM D3039-00 en donde se detalla las dimensiones geométricas y el proceso de cómo realizar el ensayo, en esta ocasión fueron utilizadas 4 probetas por cada caso siendo una de ellas una probeta de prueba para calibrar la máquina, la máquina utilizada para el ensayo a tracción fue una Máquina Universal de Ensayos - WAW600B.



Figura 2.6: Ensayo de tracción [Autor].

Esfuerzo máximo a tracción

Para obtener el esfuerzo máximo se utiliza la ecuación 2.1.

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A} \tag{Ec 2.8}$$

Donde:

$\sigma_{m\acute{a}x}$ = Esfuerzo máximo [MPa]

F= Carga máxima para producir la fractura [N]

A= Área de la sección transversal [mm²]

Porcentaje de deformación

Para medir el alargamiento se utiliza un extensómetro, se calcula por medio de la ecuación 2.2.

$$\epsilon_i = \frac{\delta i}{Lg} \tag{Ec 2.9}$$

Donde:

ϵ_i = Deformación producida en el punto i por tracción

δi = Desplazamiento en el punto i del extensómetro [mm]

Lg= Longitud del extensómetro calibrado [mm]

Módulo de elasticidad

Conocido también como el módulo de Young, se lo calcula utilizando la ecuación 2.4.

$$E = \frac{\sigma_i}{\epsilon_i} \tag{Ec 2.10}$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad

σ_i = Esfuerzo máximo [MPa]

ϵ_i = deformación

Tabla 2.13: Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a tracción según la norma ASTM-3039-00 [ASTM D3039-00].

Nomenclatura de la norma ASTM 3039-00		
Primer Carácter	Segundo Carácter	Tercer Carácter

Modo de fallo	Código	Área de fallo	Código	Localización del fallo	Código
Angular	A	Agarre interior/pestaña	I	Al fondo	B
De laminación del borde	D	Al agarre a la pestaña	A	Parte superior	T
Agarre/pestaña	G	1 W de agarre de pestaña	W	Izquierda	L
Lateral	L	Calibrar	G	Derecha	R
Modo múltiple	M (xyz)	Varias áreas	M	Medio	M
División longitudinal	S	Varios	V	Varios	V
Explosivo	X	Desconocido	U	Desconocido	U
Otro	O	-	-	-	-

2.7.2. Ensayo de flexión

Esta clase de ensayo se rige bajo la norma ASTM D7264-07 en donde se detalla las dimensiones geométricas y el proceso de cómo realizar el ensayo, en esta ocasión fueron utilizadas 4 probetas por cada caso siendo una de ellas una probeta de prueba para calibrar la máquina, la máquina utilizada para el ensayo a flexión fue una Máquina Universal de Ensayos - WAW600B.



Figura 2.7: Ensayo de flexión [Autor].

Esfuerzo máximo a flexión

Las probetas son expuestas a una cierta velocidad, para luego aplicar una carga con la finalidad de obtener una ruptura, consiguiendo así la deflexión máxima que puede aguantar la probeta, para obtener el esfuerzo máximo se utiliza la ecuación 2.5.

$$\sigma_{máx f} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (\text{Ec 2.11})$$

Donde:

$\sigma_{máx f}$ = Esfuerzo producido en la superficie exterior de la probeta [MPa]

P= Carga aplicada [N]

L= Longitud entre apoyos [mm]

b= Ancho de la probeta [mm]

h= Espesor de la probeta [mm]

Deformación de la ruptura

Para medir la deflexión máxima en la superficie exterior de la probeta, se calcula por medio de la ecuación 2.6.

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (\text{Ec 2.12})$$

Donde:

ε = Deformación producida en la superficie exterior

δ = Deflexión de la probeta [mm]

L= Longitud entre apoyos [mm]

h= Espesor de la probeta [mm]

Módulo de flexión

Es obtenido con la relación de la región elástica entre el esfuerzo máximo y la deflexión, se lo calcula utilizando la ecuación 2.7.

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta} \quad (\text{Ec 2.13})$$

Donde:

E_f = Módulo de ruptura en flexión

L= Longitud entre apoyos [mm]

F= Fuerza aplicada [N]

b= Ancho de la probeta [mm]

h= Espesor de la probeta [mm]

δ = Deflexión de la probeta [mm]

Tabla 2.14: Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a flexión según la norma ASTM-D7264-07 [ASTM-D7264-07].

Nomenclatura de la norma ASTM D70264-07					
Primer Carácter		Segundo Carácter		Tercer Carácter	
Modo de fallo	Código	Área de fallo	Código	Localización del fallo	Código
Tensión	T	Punto de carga	A	Parte superior	T
Compresión	C	Entre el punto de carga	B	Fondo	B
Pandeo	B	Entre el punto de carga	S	Parte izquierda	L
Cizallamiento interlaminar	S	Entre el punto de carga y apoyo	L	Parte derecha	R
Multimodo	M (xyz)	Desconocido	U	Mitad	M
-	-	-	-	Varios	V
-	-	-	-	Desconocido	U

2.7.3. Ensayo de impacto

Esta clase de ensayo se rige bajo la norma ASTM D-5628-10 en donde se detalla las dimensiones geométricas y el proceso de cómo realizar el ensayo que consta del descenso del dardo, la masa que debe tener, la altura máxima necesaria para causar la fractura de las probetas, en esta ocasión fueron utilizadas 4 probetas por cada caso siendo una de ellas una probeta de prueba para calibrar la máquina, la máquina utilizada para el ensayo a flexión fue una Máquina tipo caída de masas de impacto en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 2.8: Ensayo de impacto [Autor]

La energía que se absorbe se la calcula a través de la siguiente ecuación 2.8.

$$MEF = hwf \quad (\text{Ec 2.14})$$

Donde:

MEF= Efecto producido por el impacto en la probeta

h= altura de impacto [mm]

w= masa [Kg]

f= factor de conversión 9.80665×10^{-3}

Tabla 2.15: Nomenclatura de tipos de fallo en probetas a impacto según la norma ASTM D5628-10 [ASTM-D5628-10].

Geometría	Dimensiones (mm)		
	Diámetro del dardo	Probeta	Diámetro de probeta
FE	20 ± 0.2	58x58xe	58
Tipo de falla	Carácter de falla		Análisis
A	Fisura producida en la parte frontal de la probeta, puede contener agua.		NO FALLA
B	Grietas que penetran la parte frontal y el espesor, el agua penetra a través de la probeta.		NO FALLA
C	Fractura en varias partes.		FALLA
D	Atraviesa el espesor de la probeta.		FALLA

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1. Análisis e interpretación de resultados

Mediante gráficas de esfuerzo–deformación y gráficas estadísticas del esfuerzo máximo y módulo de elasticidad, se procederá a analizar cada uno de los valores obtenidos en los ensayos realizados a las probetas.

3.1.1. Recolección de datos

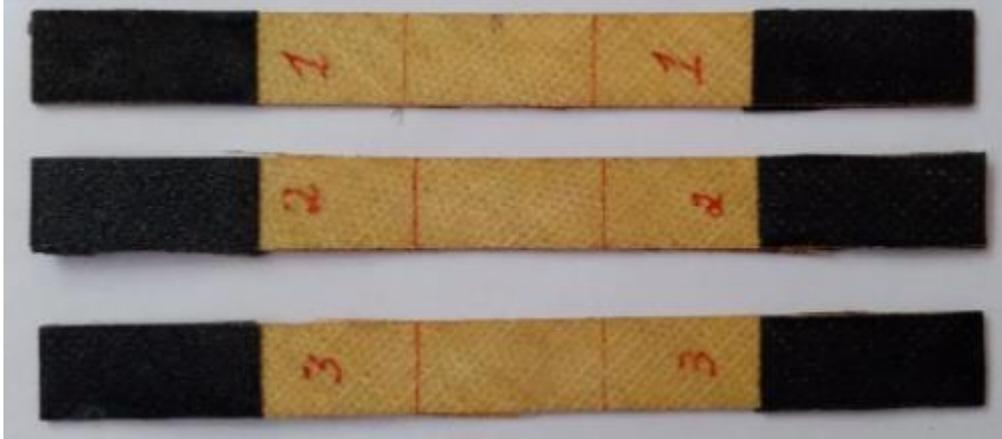
3.1.1.1. Fichas técnicas de ensayo a tracción

Tabla.3.1: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 1 [Autor].

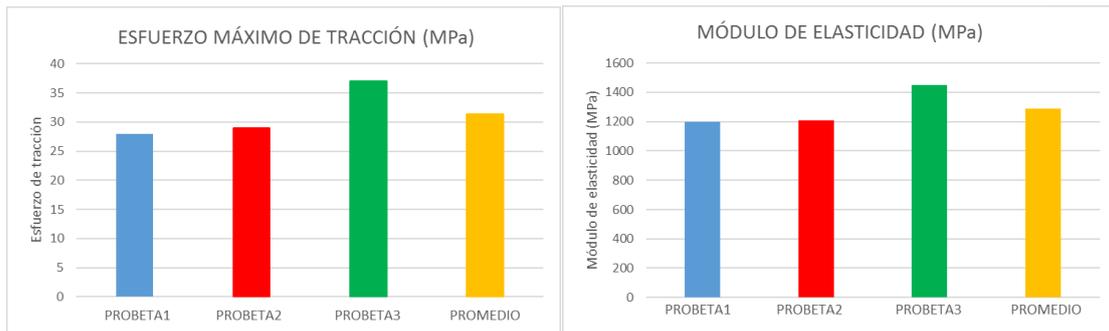
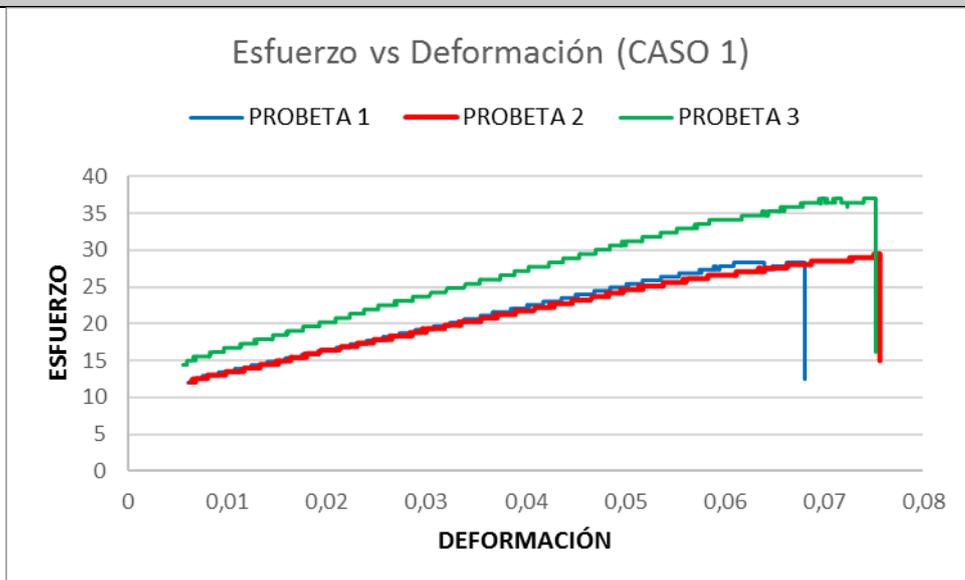
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS						
TRACCIÓN_ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C1/0-45/12-T			
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.9	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de la fibra:	0°,45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.58	
Peso de la fibra:	11.31	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días	
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	1180	14	28	1200	2.5	DGM
2	1220	15	29	1210	2.5	DGM

3	1280	19	37	1450	2	DGM
---	------	----	----	------	---	-----

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIONES

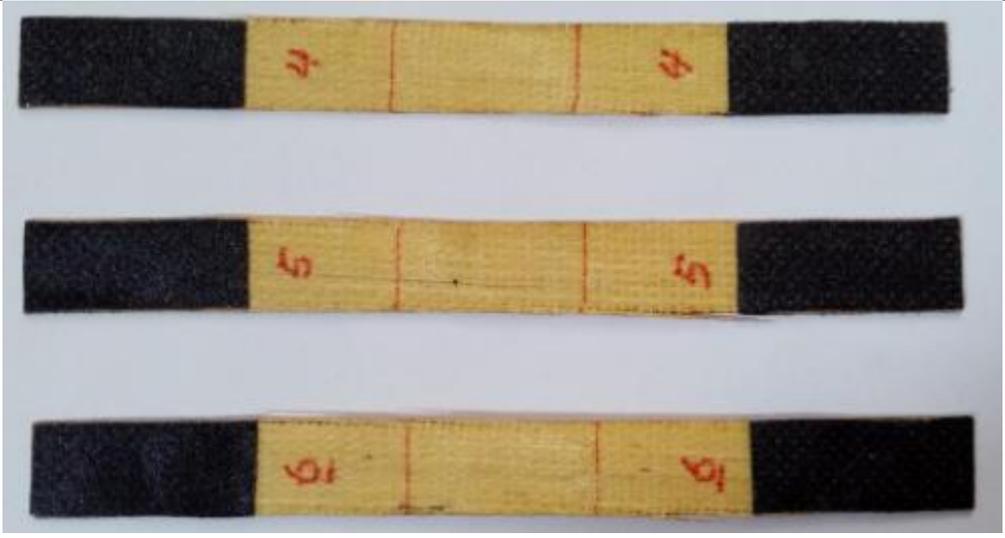
Se ensayaron 3 probetas y todas presentan el tipo de fallo DGM.
El fallo DGM se produce en la parte media de la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	31.33	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	2.33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

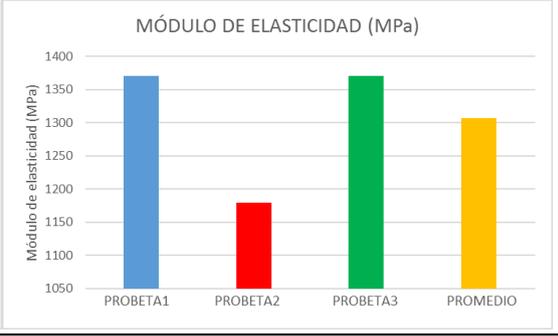
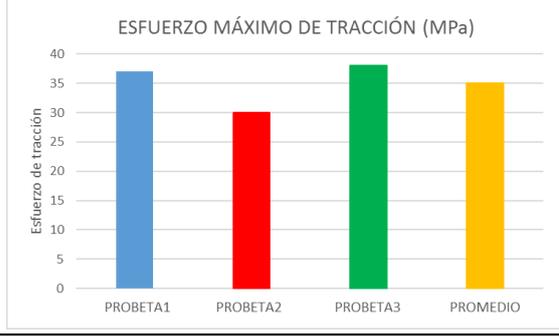
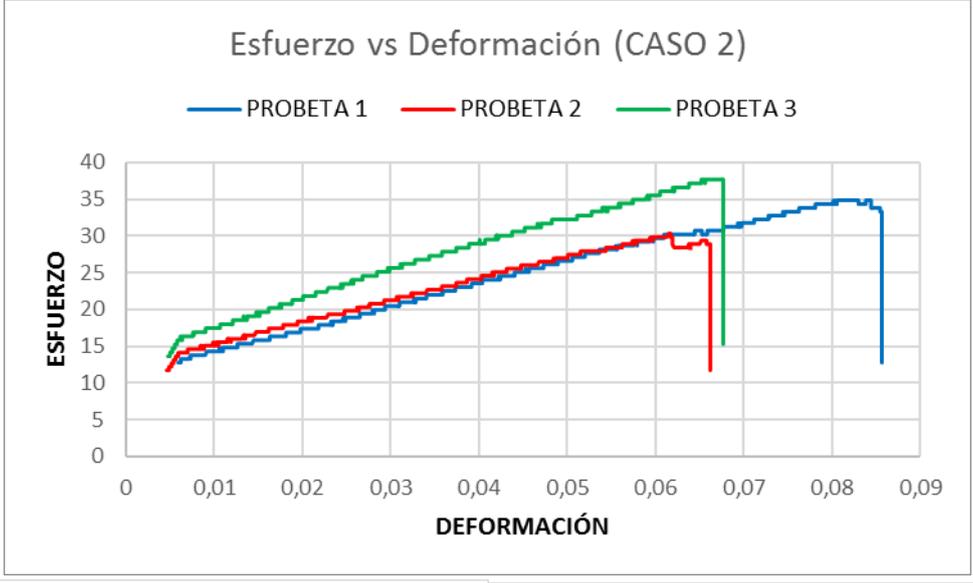
Módulo de elasticidad (MPa):	1286.67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	1226.67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.2: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 2 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C2/-45, 0/12-T				
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.62		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de la fibra:	-45°,0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.55		
Peso de la fibra:	10.79	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días		
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	1360	19	37	1370	1.5	DGM	
2	1280	16	30	1180	1.5	DGM	
3	1380	19	38	1370	1.5	DGM	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRÁFICAS



OBSERVACIONES

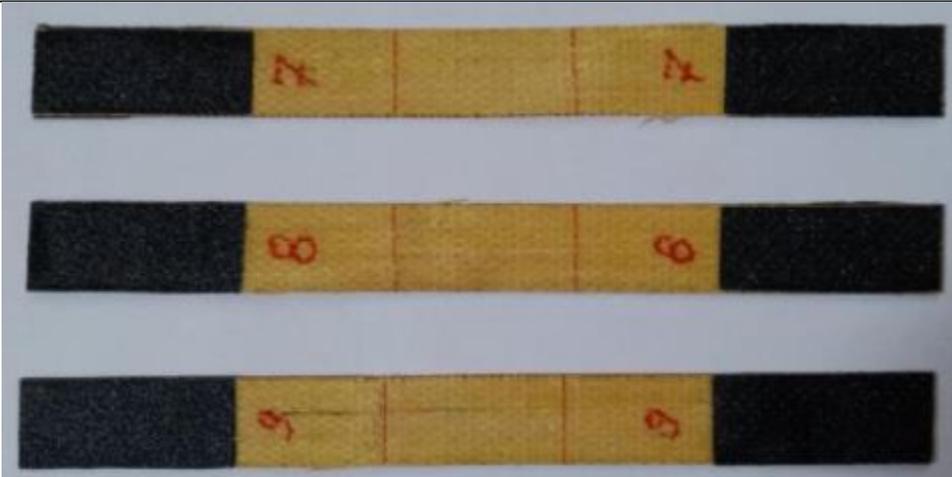
Se ensayaron 3 probetas y todas presentan el tipo de fallo DGM.
 El fallo DGM se produce en la parte media de la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	35	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	1.5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

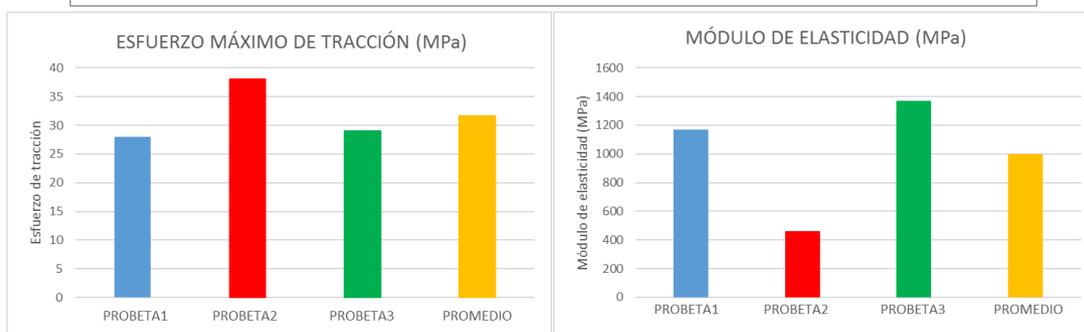
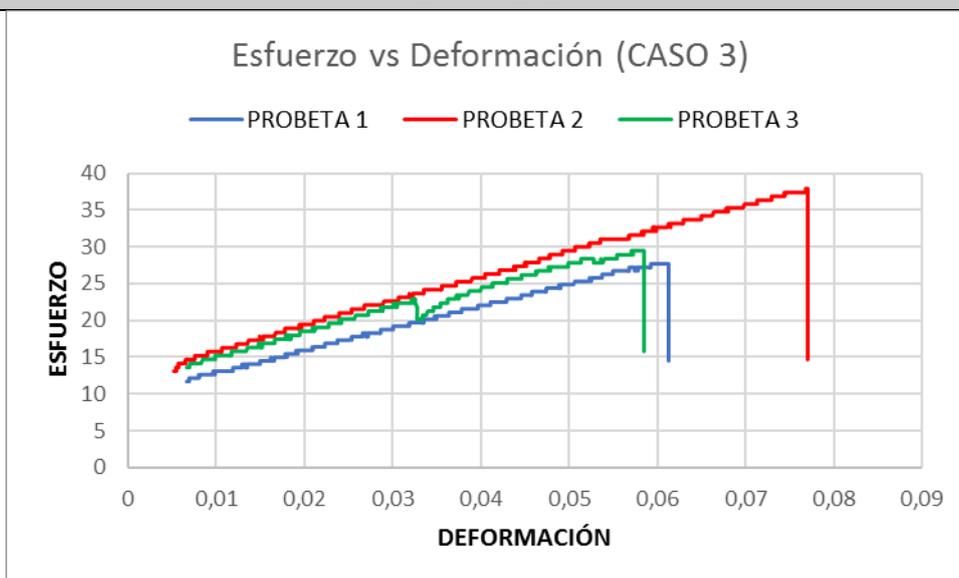
Módulo de elasticidad (MPa):	1306.67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	1340	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.3: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 3 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C3/45, 0/12-T				
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.66		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de la fibra:	45°,0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.58		
Peso de la fibra:	10.79	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días		
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	1180	14	28	1170	0.5	GAT	
2	1440	19	38	460	1	DGM	
3	1080	15	29	1370	0.5	GAT	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRÁFICAS



OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan fallas en las zonas calibrada y agarre a la pestaña.

El fallo GAT se produce en el agarre a la pestaña en la parte superior de la probeta.

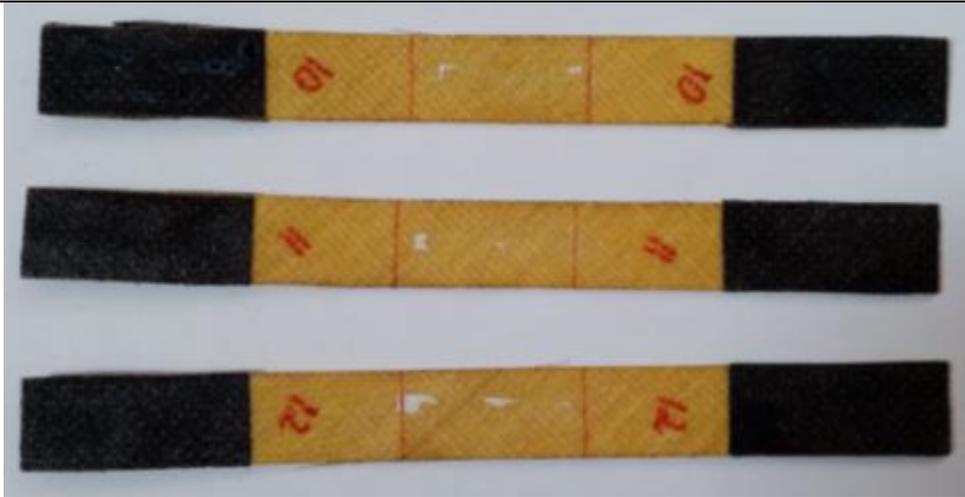
El fallo DGM se produce en la parte media de la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	31.67	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	0.67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

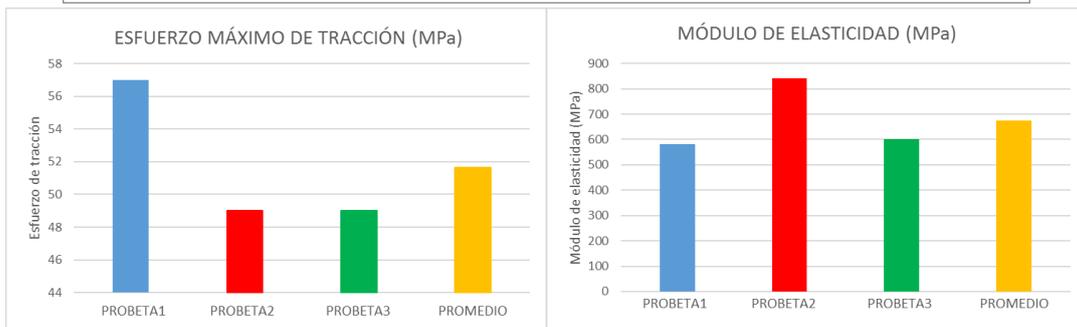
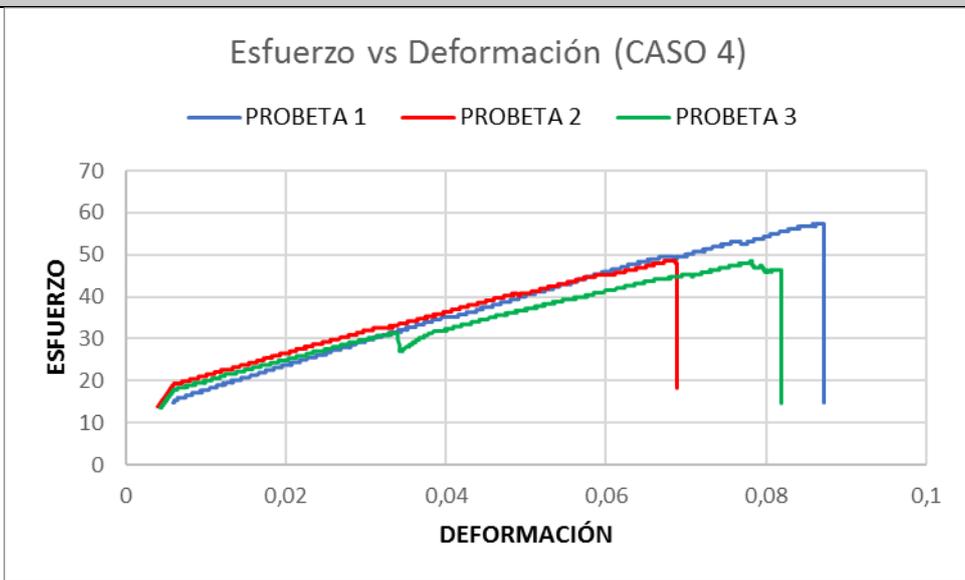
Módulo de elasticidad (MPa):	1000	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	1233.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.4: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 4 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C4/0,45/12-T				
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.65		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de la fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.43		
Peso de la fibra:	11.41	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días		
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	1920	35	57	580	1	GAT	
2	1760	25	49	840	1.5	GAT	
3	1800	25	49	600	1.5	GAT	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRÁFICAS



OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas y todas presentan el tipo de fallo GAT.

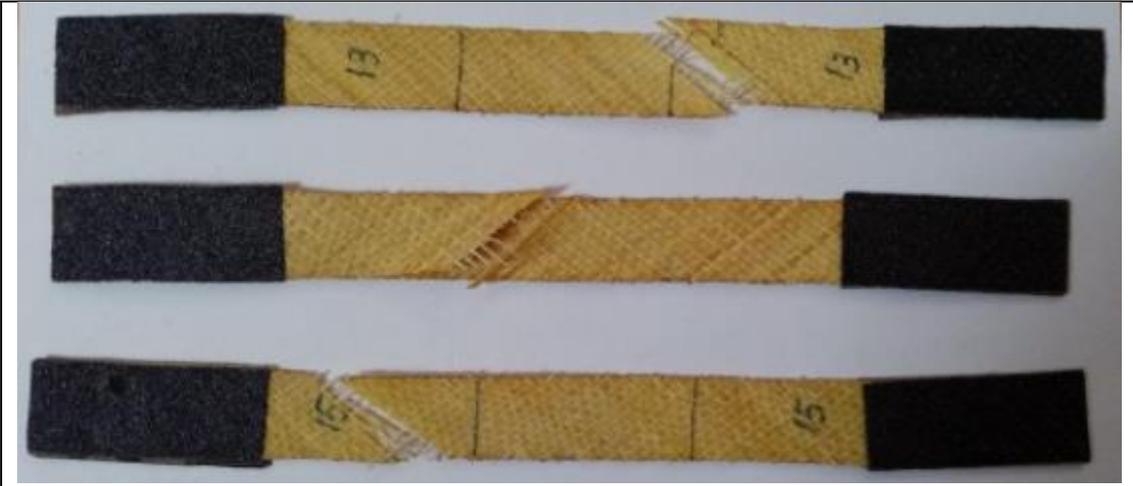
El fallo GAT se produce en el agarre a la pestaña en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	51.67	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	1.33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	673.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

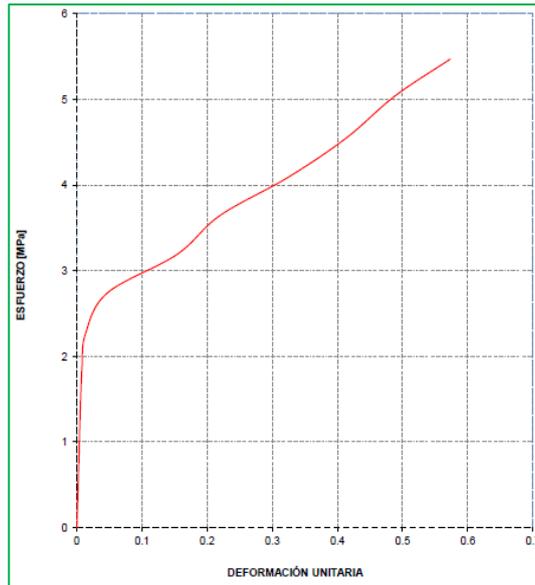
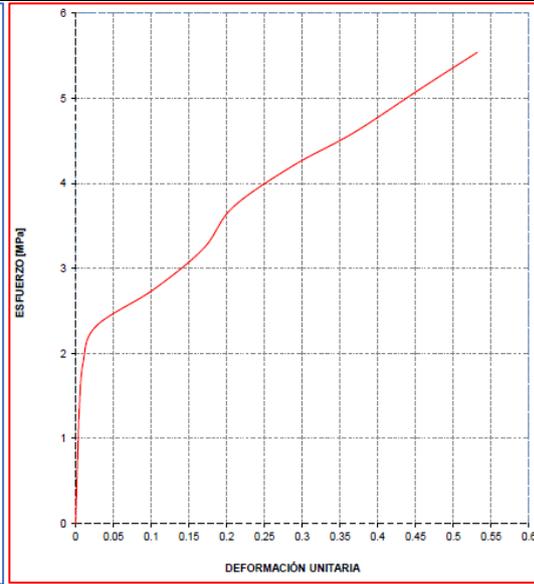
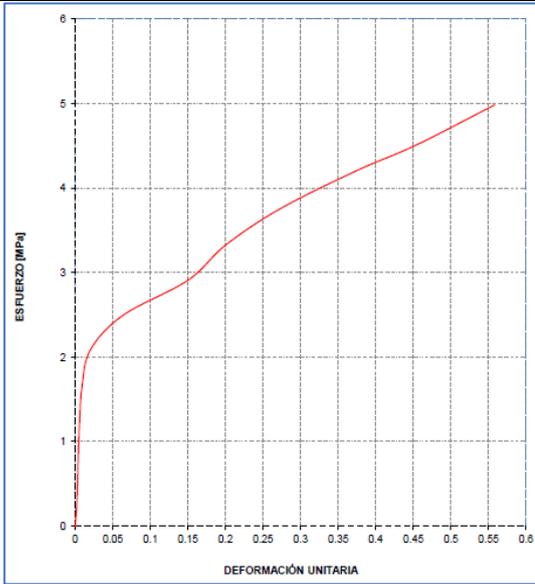
Carga máxima (N):	1826.67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
--------------------------	---------	----------------------	-------------------------------

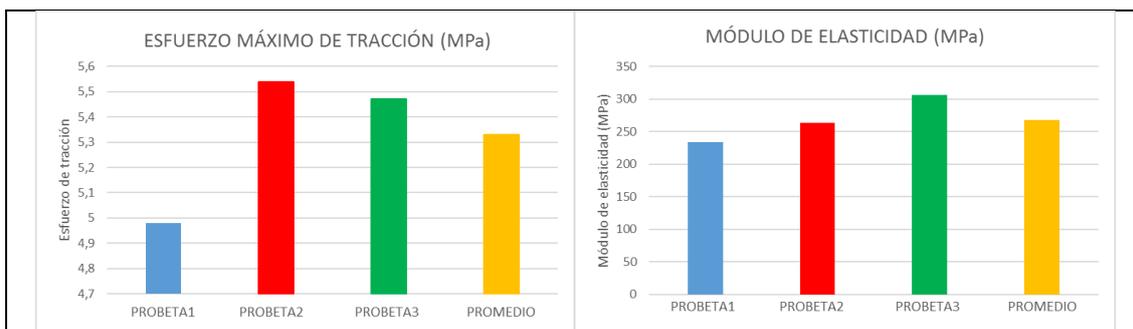
Tabla 3.5: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 5 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C5/-45,-45/22-T			
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.73	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de la fibra:	-45°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.71	
Peso de la fibra:	11.91	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días	
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	220	2.02	4.98	233.3	15.4	LAT
2	230	2.15	5.54	263.9	16.26	XGM
3	230	2.40	5.47	306.4	16.4	LAT
PROBETAS ENSAYADAS						



GRÁFICAS





OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan fallas en las zonas calibrada y la pestaña. El fallo LAT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta. El fallo XGM se produce en la parte media de la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	5.33	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	16.02	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	267.87	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	226.67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.6: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 6 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C6/45,-45/22-T		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.54
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío

Orientación de la fibra:	45°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.49
Peso de la fibra:	10.44	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días

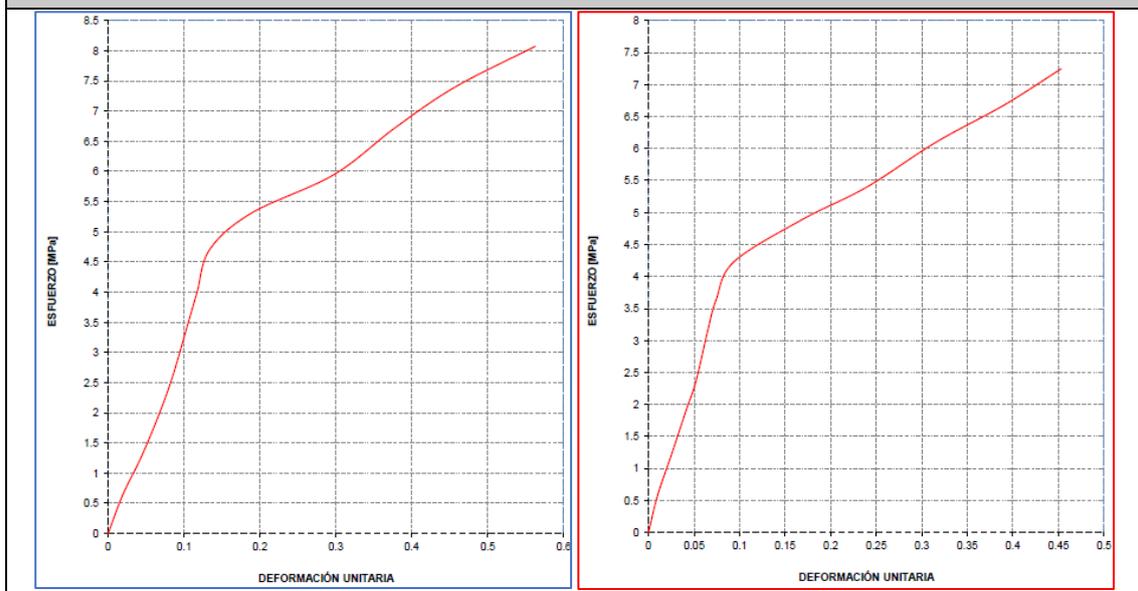
RESULTADOS

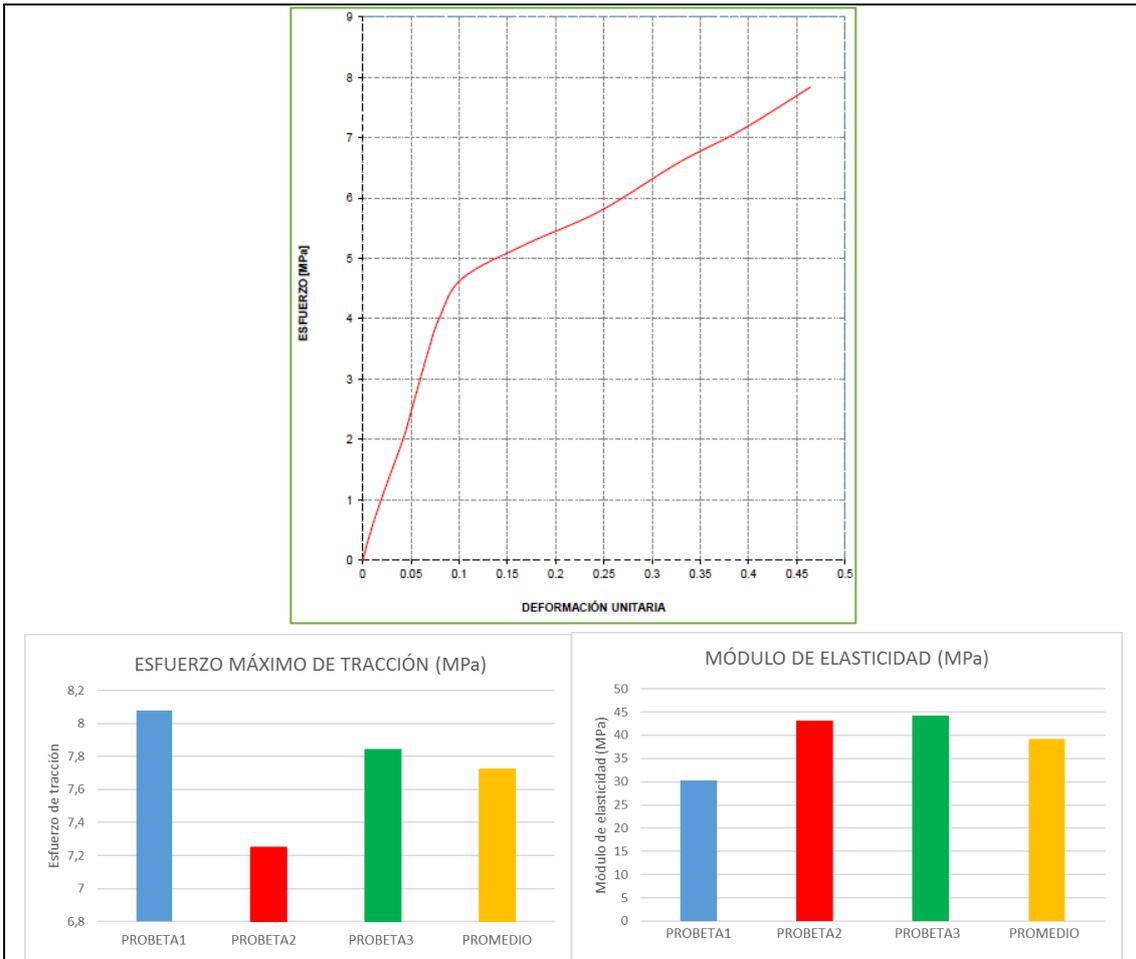
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	280	5.4	8.08	30.31	18.62	LIT
2	280	4.2	7.25	43.13	15.12	LIT
3	290	4.5	7.84	44.21	15.66	LIT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





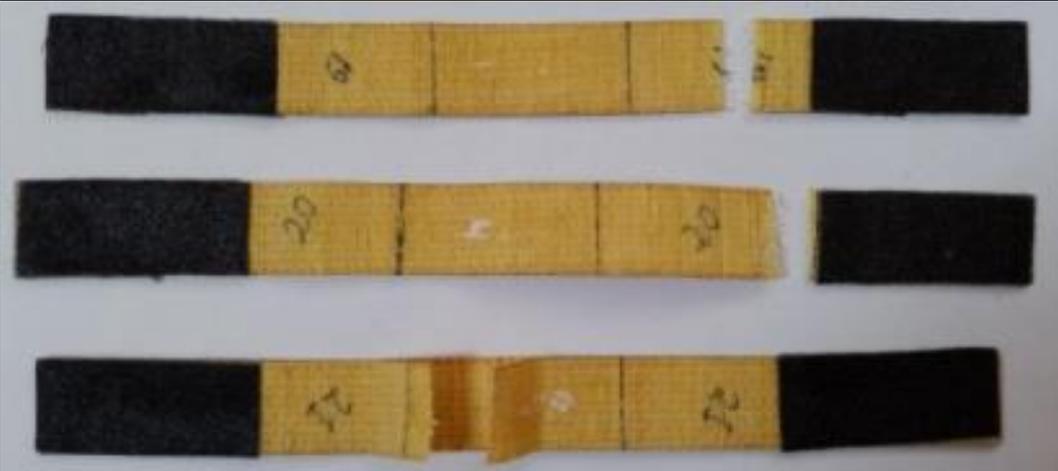
OBSERVACIONES

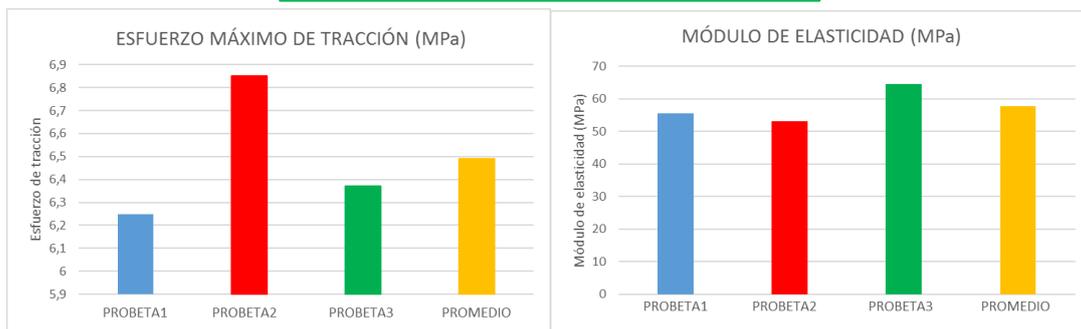
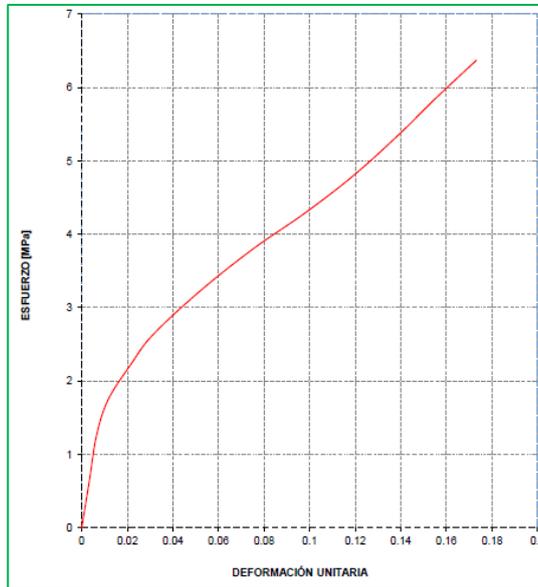
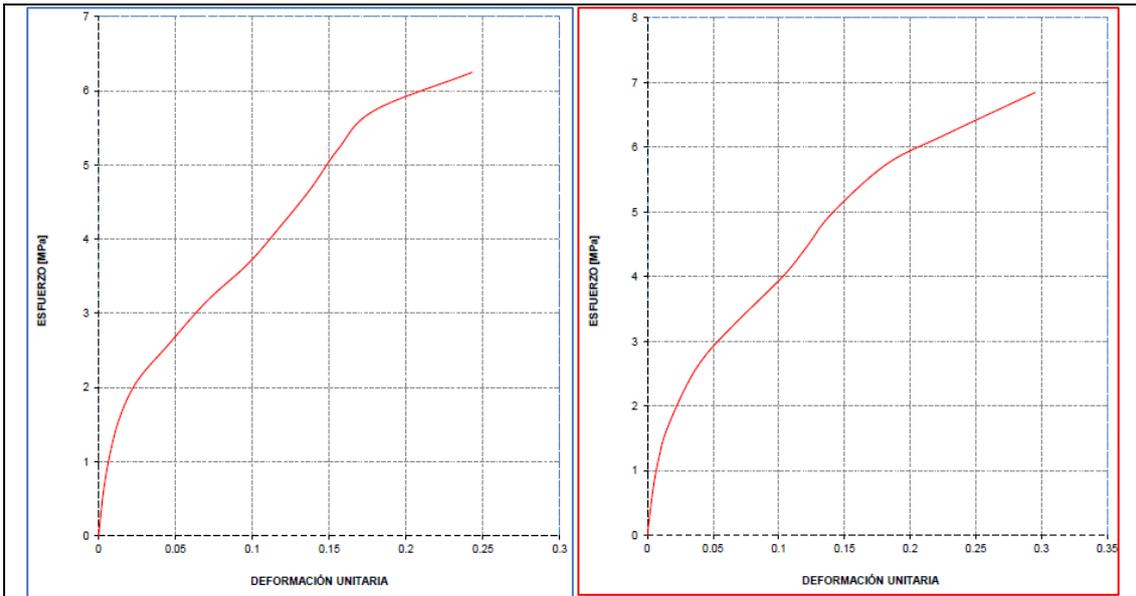
Se ensayaron 3 probetas y todas presentan el tipo de fallo LIT.
 El fallo LIT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	7.72	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	16.47	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	39.22	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	283.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.7: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 7 [Autor].

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS		
TRACCIÓN ASTM D3039		
DATOS INFORMATIVOS		

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C7/0,0/22-T			
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.79	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.59	
Peso de la fibra:	11.78	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días	
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	260	2	6.25	55.44	6.02	LAT
2	270	1.9	6.85	53.11	5.64	LAT
3	240	1.9	6.37	64.43	7.84	XGM
PROBETAS ENSAYADAS						
						
GRÁFICAS						



OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan fallas en las zonas calibrada y al agarre a la pestaña.

El fallo LAT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta.

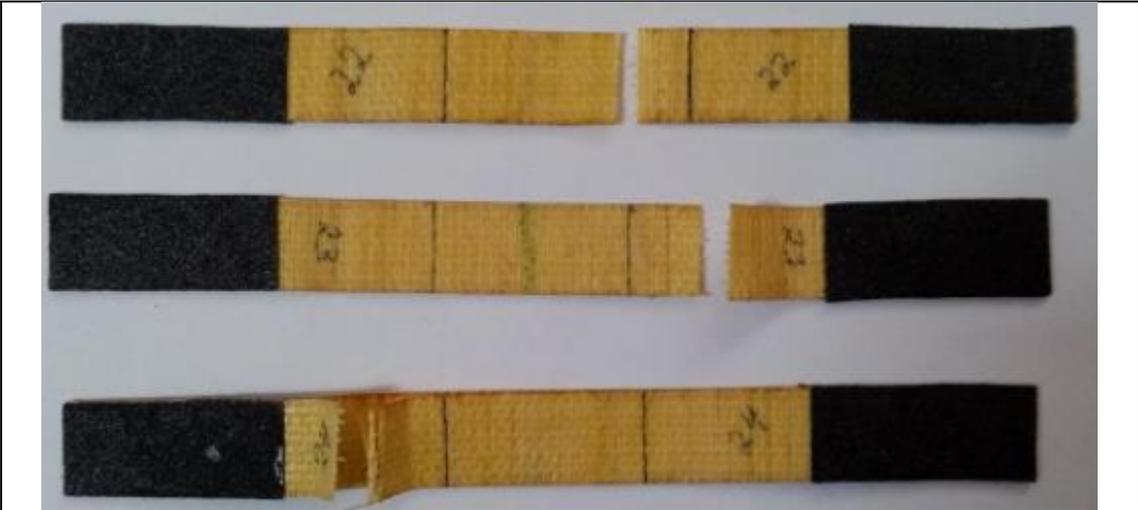
El fallo XGM se produce en la parte media de la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	6.49	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín

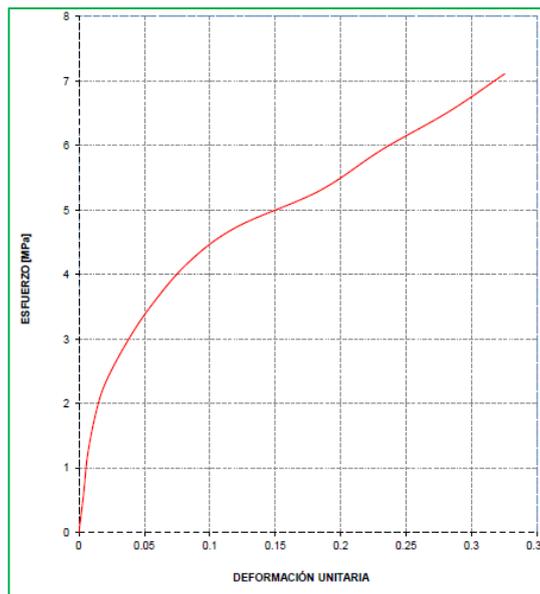
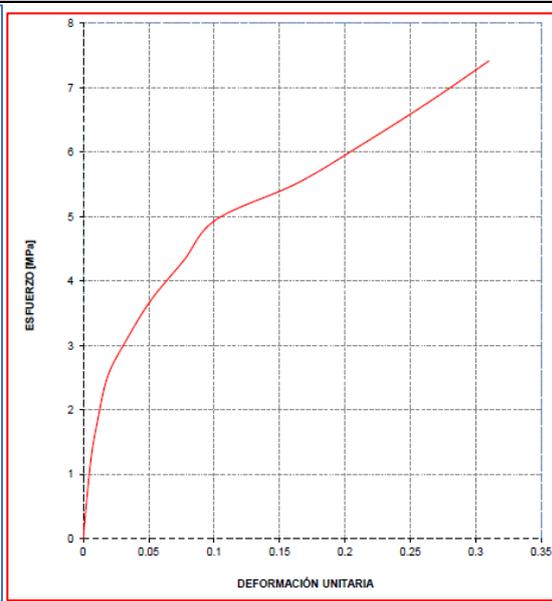
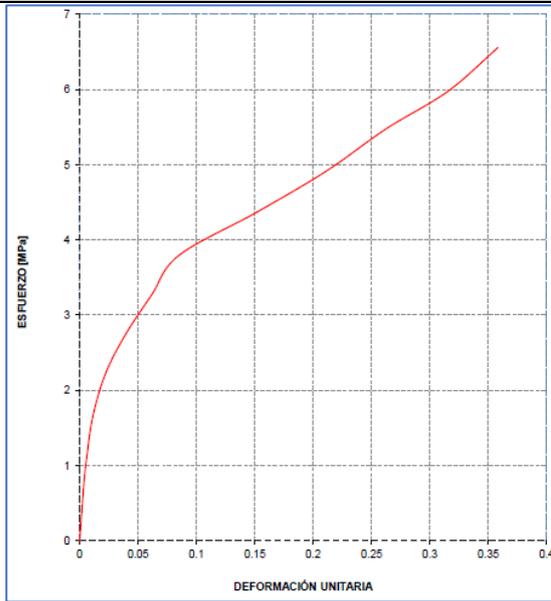
% Elongación:	6.5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	57.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	256.67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.8: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 8 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C8/0,0/22-T				
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.66		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.41		
Peso de la fibra:	10.95	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días		
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	240	2.3	6.56	69.52	5.1	LGM	
2	250	2.5	7.42	99.2	4.62	LGM	
3	250	2.3	7.11	82.01	4.74	LIT	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRÁFICAS



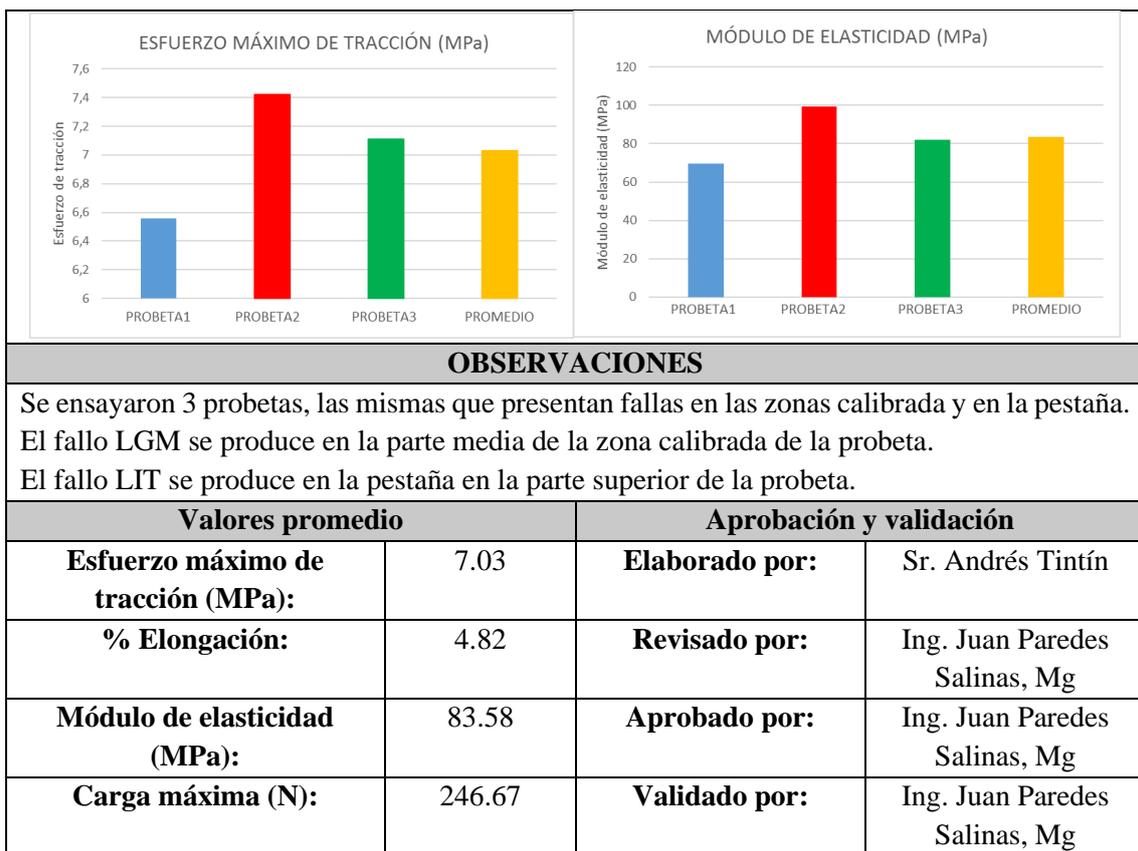


Tabla 3.9: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 9 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C9/0,0/22-T		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	9.45
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío

Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.51
Peso de la fibra:	11.16	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días

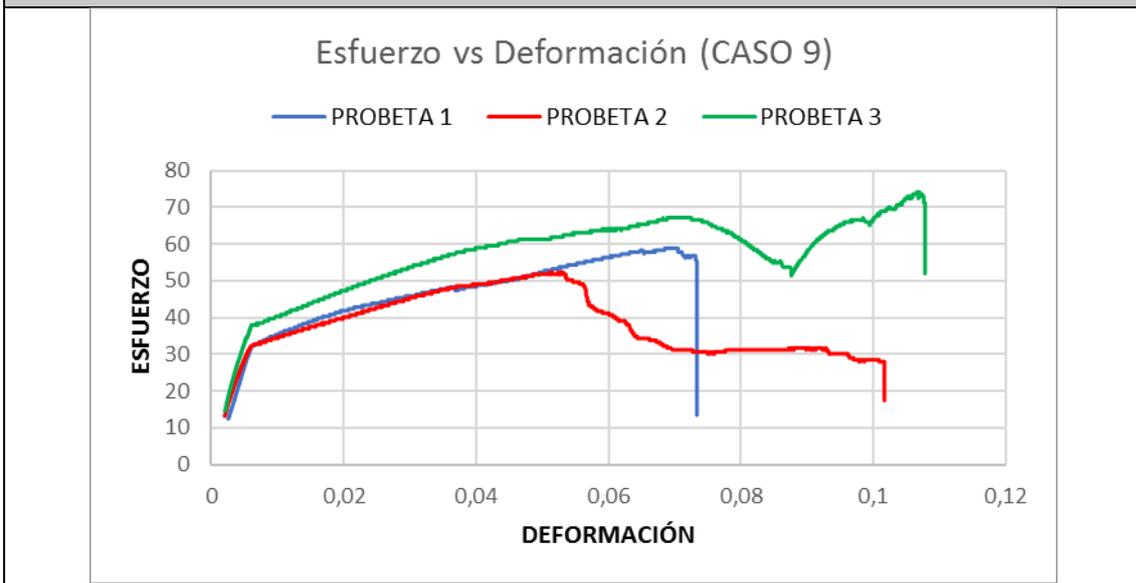
RESULTADOS

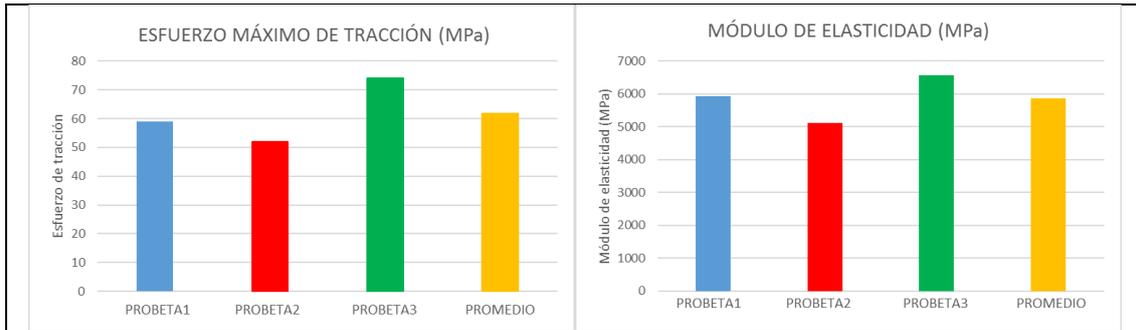
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	2360	34	59	5930	3	DGM
2	1980	33	52	5120	1	LIT
3	2540	39	74	6560	0.5	DGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan fallas en las zonas calibrada y en la pestaña. El fallo DGM se produce en la parte media de la zona calibrada de la probeta. El fallo LIT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	61.67	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	1.5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	5870	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	2293.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.10: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 10 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C10/-45,45/22-T		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.95
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío

Orientación de la fibra:	-45°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.6
Peso de la fibra:	11.56	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días

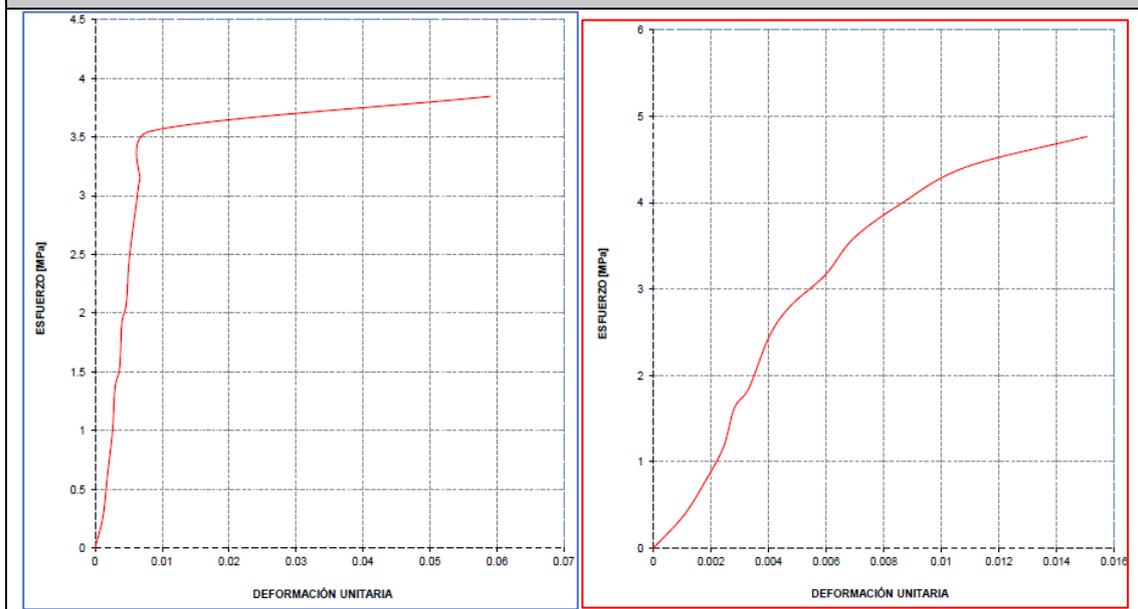
RESULTADOS

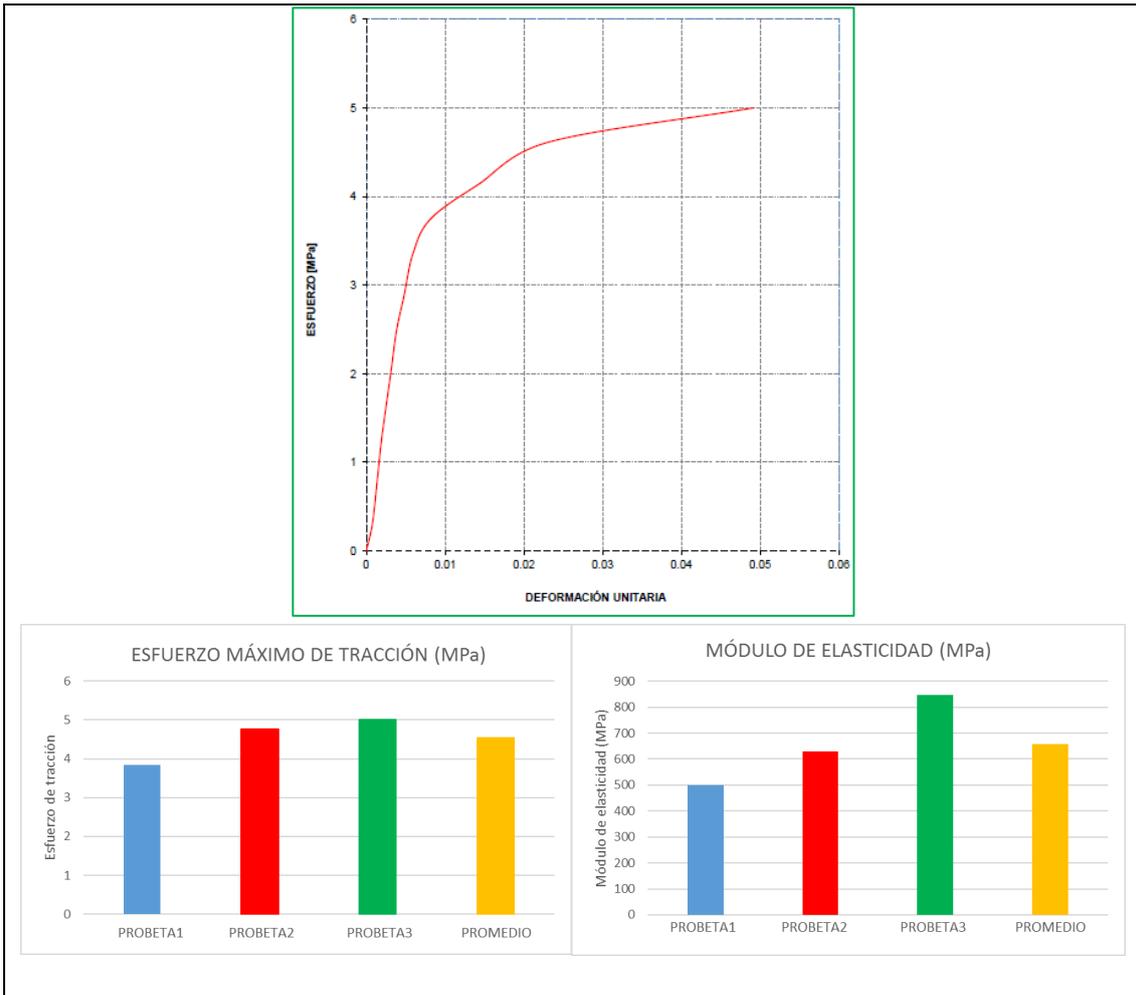
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	160	3.51	3.85	499	1.36	NO FALLA
2	180	2.9	4.77	628.1	0.76	NO FALLA
3	200	3.6	5	846.9	2.36	NO FALLA

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





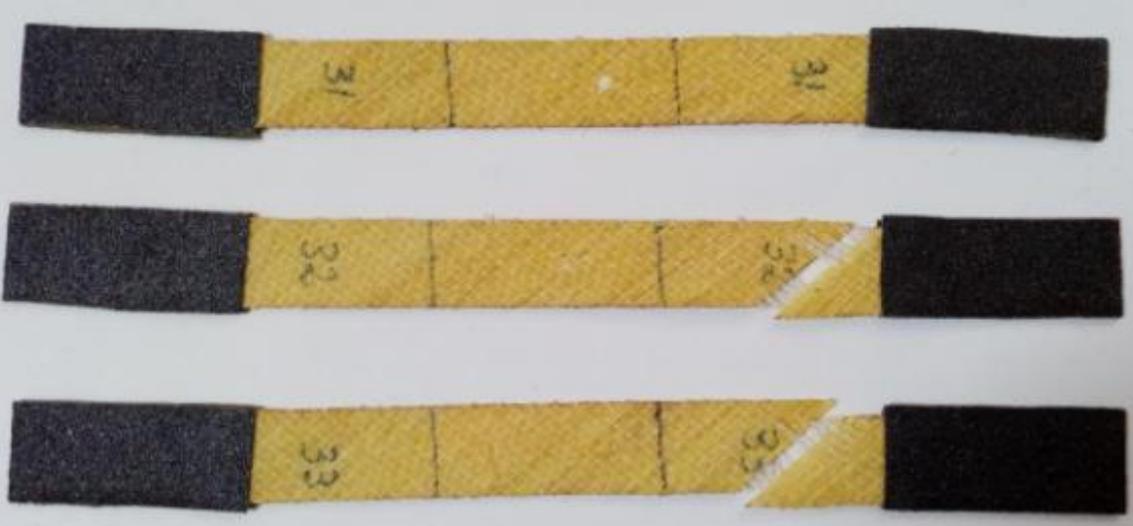
OBSERVACIONES

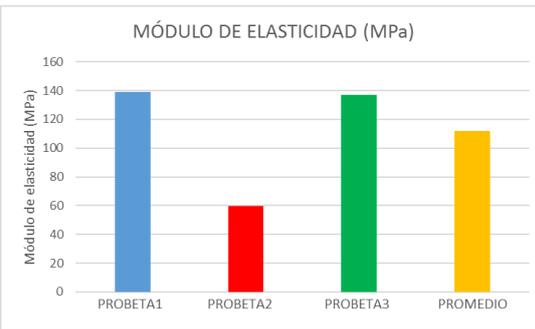
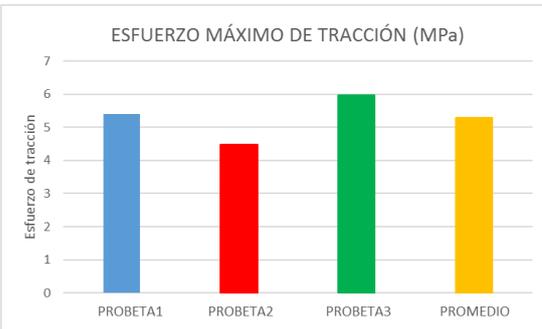
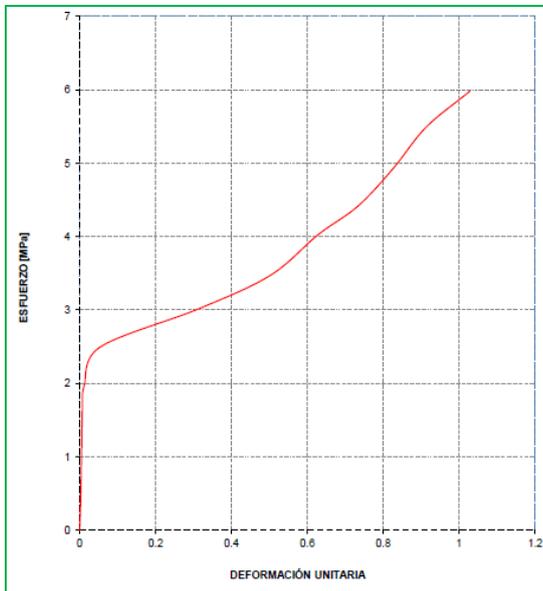
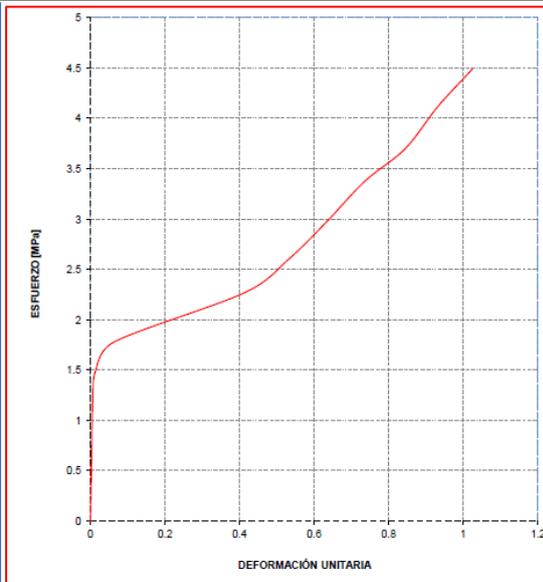
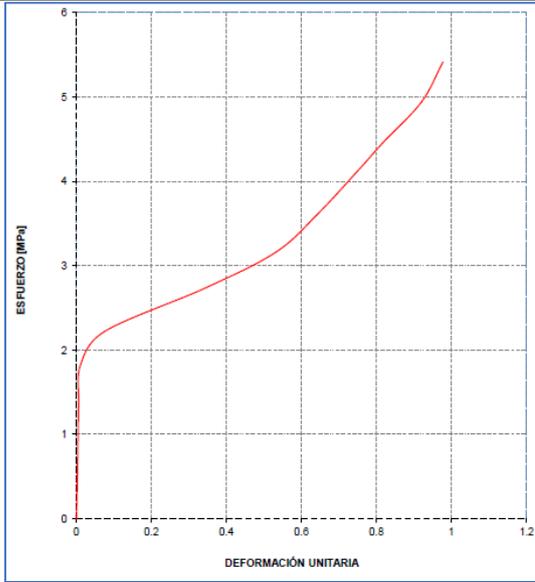
Se ensayaron 3 probetas, de las cuales ninguna presenta alguna falla representativa.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	4.54	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	1.49	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	658	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	180	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.11: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 11 [Autor].

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS TRACCIÓN ASTM D3039 DATOS INFORMATIVOS	

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C11/45,45/22-T			
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8.72	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de la fibra:	45°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.49	
Peso de la fibra:	11.42	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días	
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	200	2	5.41	139.1	16.66	LIT
2	180	1.7	4.49	59.92	15.48	LAT
3	200	2.3	5.98	137	13.78	LAT
PROBETAS ENSAYADAS						
						
GRÁFICAS						



OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan fallas en la zona de agarre a la pestaña.
 El fallo LIT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta.
 El fallo LAT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	5.29	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintún

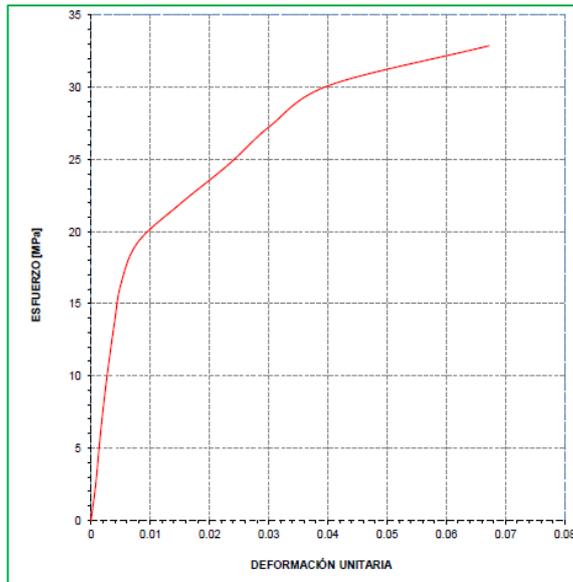
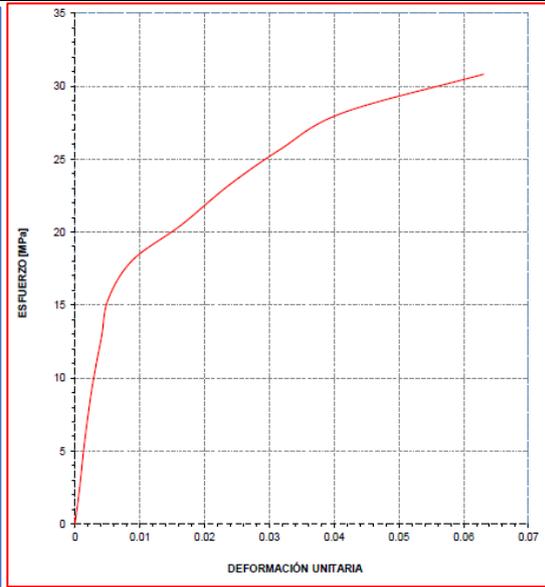
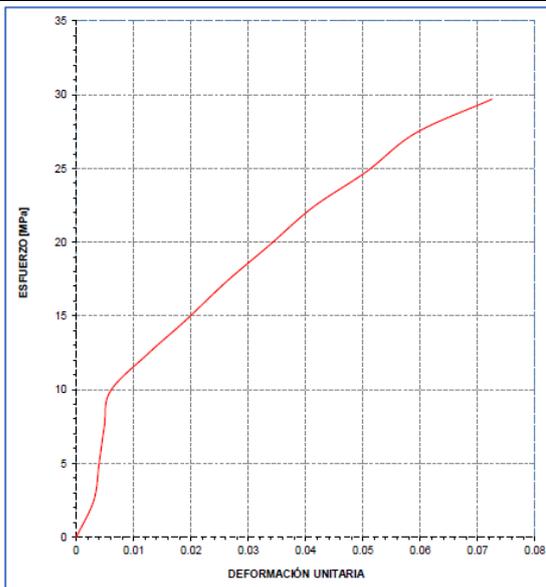
% Elongación:	15.31	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	112.01	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	193.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.12: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 12 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA					
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C12/0,-45/32-T				
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	9.17		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de la fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.47		
Peso de la fibra:	11.05	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días		
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	1040	11.2	29.69	1490	5	DGM	
2	1140	17.3	30.83	3628	2	LIT	
3	1230	19	32.88	3706	1.5	LIT	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRÁFICAS



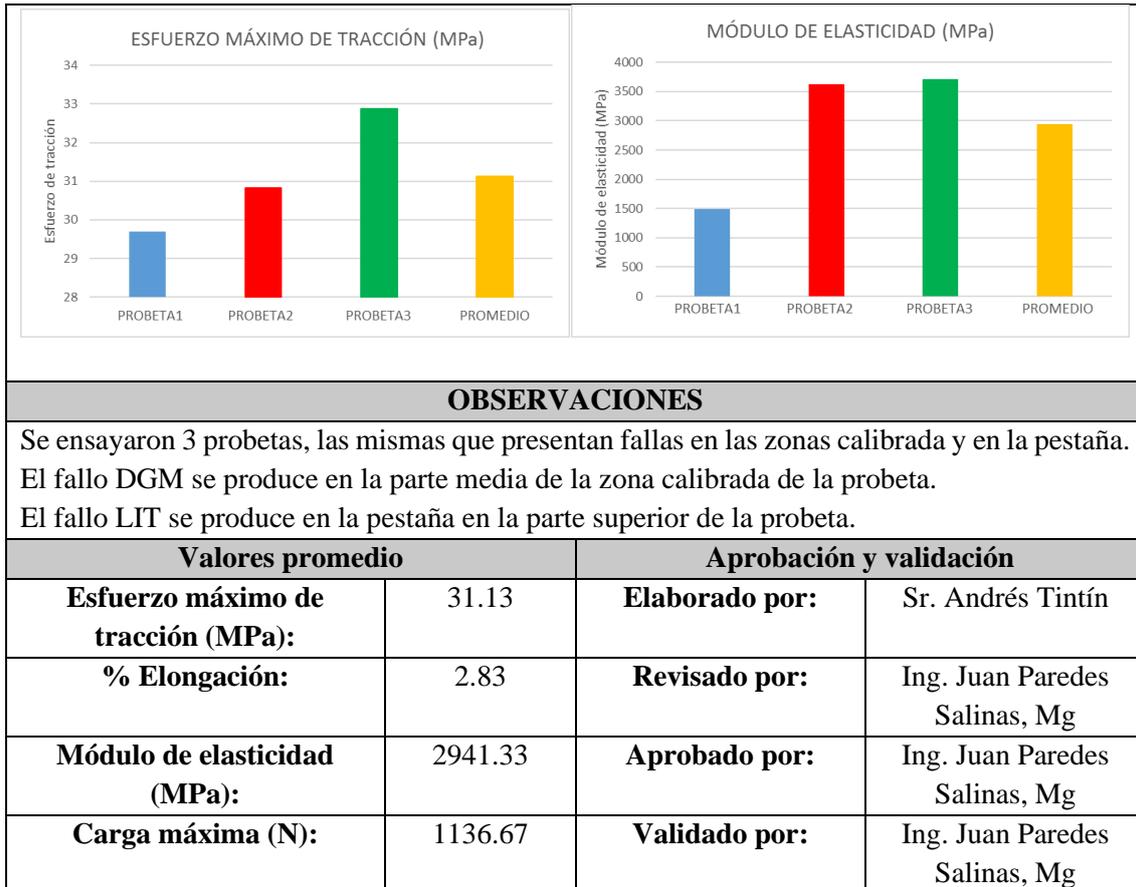


Tabla 3.13: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 13 [Autor].

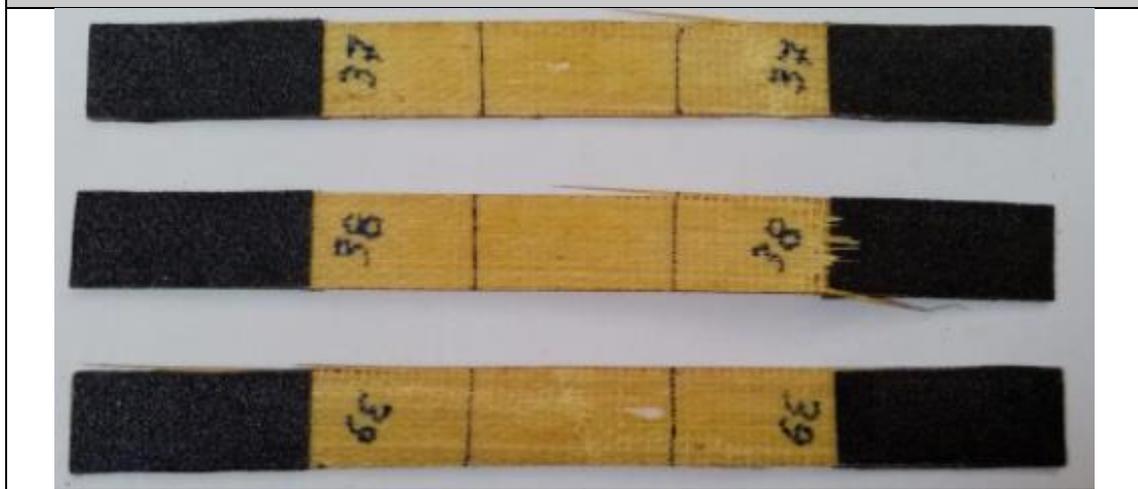
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C13/-45,0/32-T		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	8
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío

Orientación de la fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.53
Peso de la fibra:	10.02	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días

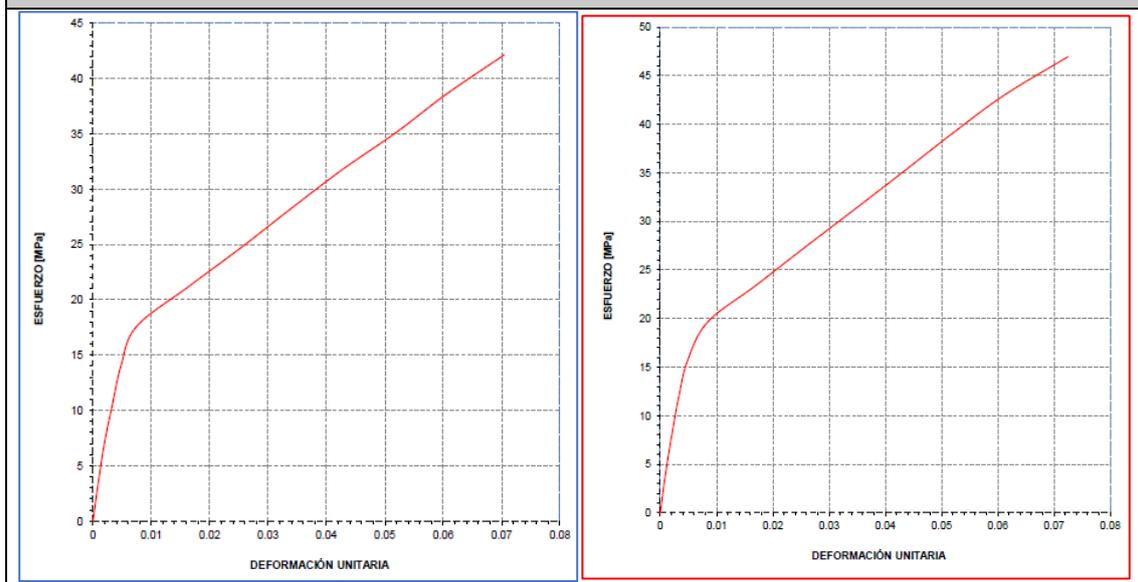
RESULTADOS

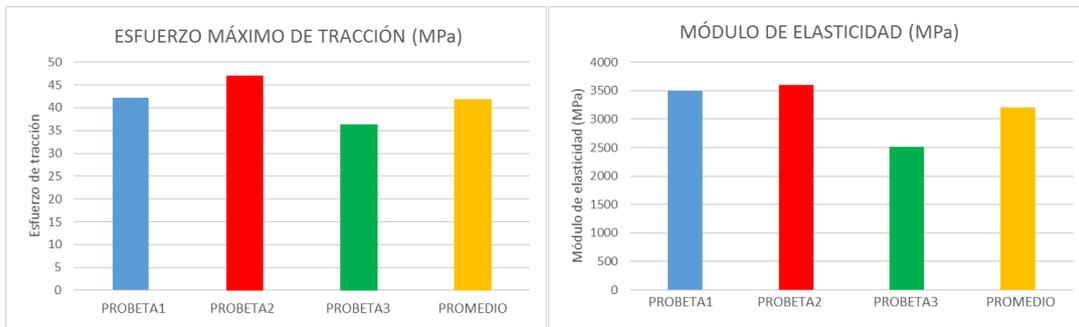
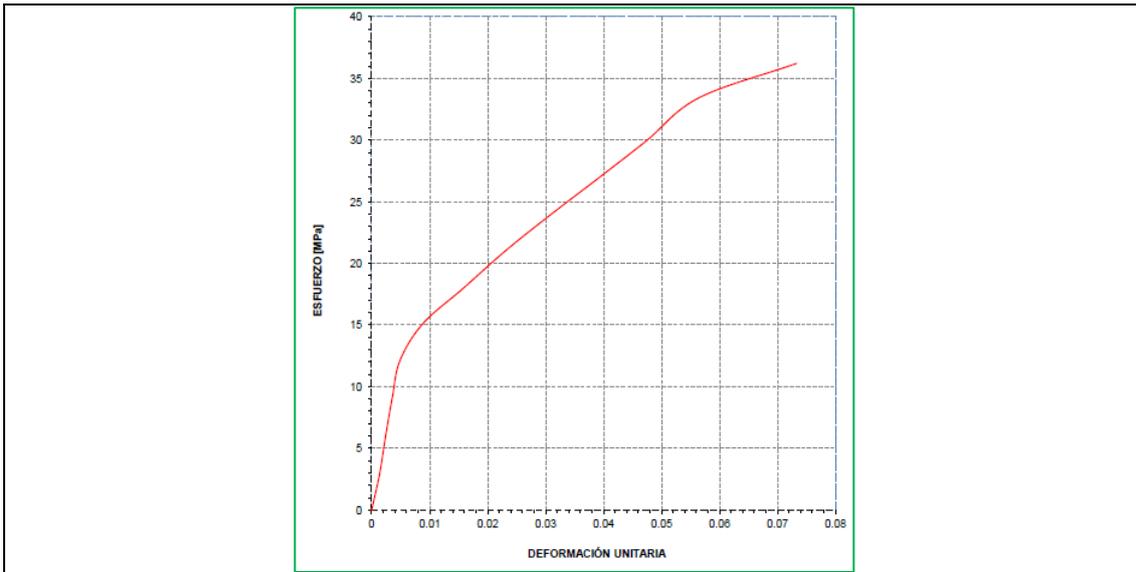
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1530	18.3	42.19	3503	5	LIT
2	1800	19.2	46.95	3601	2	LIT
3	1420	14.5	36.22	2511	1.5	DGM

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





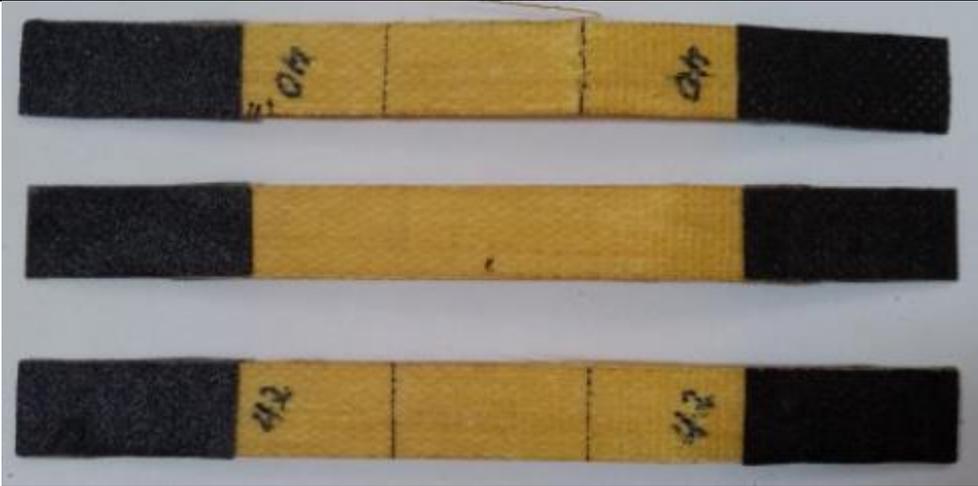
OBSERVACIONES

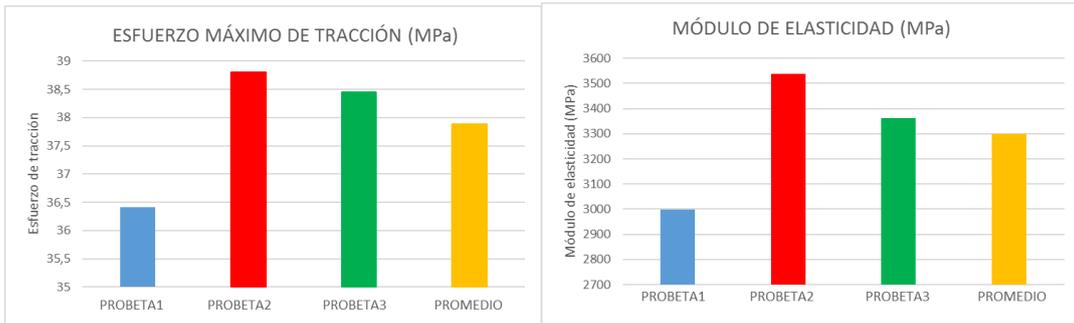
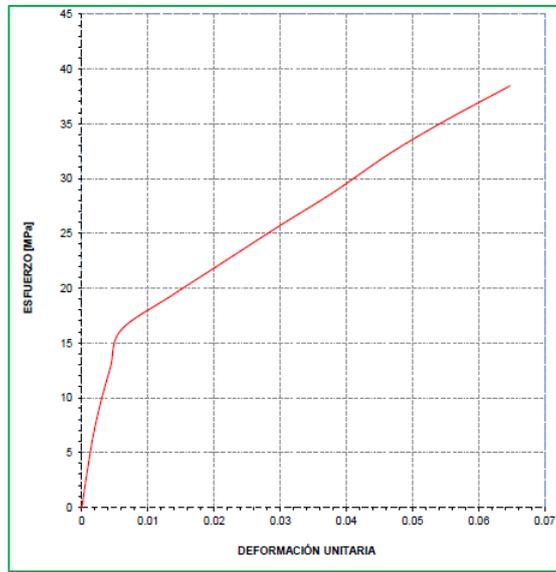
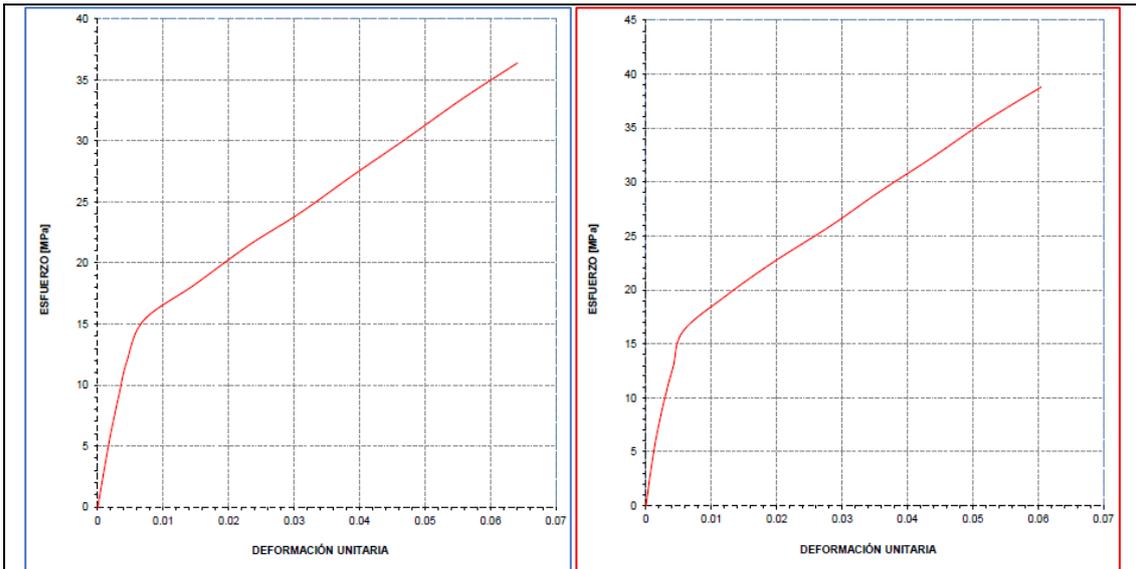
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan fallas en las zonas calibrada y en la pestaña.
 El fallo LIT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta.
 El fallo DGM se produce en la parte media de la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	41.79	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	2.83	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de elasticidad (MPa):	3205	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	1583.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.14: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 14 [Autor].

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS		
TRACCIÓN ASTM D3039		
DATOS INFORMATIVOS		

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C14/45,0/32-T			
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	9.52	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de la fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.51	
Peso de la fibra:	11.16	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días	
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	1400	15.5	36.41	2998	5	LIT
2	1370	17	38.8	3537	2	LIT
3	1470	16.7	38.45	3363	1.5	LIT
PROBETAS ENSAYADAS						
						
GRÁFICAS						



OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas y todas presentan el tipo de fallo LIT.
 El fallo LIT se produce en la pestaña en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	37.89	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
% Elongación:	2.83	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

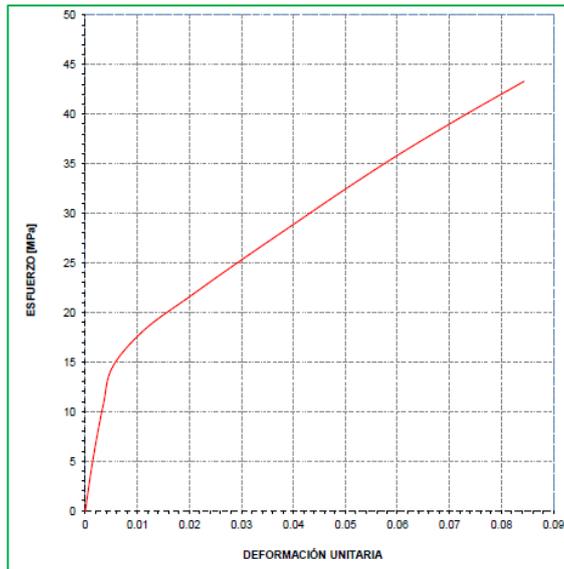
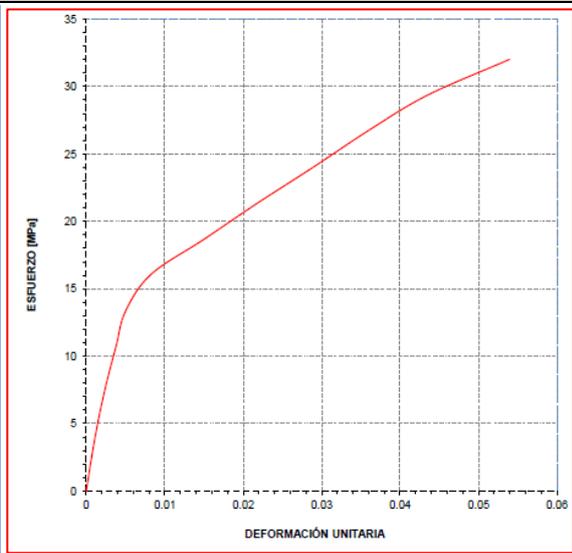
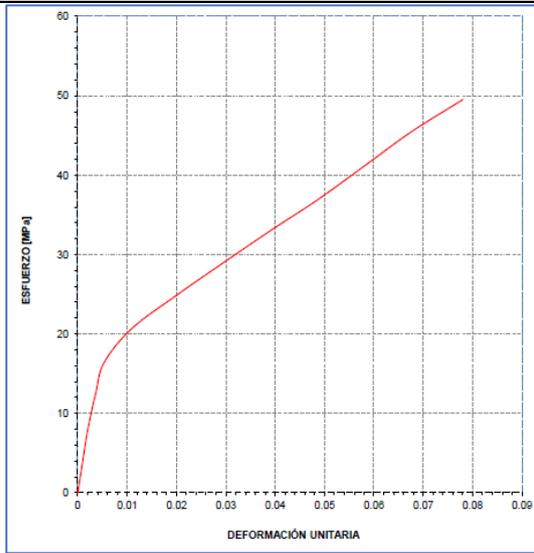
Módulo de elasticidad (MPa):	3299.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	1413.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

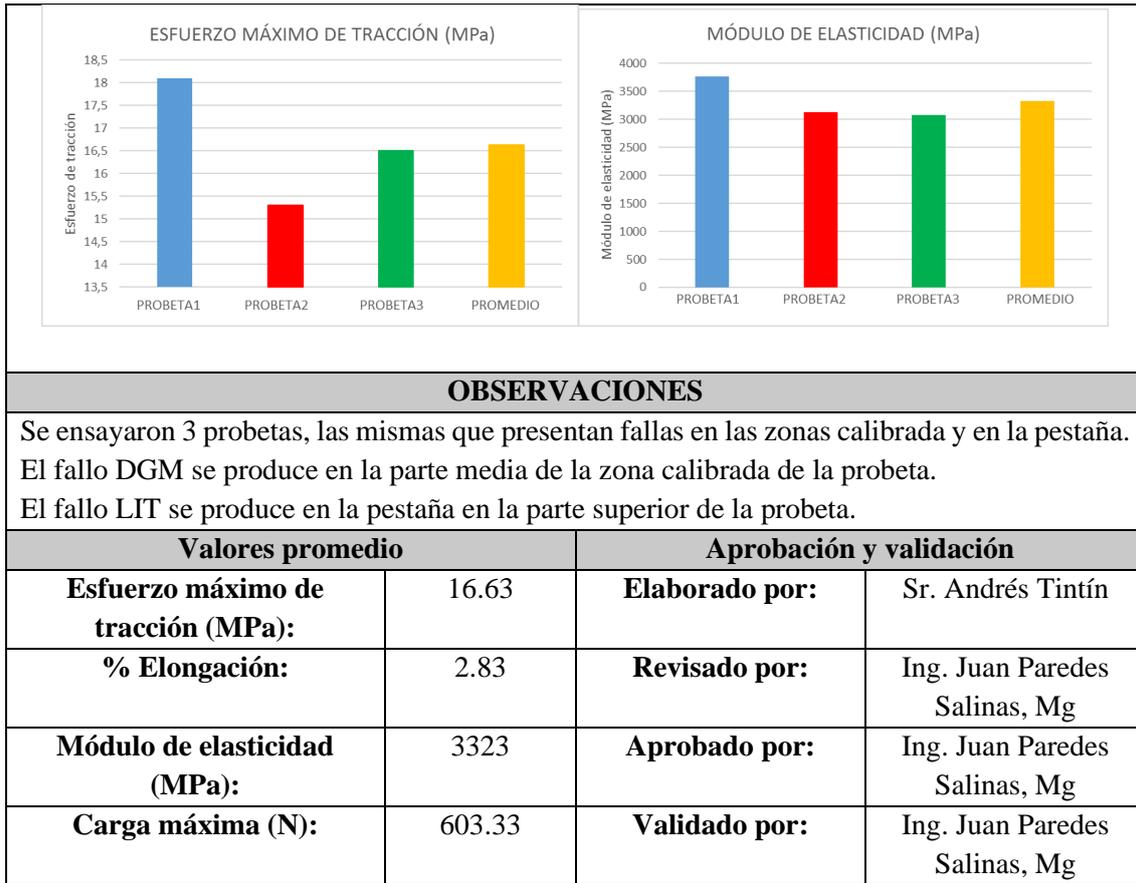
Tabla 3.15: Recolección de datos ensayo a tracción CASO 15 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C15/0,45/32-T			
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	9.07	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de la fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.46	
Peso de la fibra:	11.40	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días	
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	620	0.62	18.1	3765	5	DGM
2	550	0.55	15.3	3124	2	LIT
3	640	0.64	16.5	3080	1.5	LIT
PROBETAS ENSAYADAS						



GRÁFICAS





3.1.1.2. Fichas técnicas de ensayo a flexión

Tabla 3.16: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 1 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C1/0-45/12-F		
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.96

Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°,45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.51
Peso de la fibra:	3.76	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días

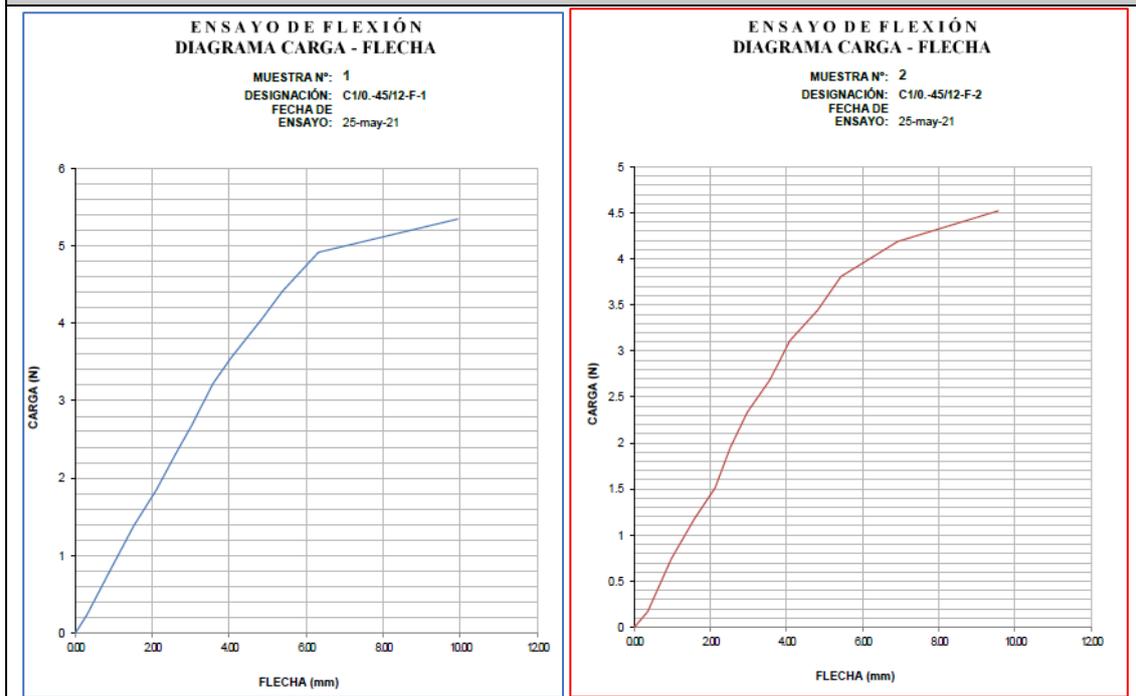
RESULTADOS

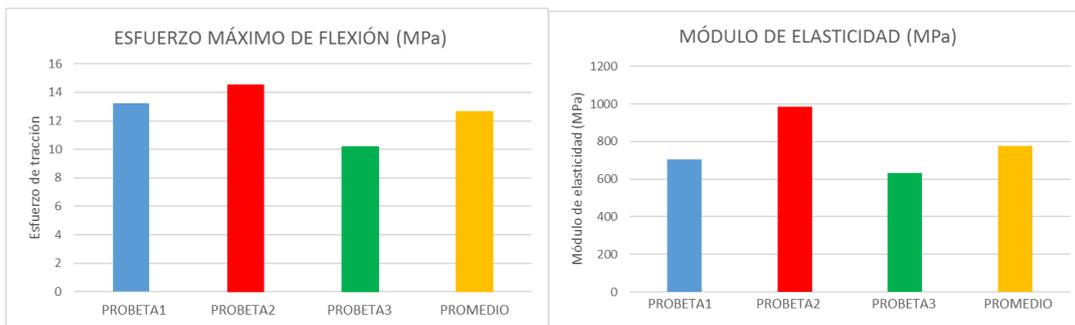
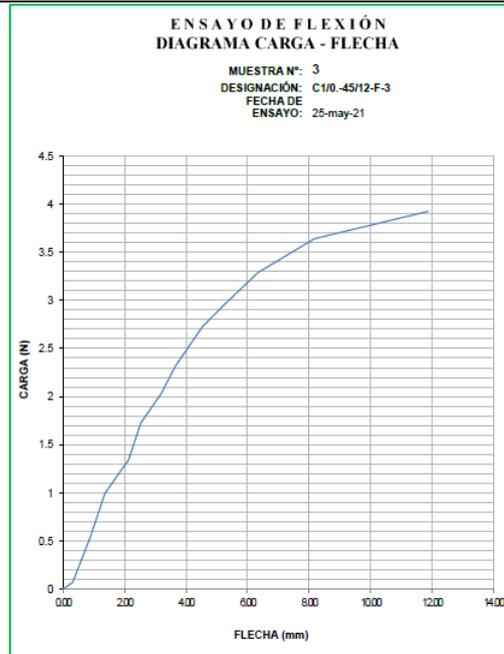
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	5.35	13.25	9.94	705	O UU
2	4.52	14.48	9.56	985	O UT
3	3.92	10.15	11.87	634	O UT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





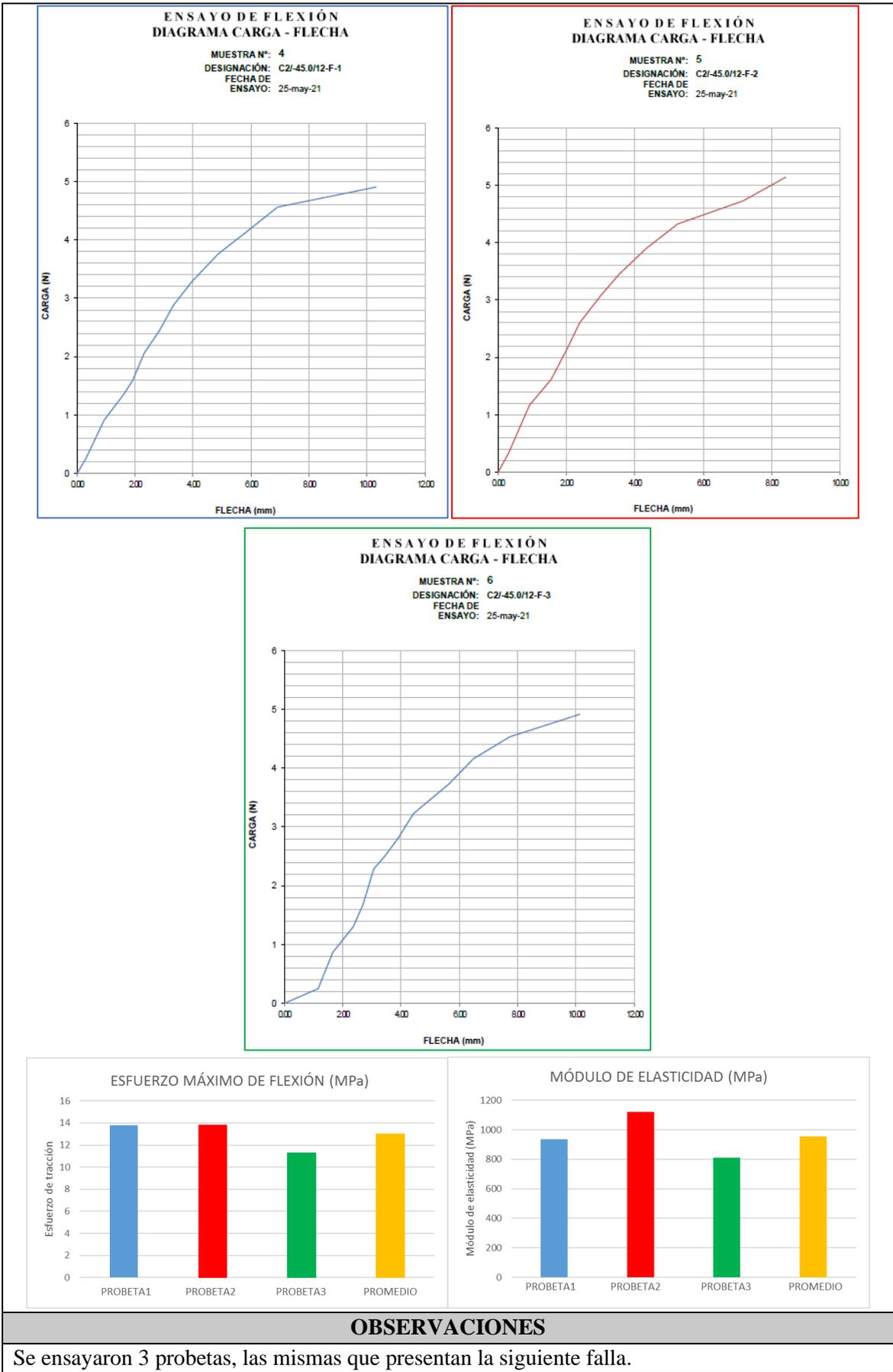
OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.
 El fallo OUU se desconoce en qué área se produce el fallo debido a que no se puede apreciar ninguna anomalía en la superficie de la probeta.
 El fallo OUT se desconoce el área de fallo, pero se puede apreciar cierta irregularidad en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	12.63	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	774.67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	10.46	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	4.60	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.17: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 2 [Autor].

<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 TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C2/-45.0/12-F		
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.87
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.56
Peso de la fibra:	3.59	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	4.91	13.81	10.3	934	OUT
2	5.14	13.8	8.42	1120	OUT
3	4.91	11.29	10.12	810	OUT
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					



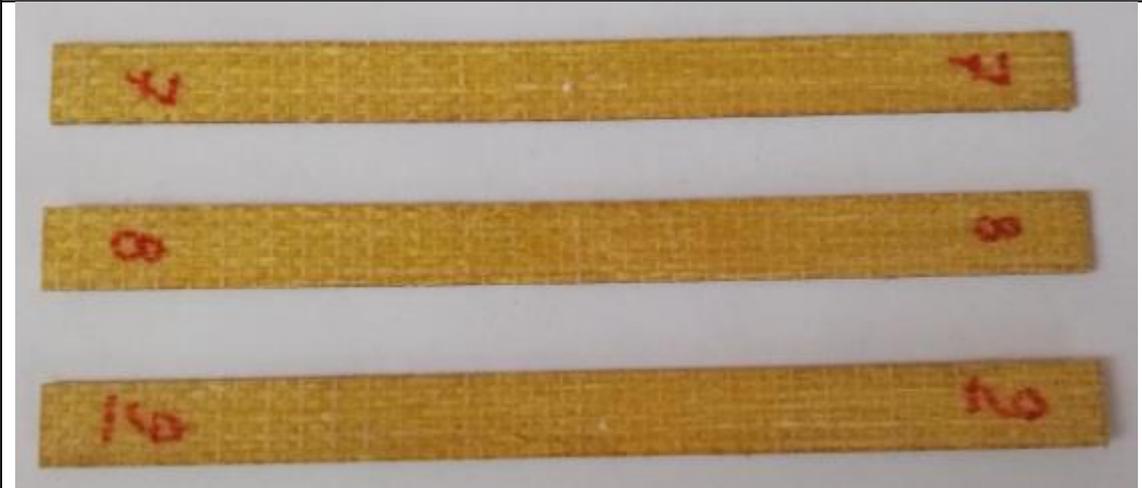
El fallo OUT se desconoce el área de fallo, pero se puede apreciar cierta irregularidad en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	12.97	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	954.67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	9.61	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	4.99	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

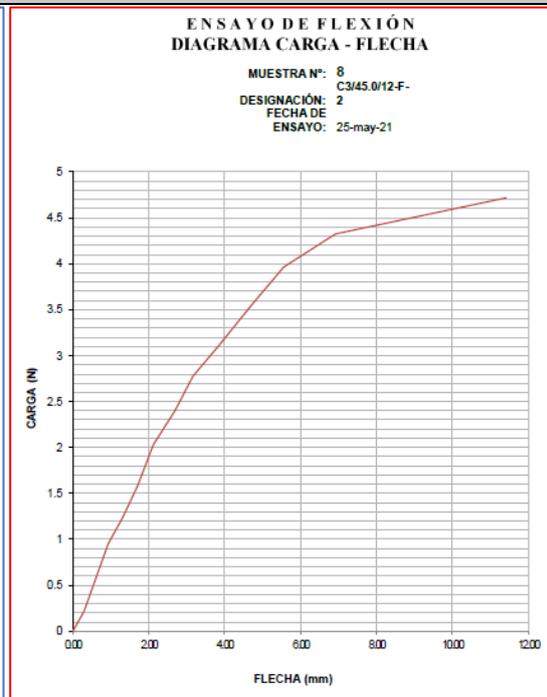
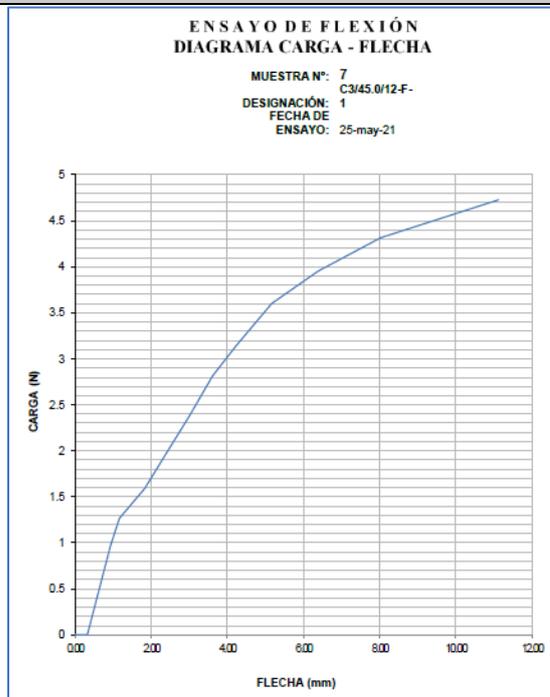
Tabla 3.18: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 3 [Autor].

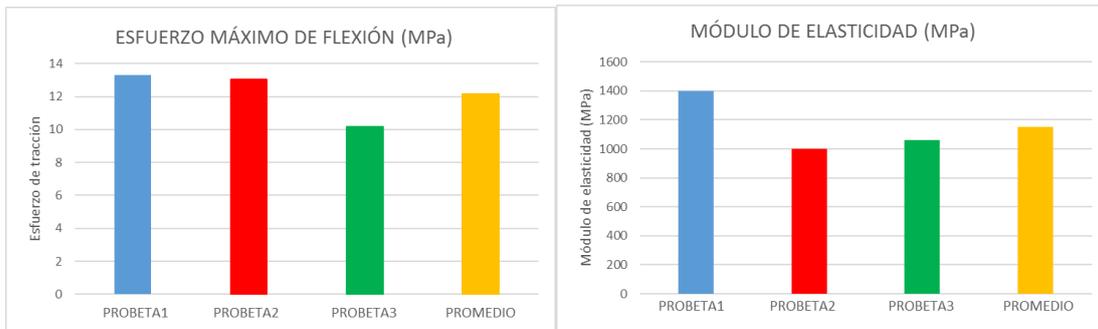
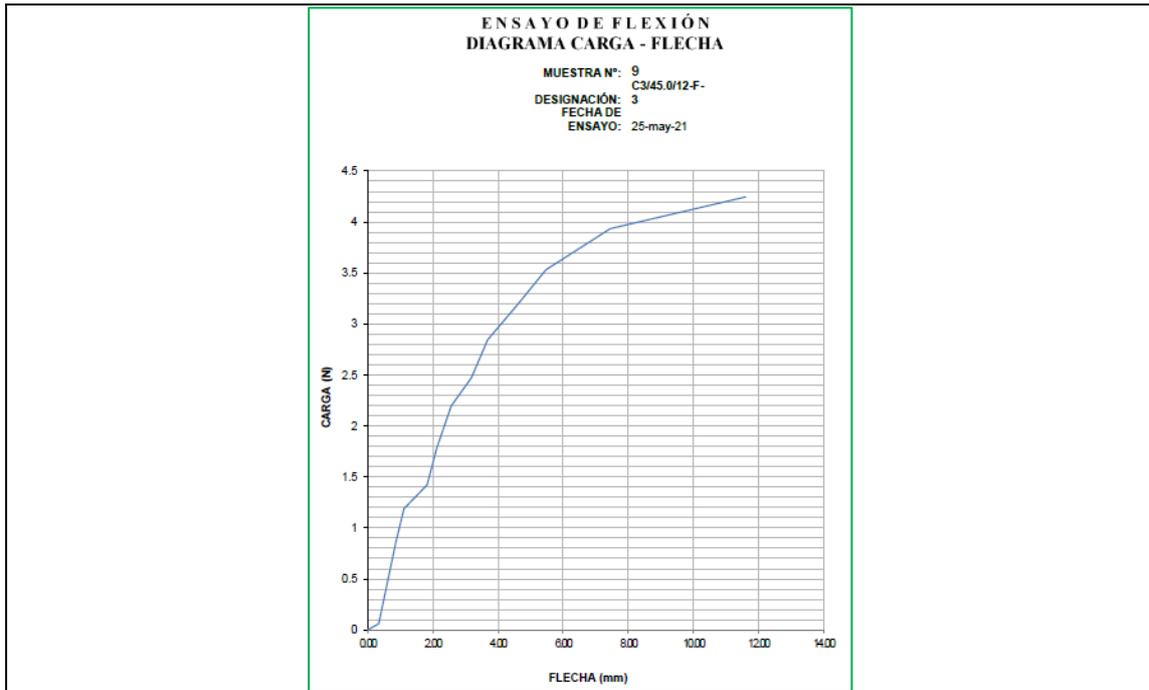
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C3/45.0/12-F		
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.88
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.53
Peso de la fibra:	3.59	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	4.73	13.3	11.12	1400	OUT
2	4.72	13.05	11.42	1000	OUT
3	4.25	10.17	11.6	1060	OUT

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





OBSERVACIONES

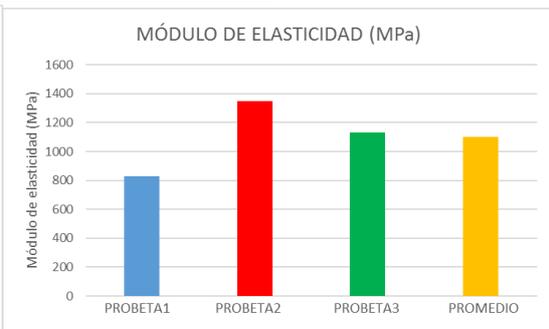
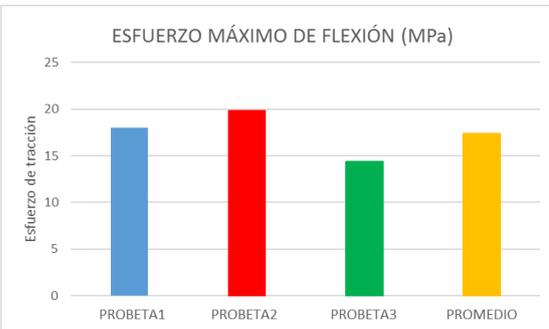
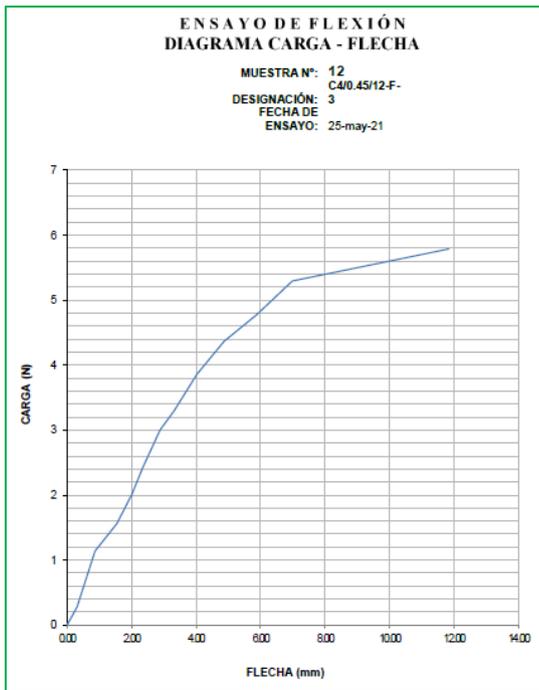
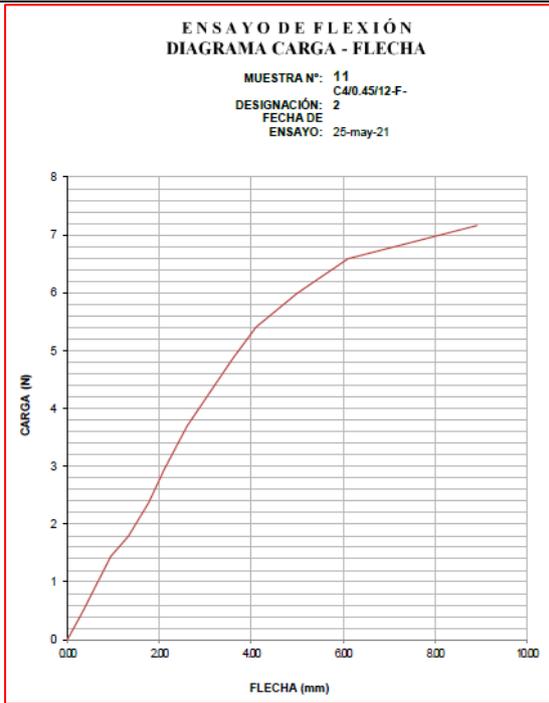
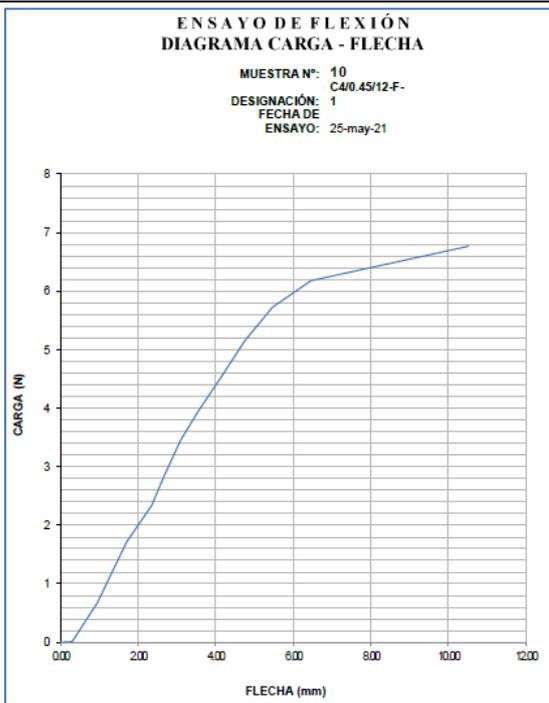
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan la siguiente falla.
El fallo OUT se desconoce el área de fallo, pero se puede apreciar cierta irregularidad en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	12.17	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	1153.33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	11.38	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	4.57	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.19: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 4 [Autor].

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS		

FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C4/0.45/12-F		
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.88
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.54
Peso de la fibra:	3.79	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	12 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	6.77	18	10.52	830	OUU
2	7.16	19.81	8.92	1350	OUU
3	5.79	14.36	11.83	1130	OUU
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					



OBSERVACIONES

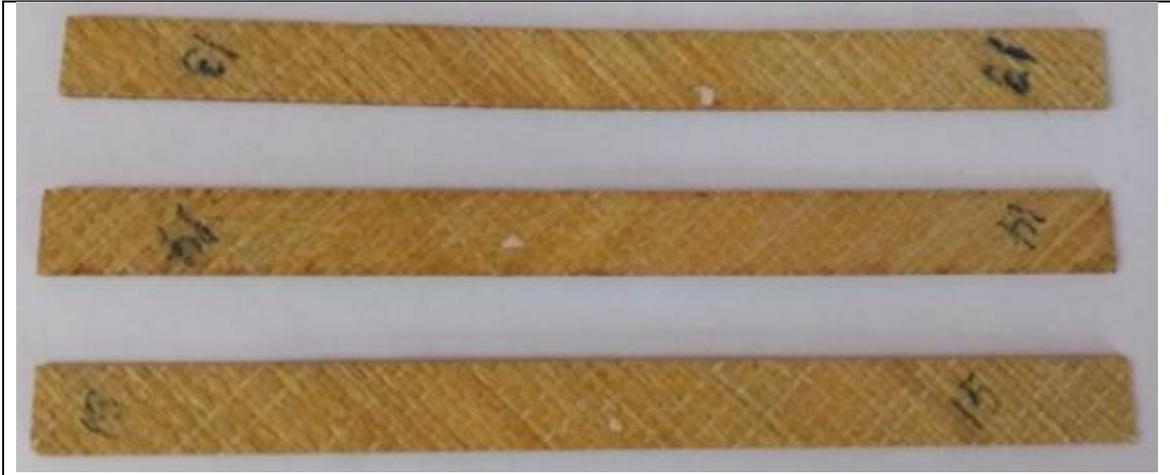
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan la siguiente falla.

El fallo OUU se desconoce en qué área se produce el fallo debido a que no se puede apreciar ninguna anomalía en la superficie de la probeta.

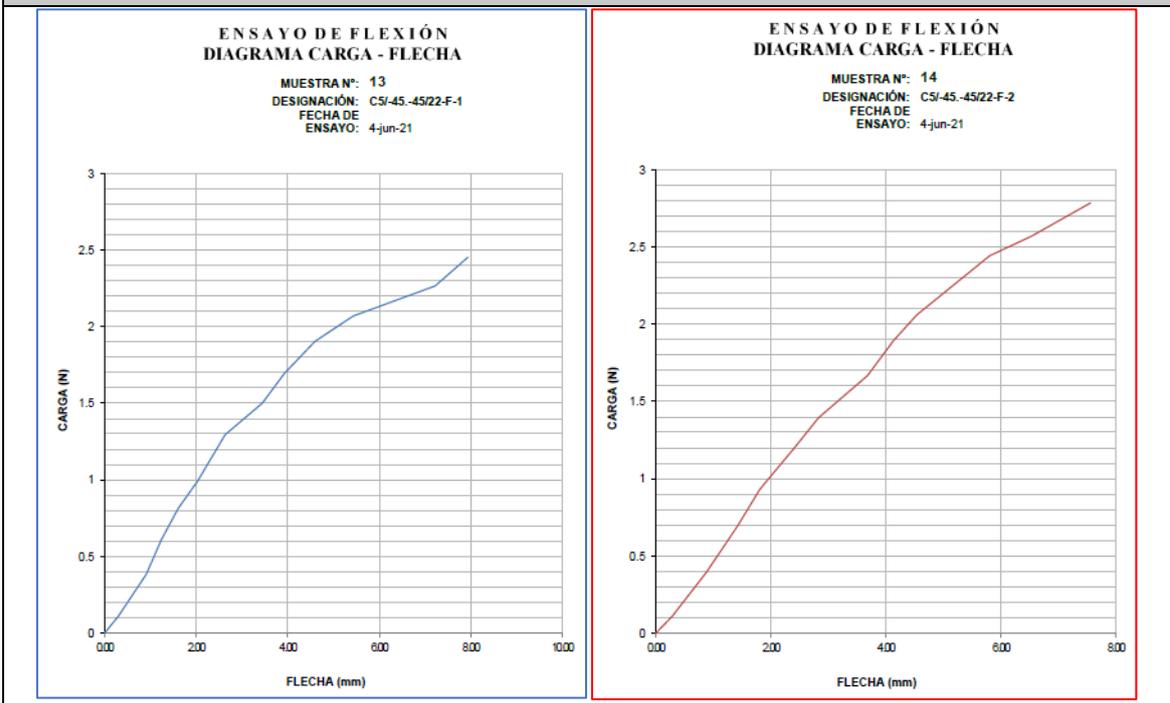
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	17.39	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	1103.33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	10.42	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	6.57	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.20: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 5 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C5/-45.-45/22-F		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.9
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	-45°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.65
Peso de la fibra:	3.96	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	2.45	5.22	7.94	261	OAT
2	2.79	6.76	7.56	341	OAT
3	2.39	5.53	8.39	200	OAT
PROBETAS ENSAYADAS					



GRÁFICAS



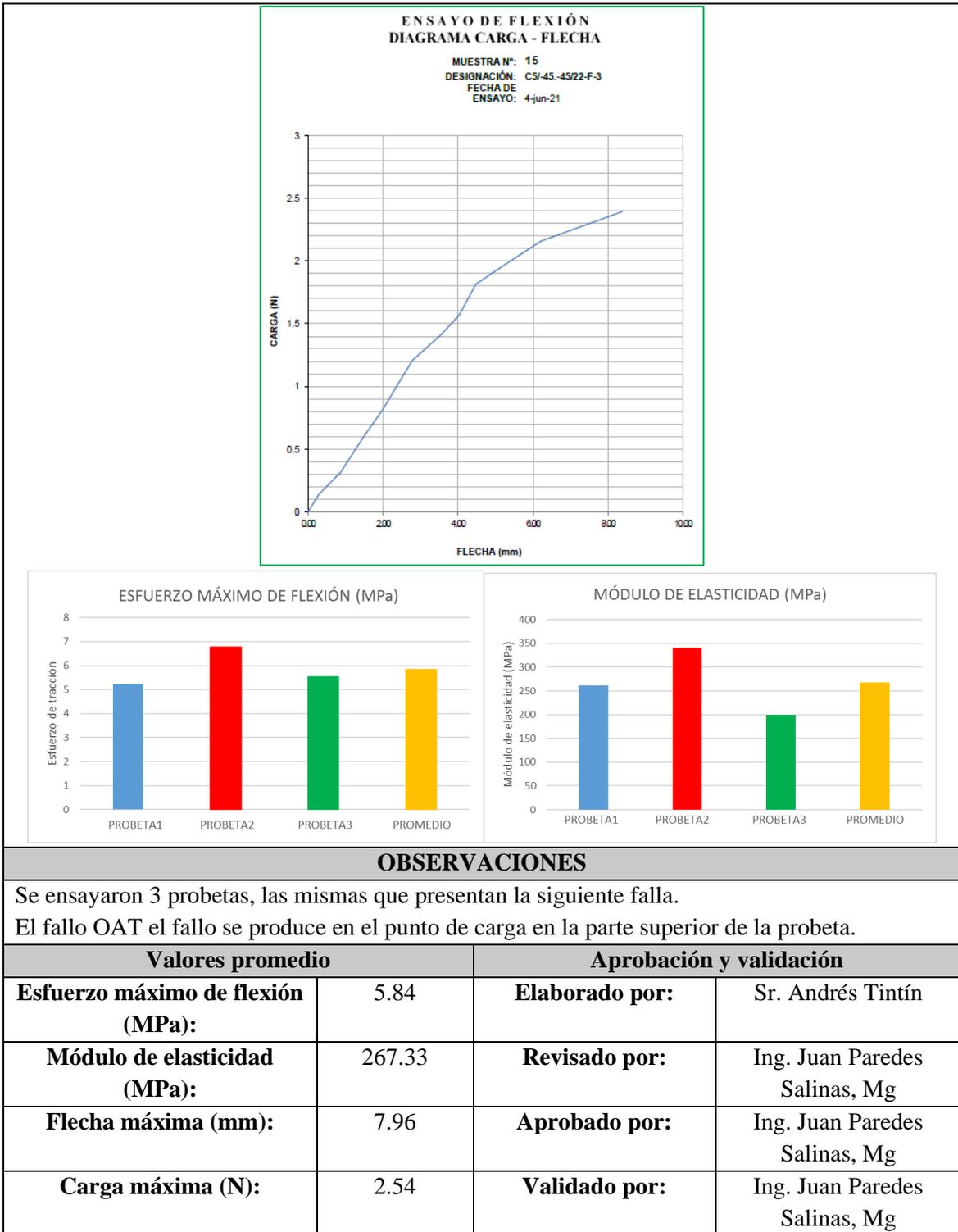
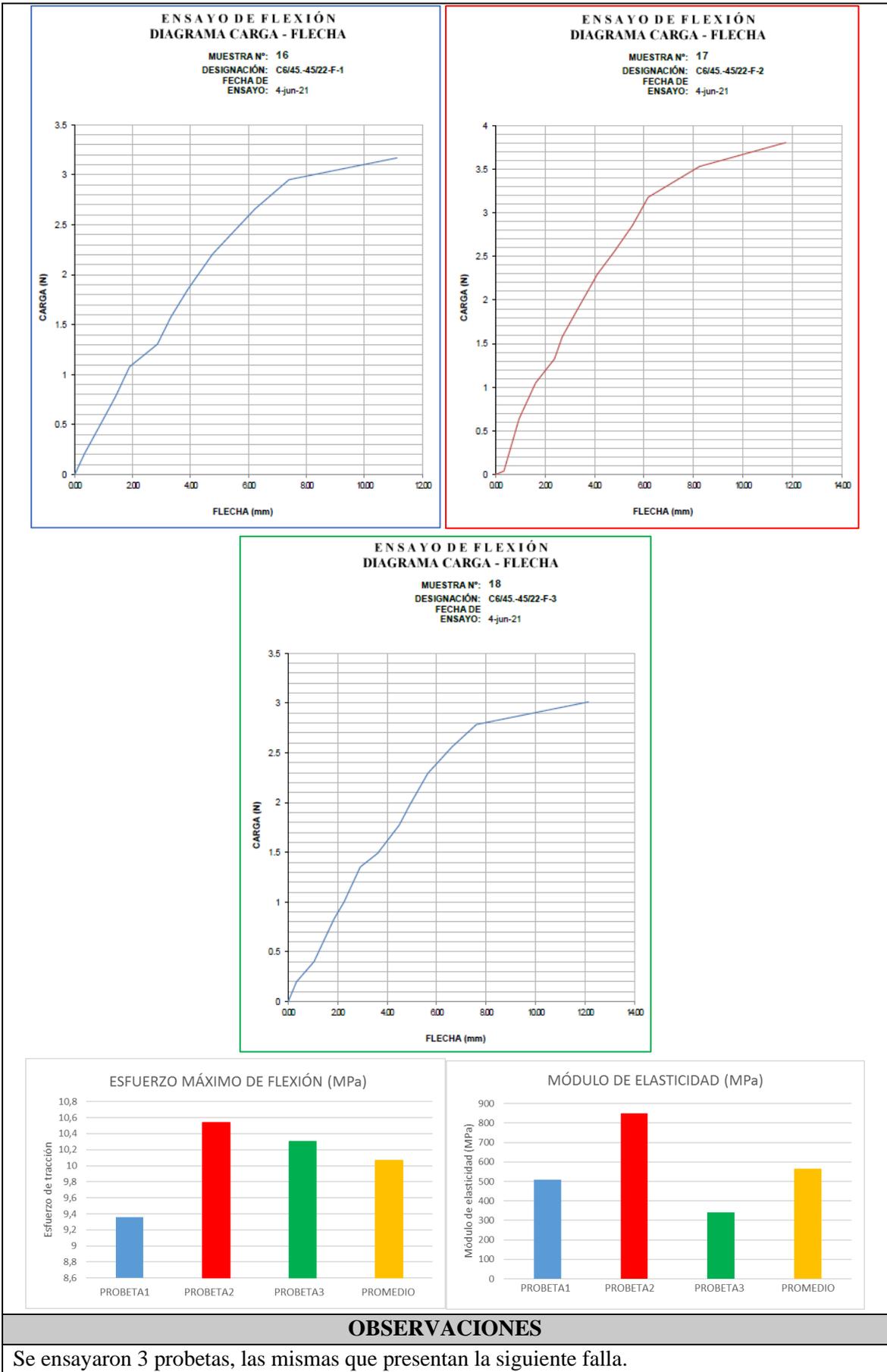


Tabla 3.21: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 6 [Autor].

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS		
FLEXIÓN ASTM D7264		

DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C6/45.-45/22-F		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.84
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.43
Peso de la fibra:	3.47	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	3.17	9.36	11.12	508	OUT
2	3.81	10.54	11.73	850	OUT
3	3.01	10.3	12.14	342	OUT
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					

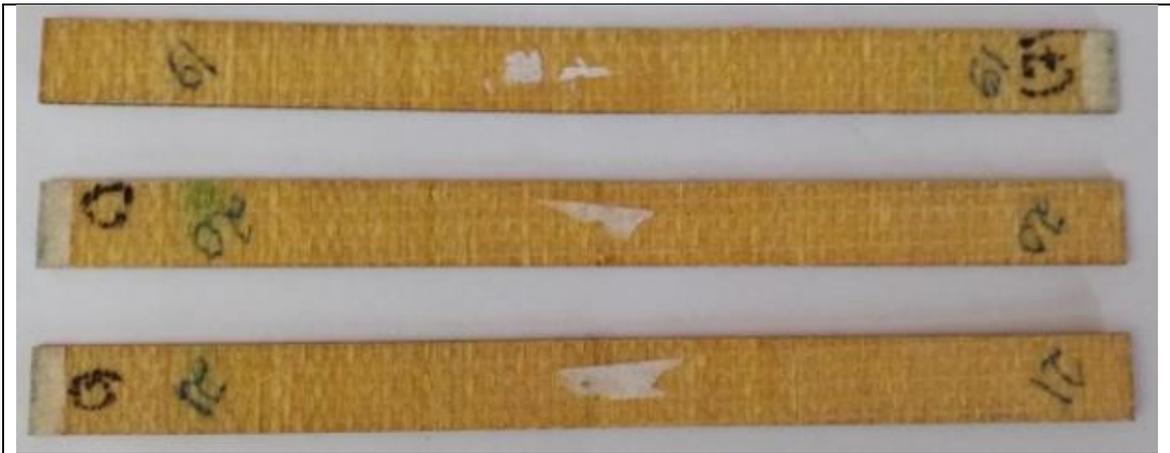


El fallo OUT se desconoce el área de fallo, pero se puede apreciar cierta irregularidad en la parte superior de la probeta.

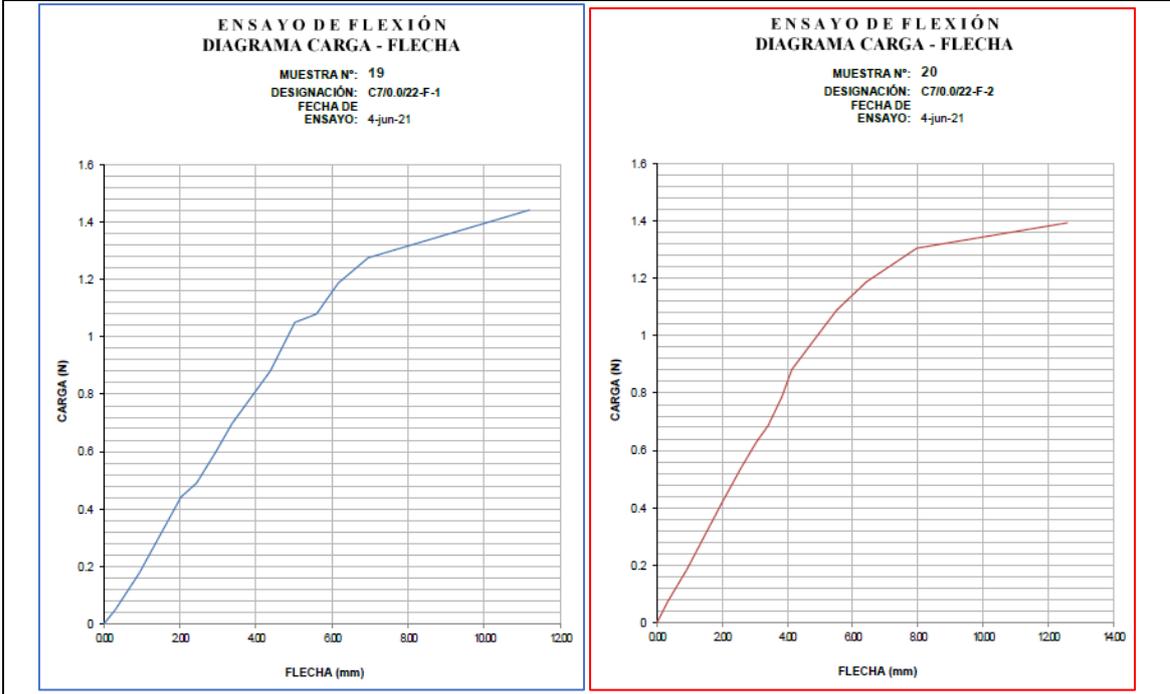
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	10.07	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	566.67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	11.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	3.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.22: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 7 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C7/0.0/22-F		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.92
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.53
Peso de la fibra:	3.92	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	1.44	3.85	11.19	169	OAT
2	1.39	3.66	12.59	154	OAT
3	1.65	4.31	7.84	246	OAT
PROBETAS ENSAYADAS					



GRÁFICAS



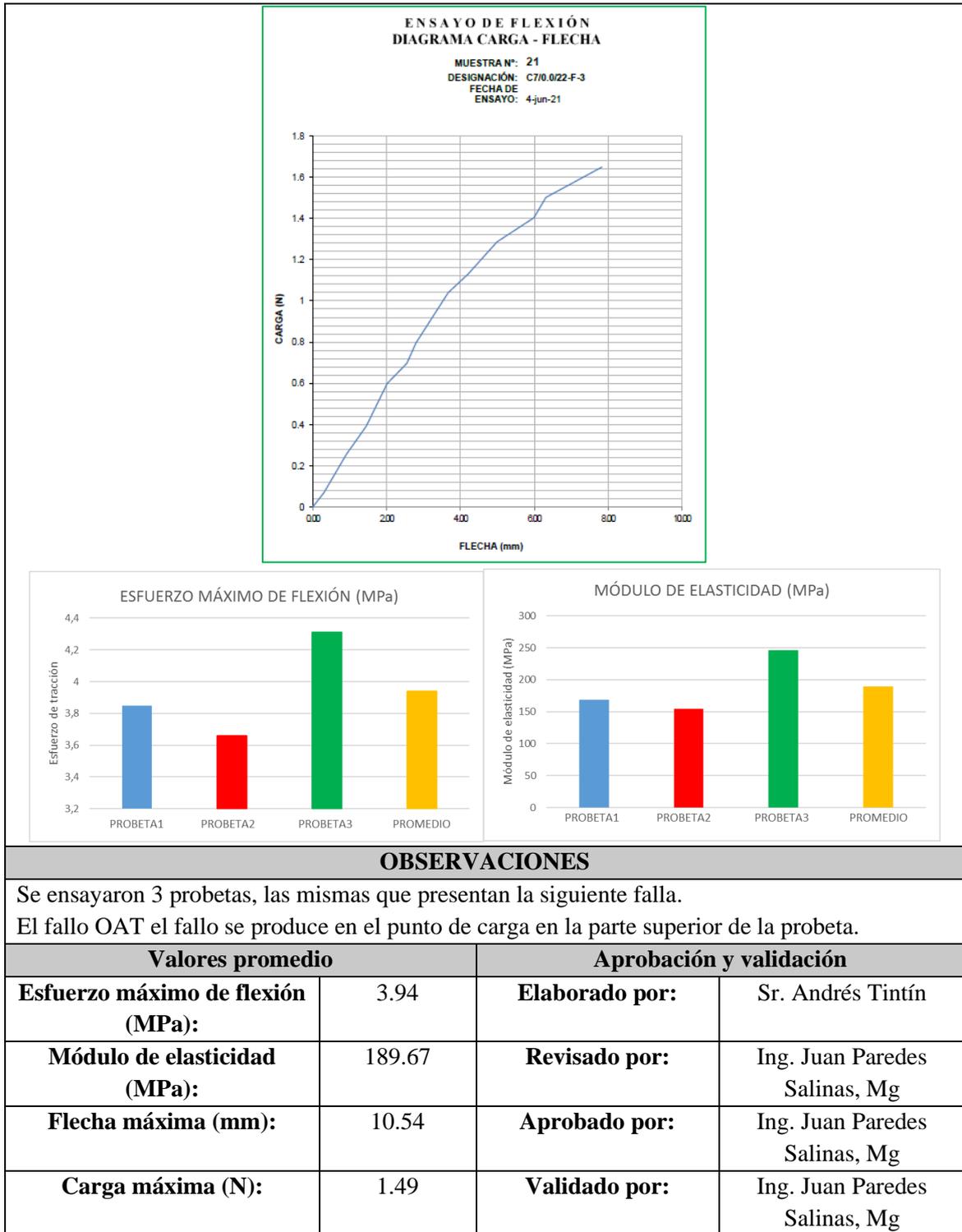
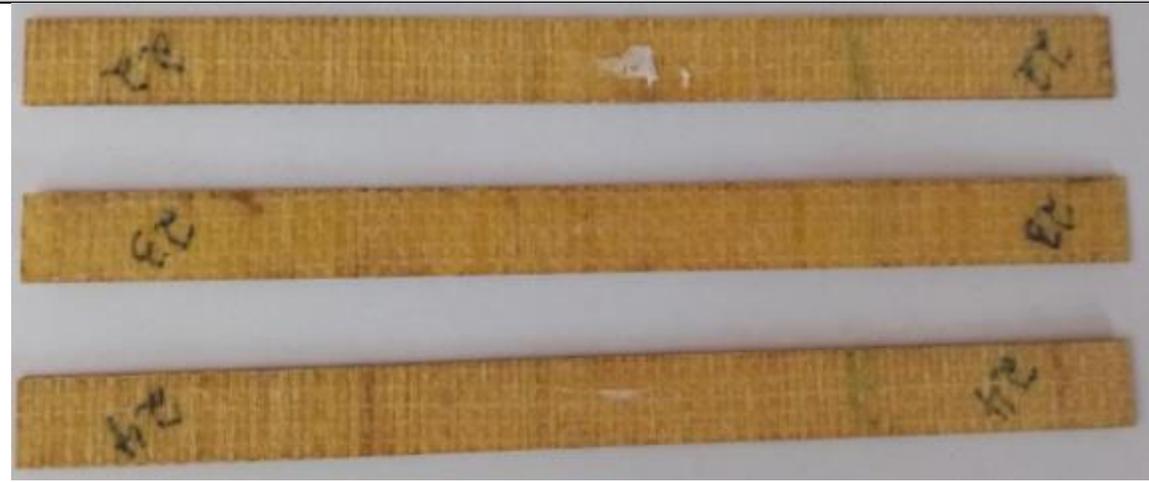
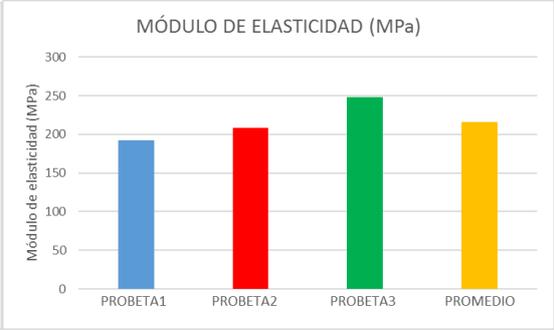
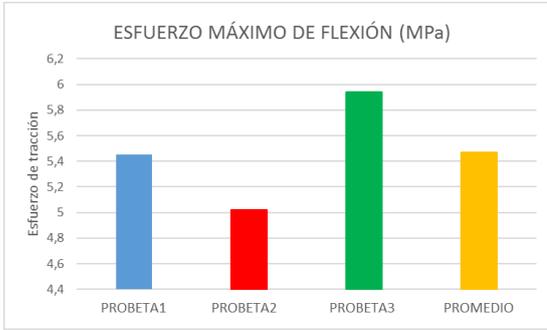
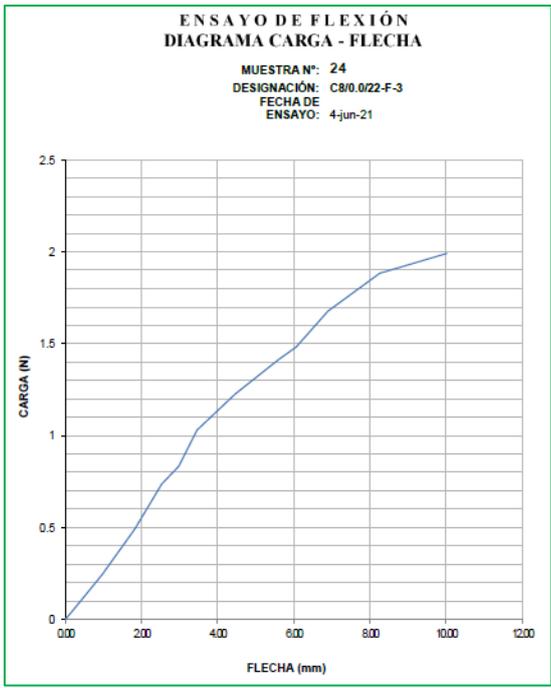
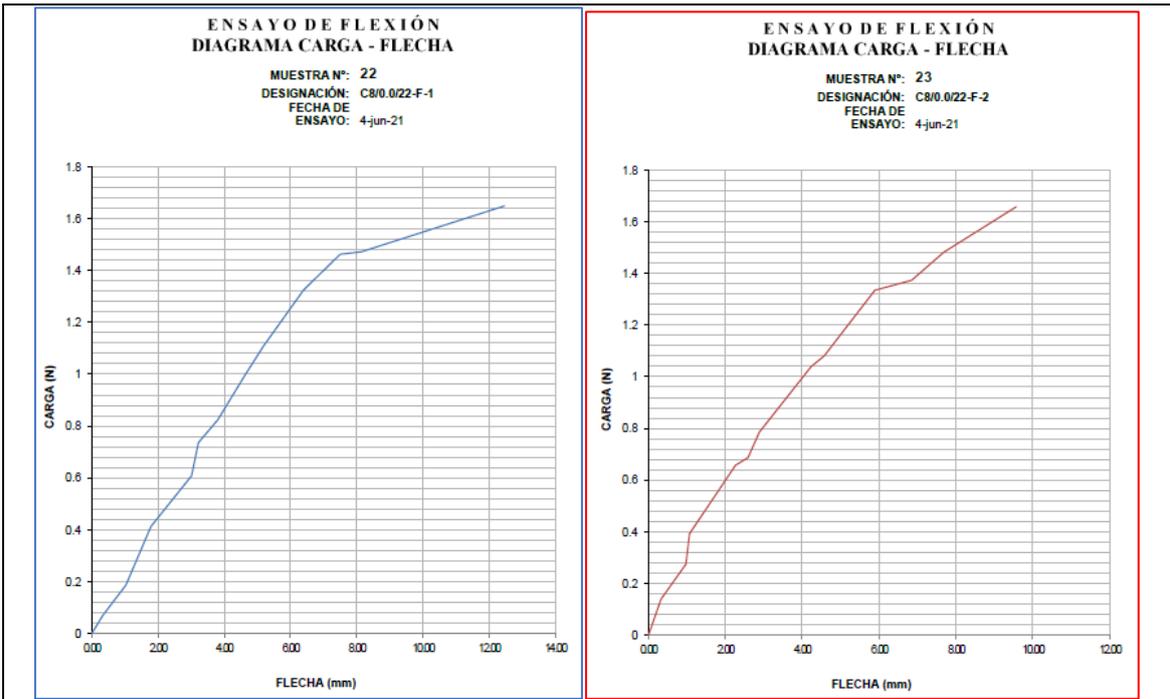


Tabla 3.23: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 8 [Autor].

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS		
FLEXIÓN ASTM D7264		

DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C8/0.0/22-F		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.88
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.41
Peso de la fibra:	3.64	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	1.65	5.45	12.46	192	OAT
2	1.66	5.02	9.57	208	OAT
3	1.99	5.94	10.02	248	OAT
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					



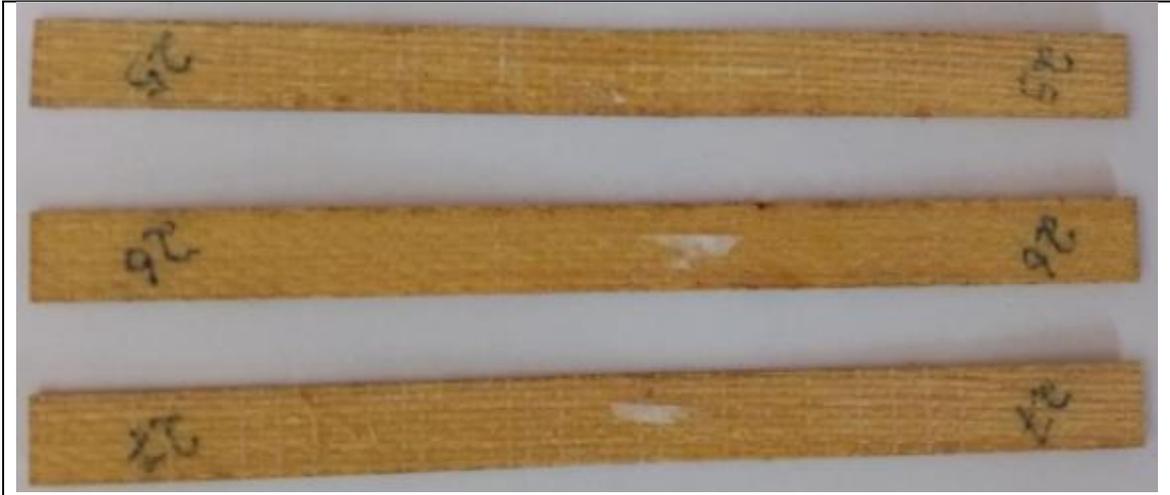
OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan la siguiente falla.
El fallo OAT el fallo se produce en el punto de carga en la parte superior de la probeta.

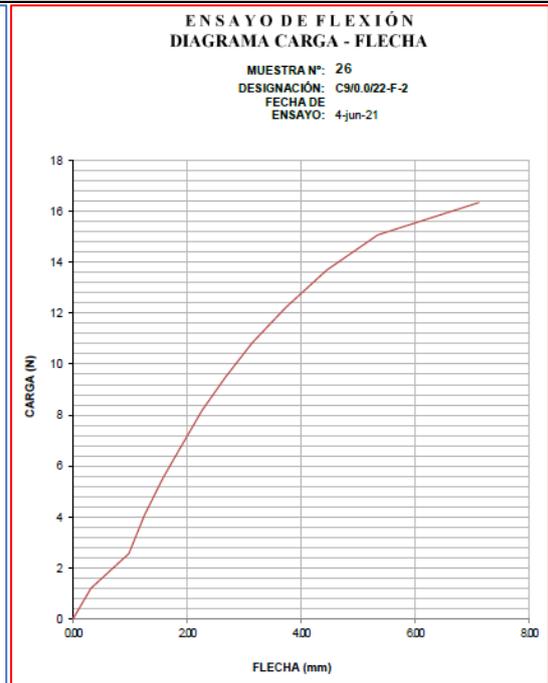
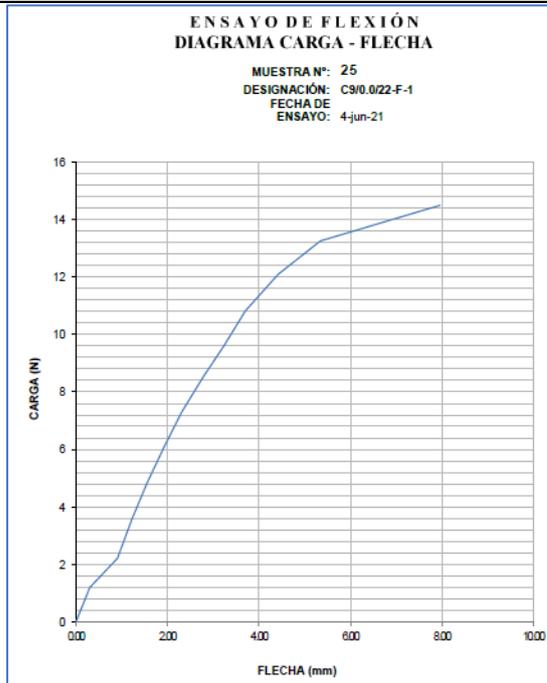
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	5.47	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	216	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	10.68	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	1.77	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.24: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 9 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C9/0.0/22-F		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	3.14
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.46
Peso de la fibra:	3.71	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	14.49	38.17	7.96	1370	NO FALLA
2	16.33	48.91	7.12	2010	NO FALLA
3	19.76	65.01	7.46	3030	NO FALLA
PROBETAS ENSAYADAS					



GRÁFICAS



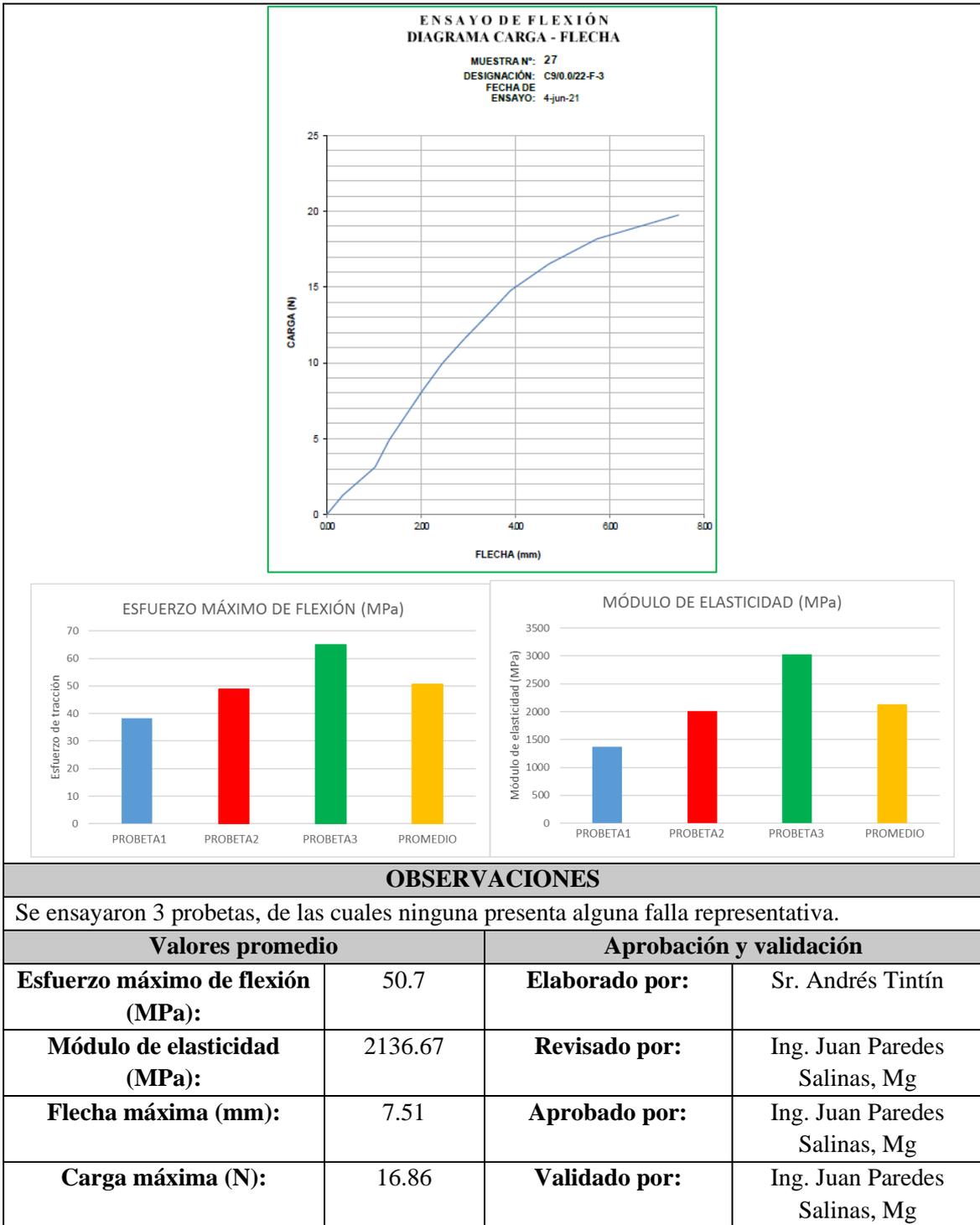
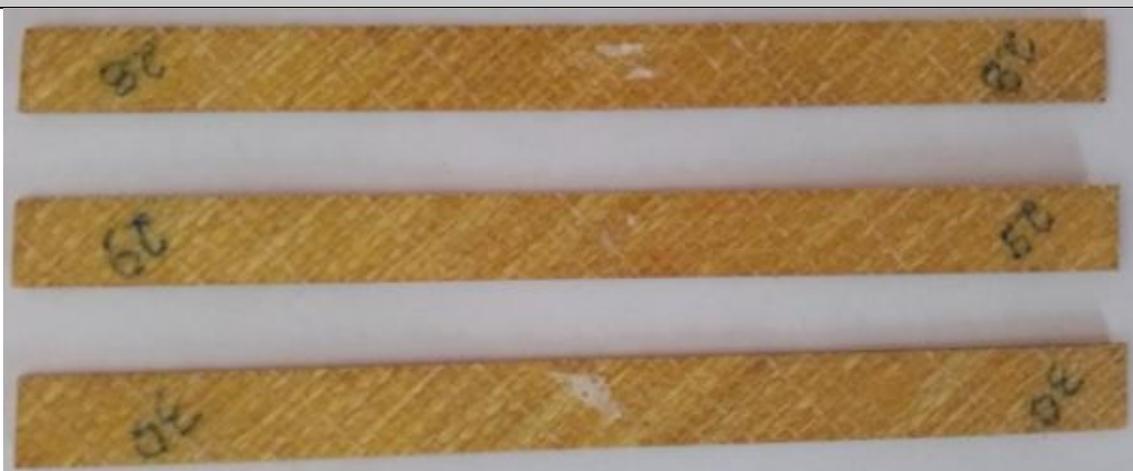
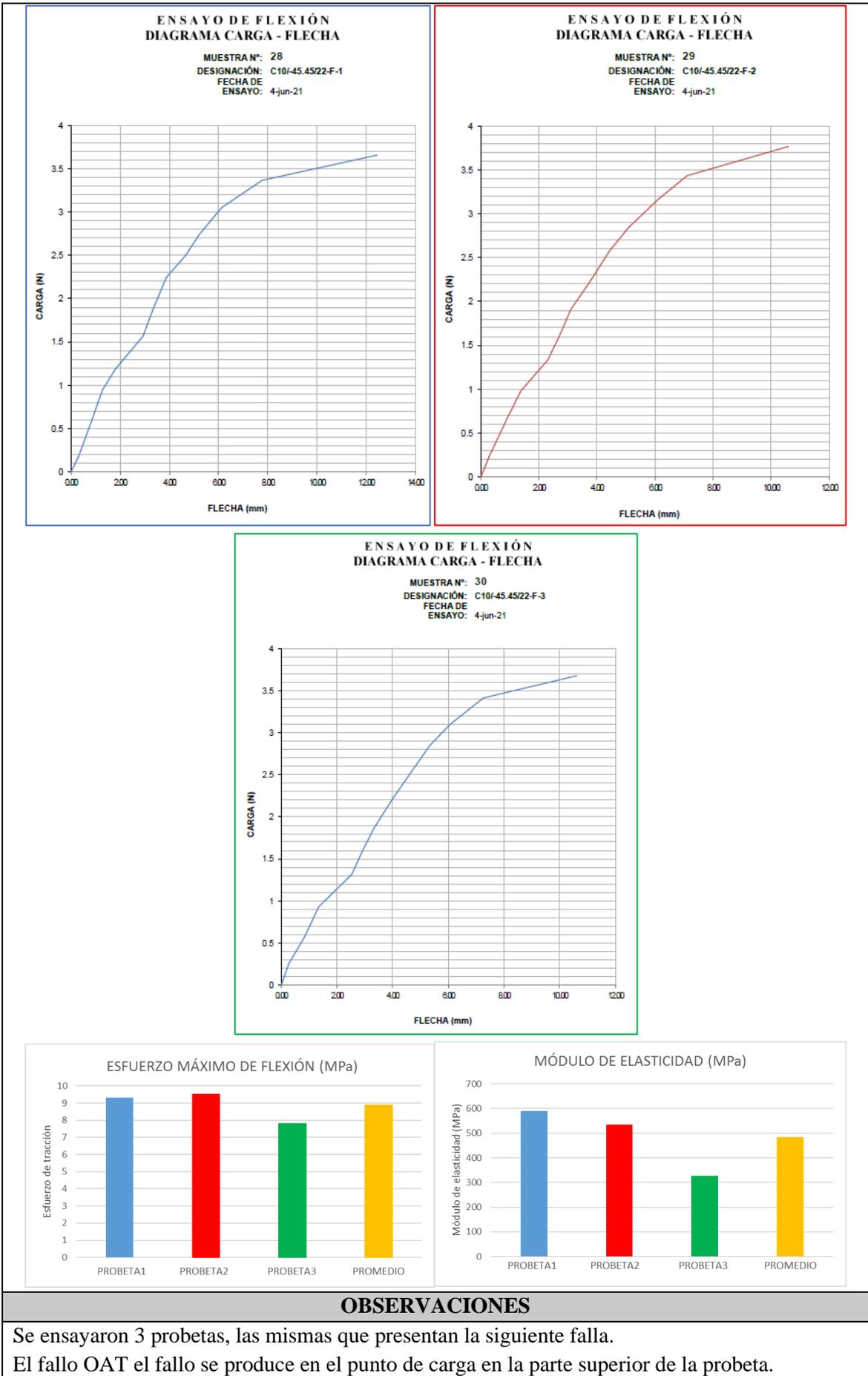


Tabla 3.25: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 10 [Autor].

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS		
FLEXIÓN ASTM D7264		
DATOS INFORMATIVOS		

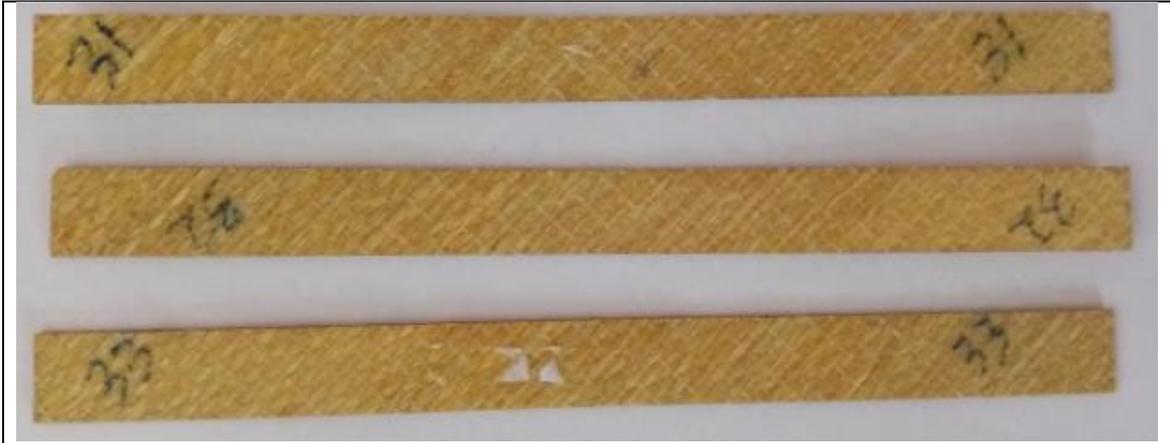
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C10/-45.45/22-F		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.98
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	-45°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.62
Peso de la fibra:	3.85	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	3.66	9.33	12.45	590	OAT
2	3.77	9.52	10.59	534	OAT
3	3.68	7.79	10.61	326	OAT
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					



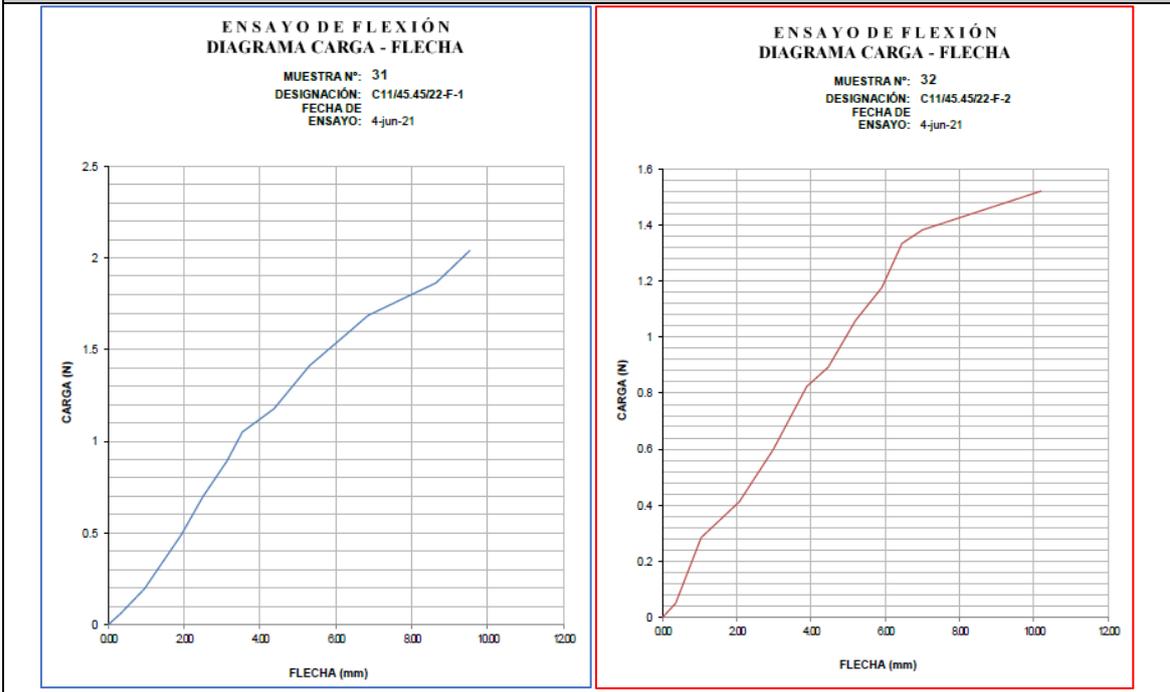
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	8.88	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	483.33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	11.22	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	3.70	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.26: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 11 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C11/45.45/22-F		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.9
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.43
Peso de la fibra:	3.8	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	22 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	2.04	5.8	9.53	195	OAB
2	1.52	5.12	10.19	393	OAB
3	1.98	5.91	12.74	207	OAB
PROBETAS ENSAYADAS					



GRÁFICAS



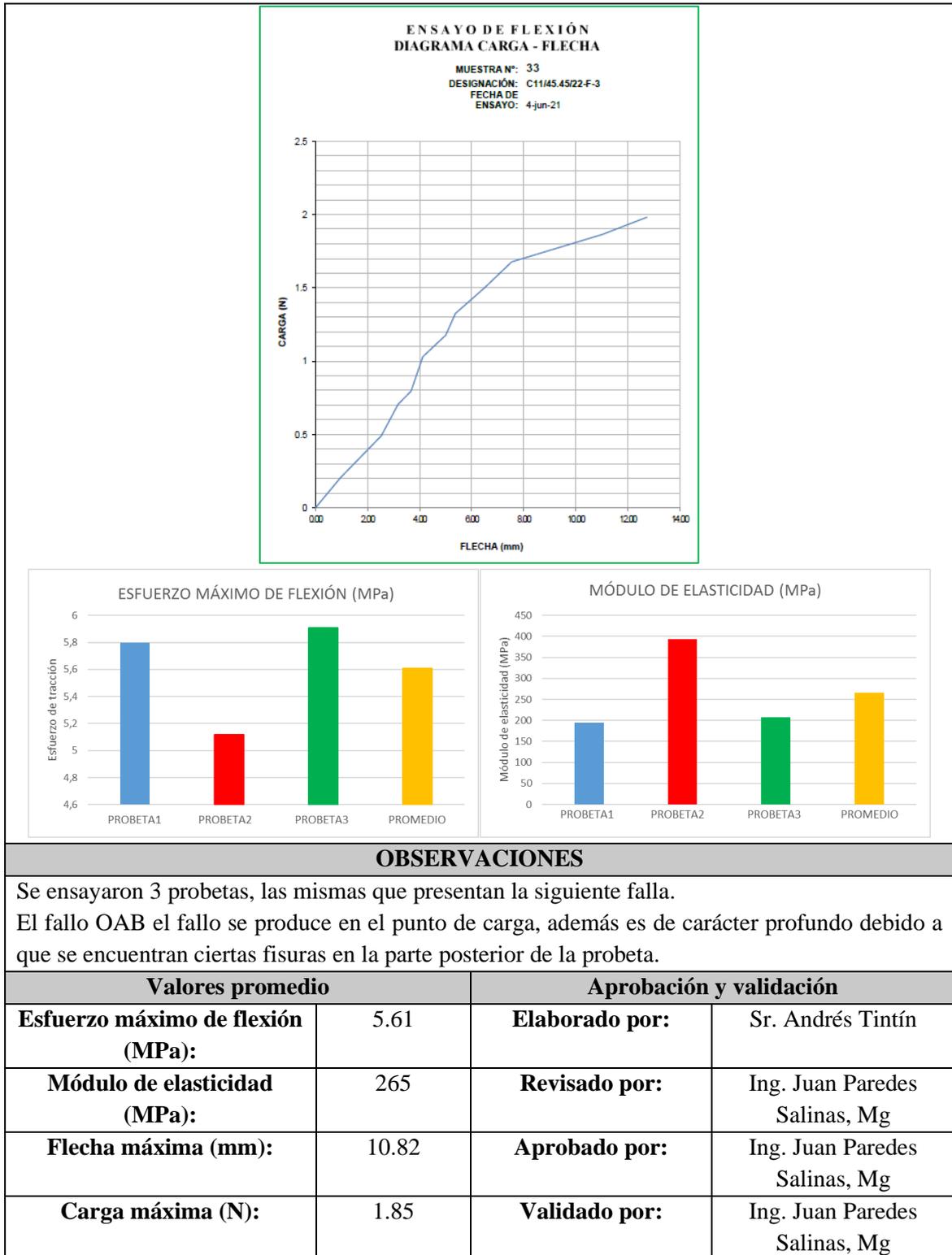


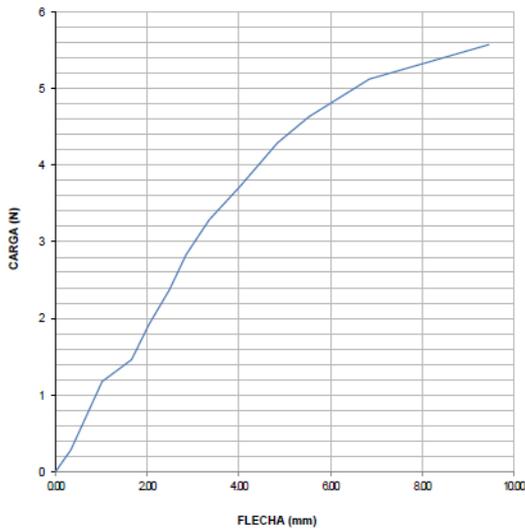
Tabla 3.27: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 12 [Autor].

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS		

FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C12/0.-45/32-F		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	3.05
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.51
Peso de la fibra:	3.67	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	5.57	18.85	9.46	1520	OUU
2	6.47	13.88	7.67	729	OUU
3	6.55	18.69	10.18	1060	OUU
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					

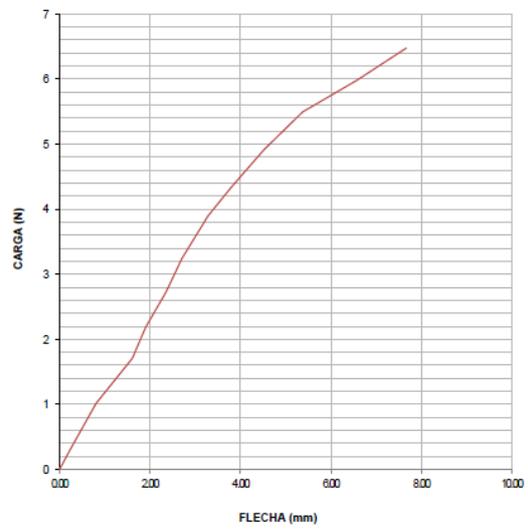
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 34
DESIGNACIÓN: C12/0.45/32-F-1
FECHA DE ENSAYO: 14-jun-21



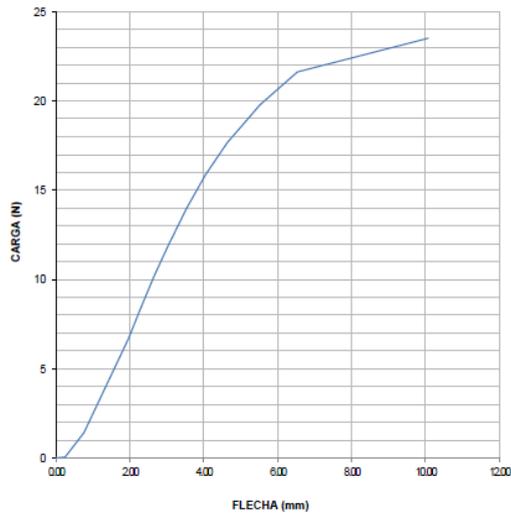
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 35
DESIGNACIÓN: C12/0.45/32-F-2
FECHA DE ENSAYO: 14-jun-21

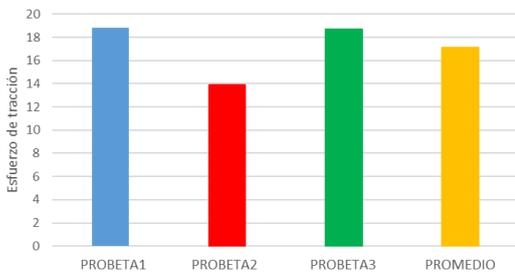


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

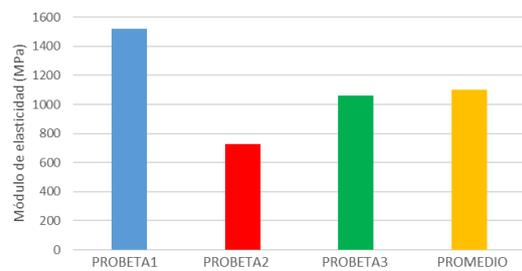
MUESTRA N°: 36
DESIGNACIÓN: K-C12/0.45/120-F-3
FECHA DE ENSAYO: 24-may-21



ESFUERZO MÁXIMO DE FLEXIÓN (MPa)



MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)



OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan la siguiente falla.

El fallo OUU se desconoce en qué área se produce el fallo debido a que no se puede apreciar ninguna anomalía en la superficie de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	17.14	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	1103	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	9.1	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	6.2	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Tabla 3.28: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 13 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C13/-45.0/32-F		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	2.66
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.55
Peso de la fibra:	3.33	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	6.57	17.34	10.1	888	OUT
2	3.78	10.41	10.87	689	OUT
3	5.27	12.71	9.37	783	OUT
PROBETAS ENSAYADAS					



GRÁFICAS

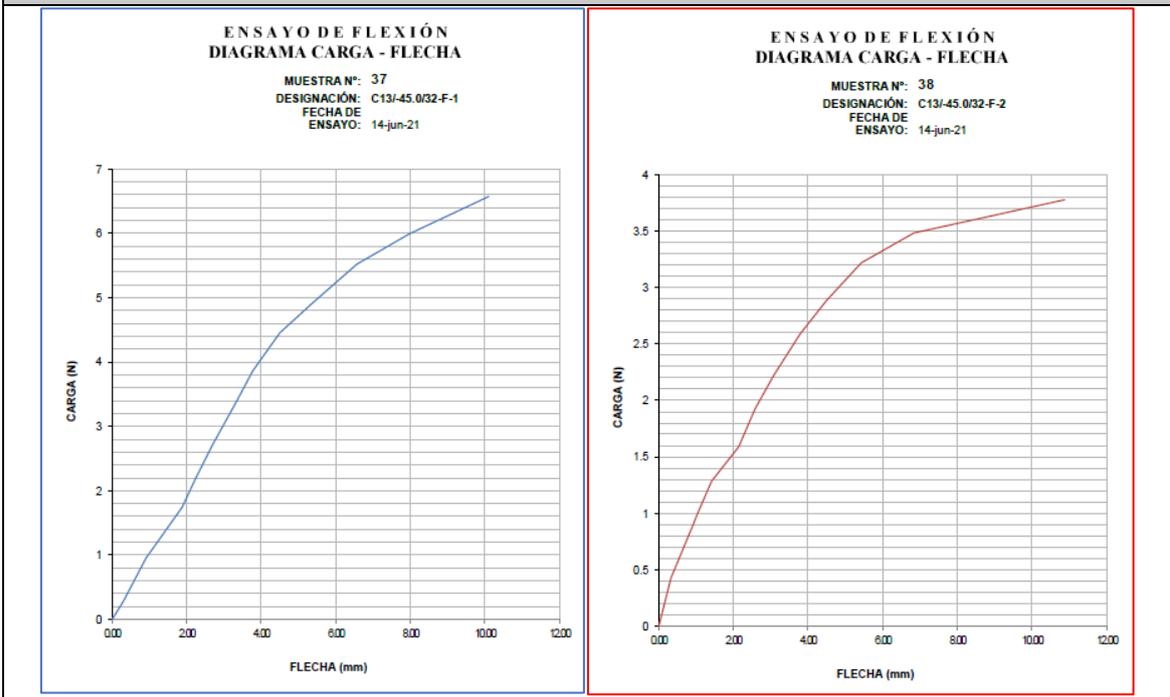
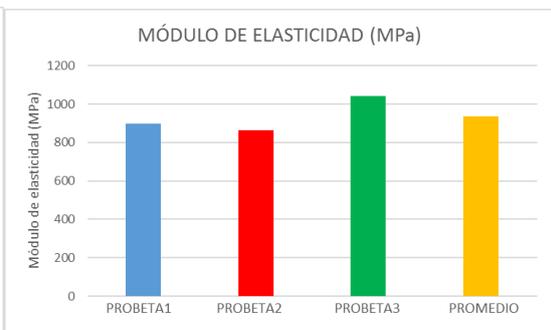
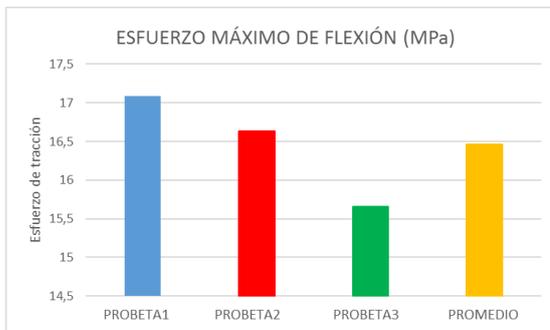
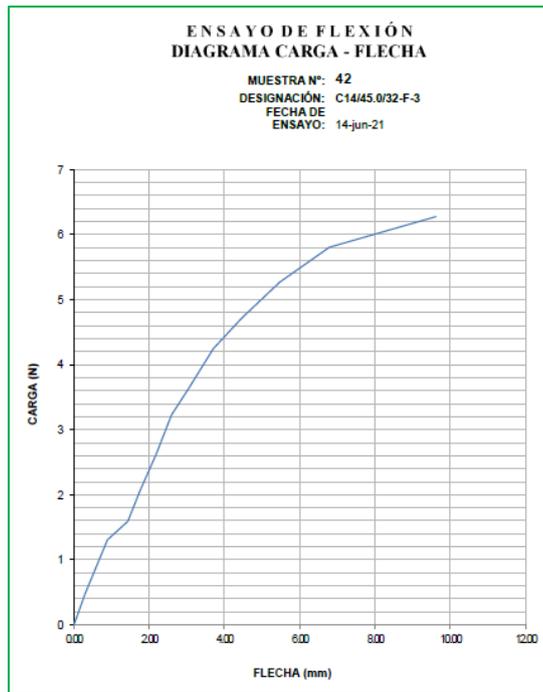
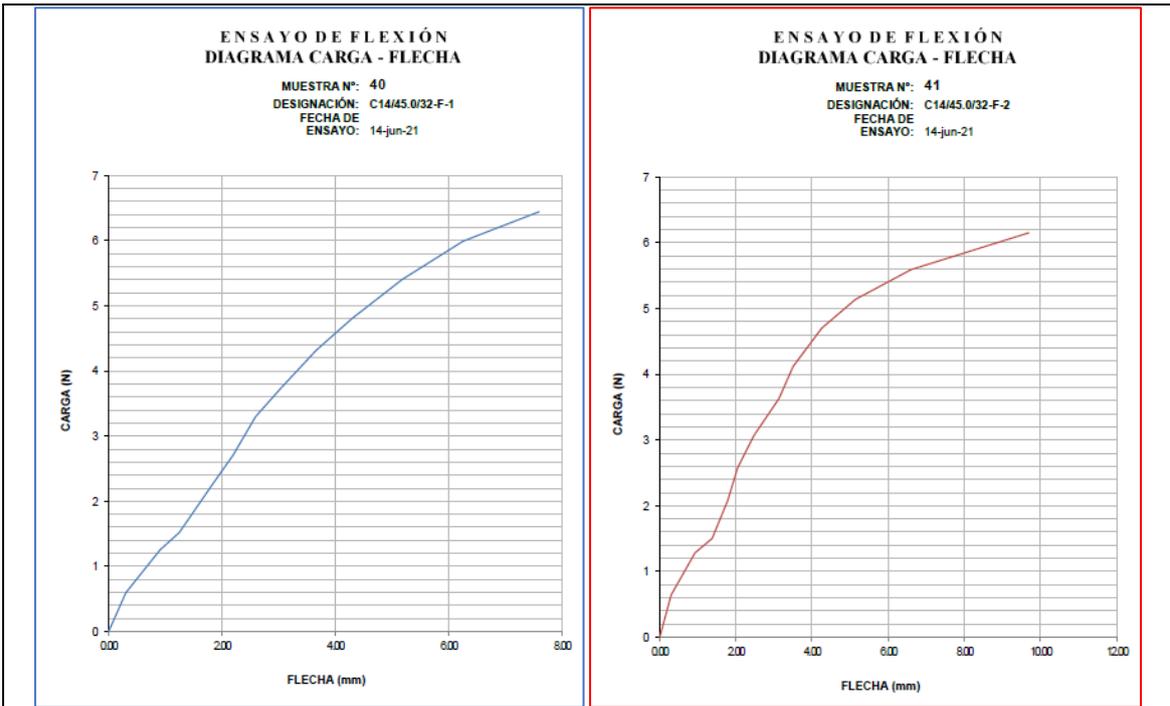




Tabla 3.29: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 14 [Autor].

FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C14/45.0/32-F		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	3.16
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.54
Peso de la fibra:	3.71	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	6.45	17.09	7.6	899	OUT
2	6.15	16.63	9.69	865	OUT
3	6.28	15.66	9.61	1040	OUT
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					



OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan la siguiente falla.

El fallo OUT se desconoce el área de fallo, pero se puede apreciar cierta irregularidad en la parte superior de la probeta.

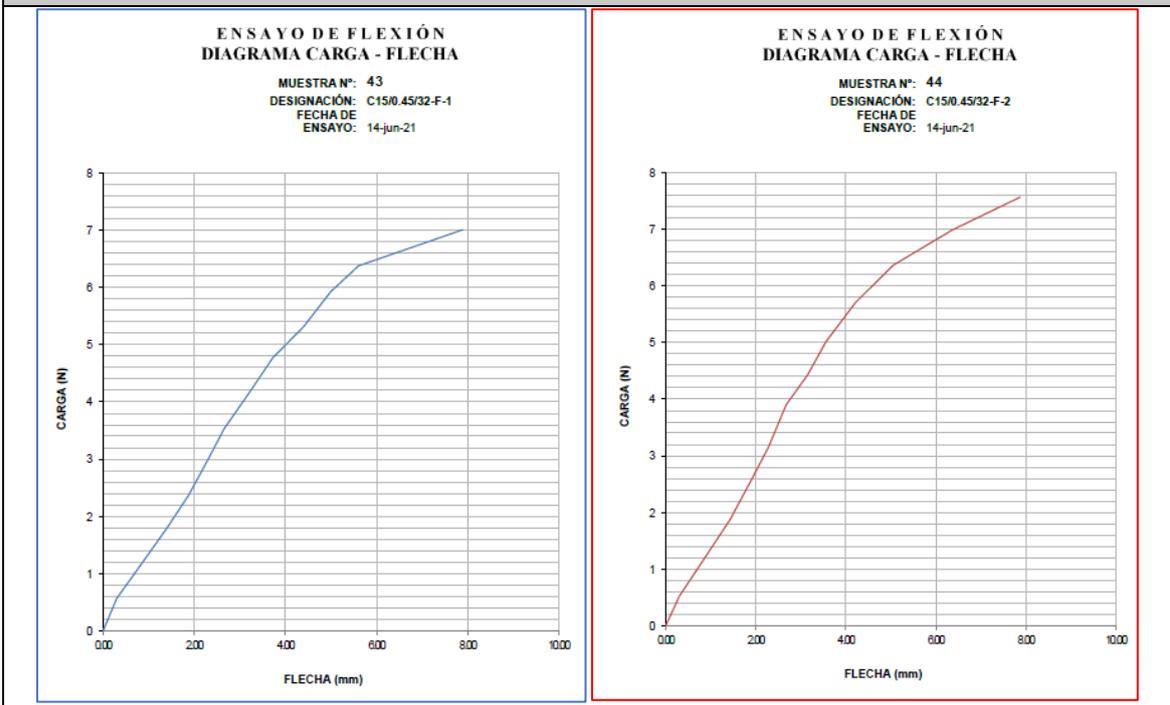
Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	16.46	Elaborado por:	Sr. Andrés Tintín
Módulo de elasticidad (MPa):	934.67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	8.97	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	6.29	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

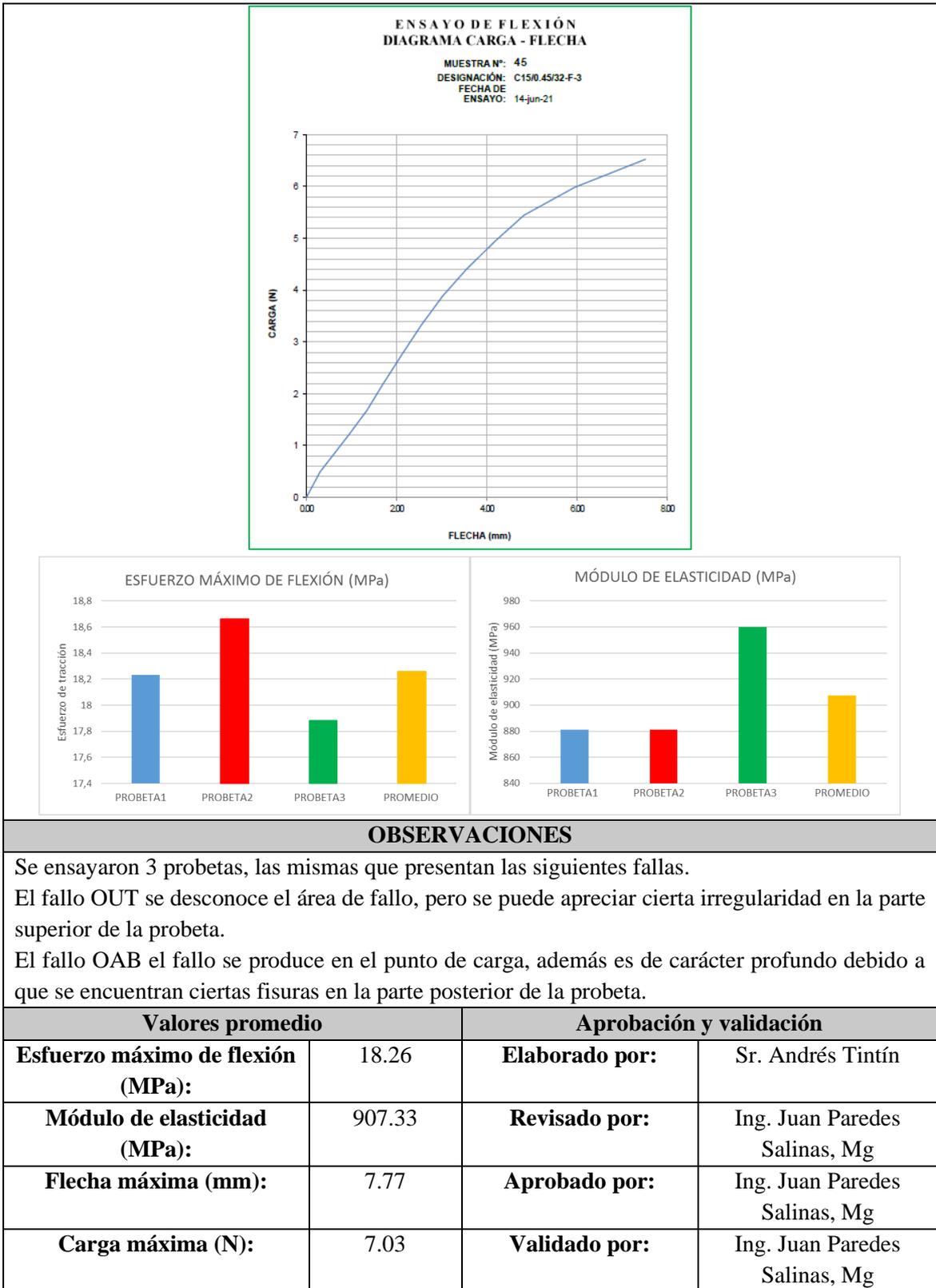
Tabla 3.30: Recolección de datos ensayo a flexión CASO 15 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C15/0.45/32-F		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Laboratorio LenMav - Ensayo de Materiales – Riobamba, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	3.01
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.55
Peso de la fibra:	3.79	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	32 días
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	7	18.23	7.9	881	OUT
2	7.56	18.66	7.88	881	OUT
3	6.52	17.88	7.52	960	OAB
PROBETAS ENSAYADAS					



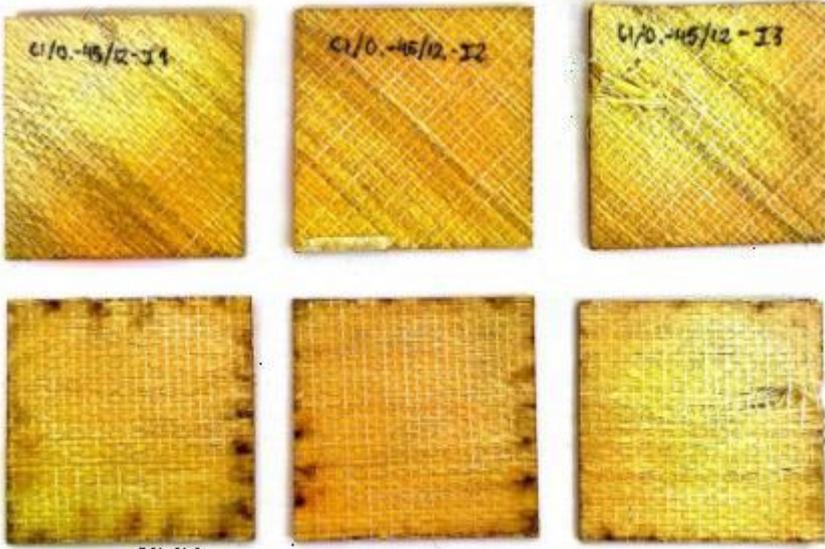
GRÁFICAS





3.1.1.3. Fichas técnicas de ensayo a impacto

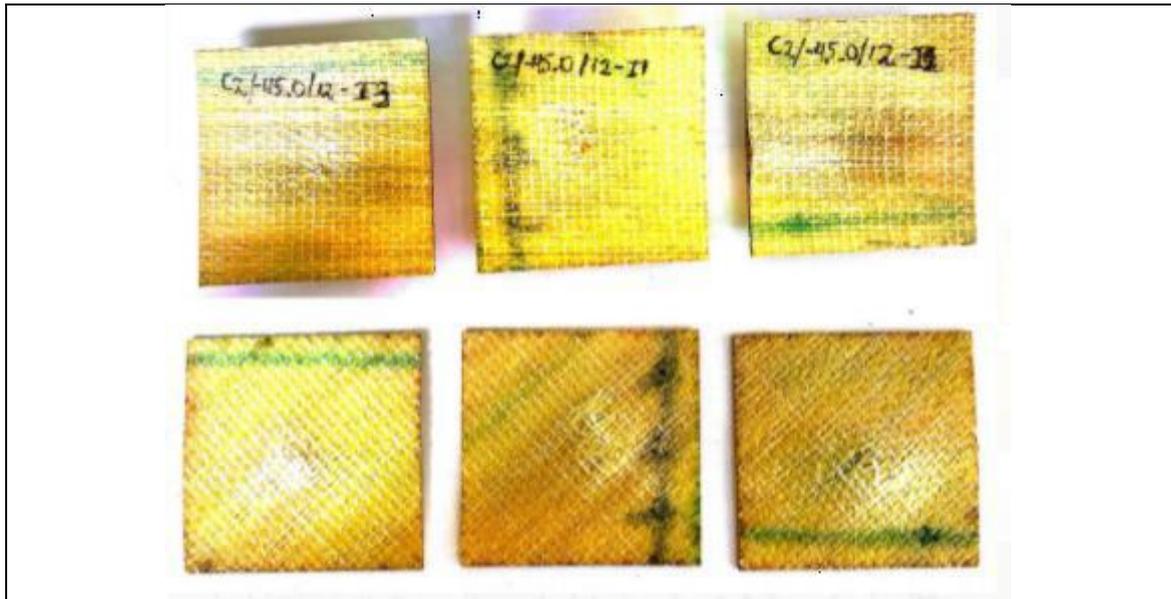
Tabla 3.31: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 1 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C1/0.-45/12-I		
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.57
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.61
Peso de la fibra:	5.82	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	12 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla

1	200	0.287	0.352	1.253718	A No falla
2	300	0.287	0.352	1.880577	A No falla
3	400	0.287	0.352	2.507436	C Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas. A una altura media de falla de 200mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.253718 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A. A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.880577 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A. A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.507436 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.32: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 2 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
IMPACTO ASTM D5628-10							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C2/-45.0/12-I				
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto				
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.39		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de la fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.70		
Peso de la fibra:	5.50	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	12 días		
PROBETAS ENSAYADAS							



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	250	0.287	0.352	1.5671475	A No falla
2	350	0.287	0.352	2.1940065	D Falla
3	400	0.287	0.352	2.507436	D Falla

OBSERVACIONES

Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.

A una altura media de falla de 250mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.5671475 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.

A una altura media de falla de 350mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.1940065 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo D.

A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.507436 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo D.

Elaborado por:

Revisado, aprobado y validado por:

Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza

Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.33: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 3 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
IMPACTO ASTM D5628-10			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C3/45.0/12-I
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

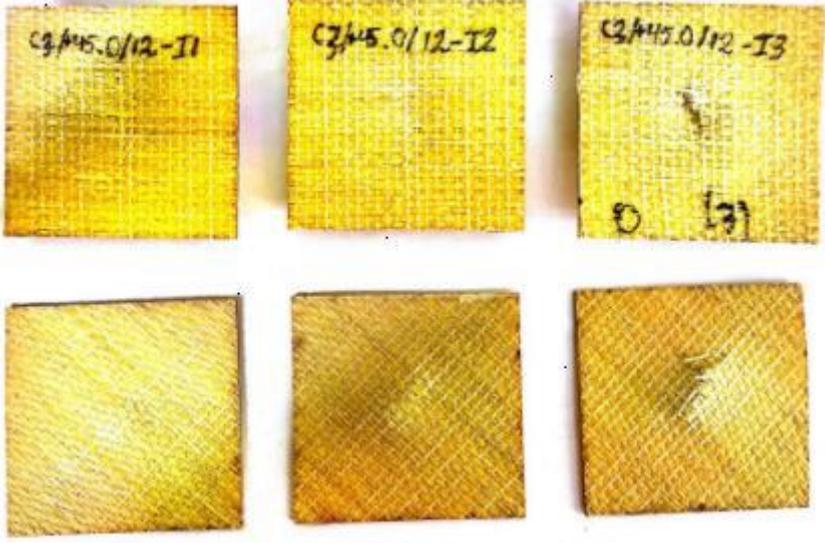
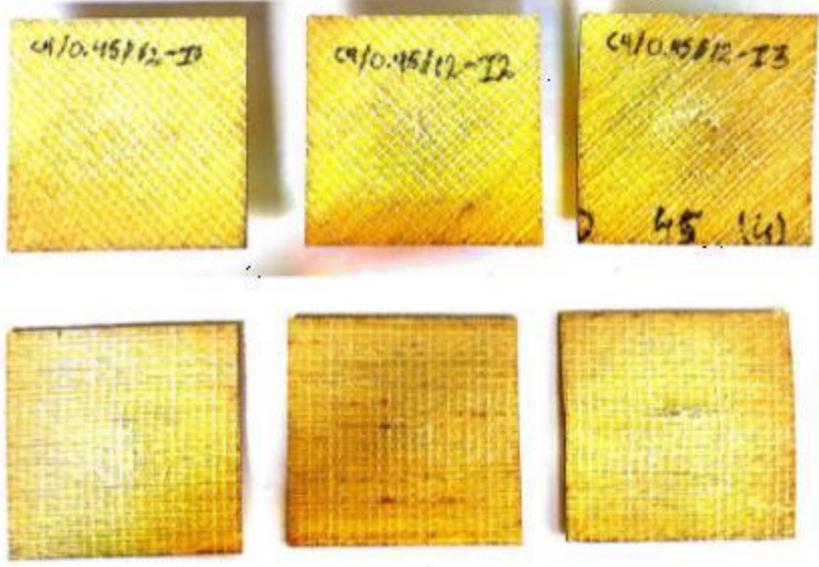
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.4
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.63
Peso de la fibra:	5.49	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	12 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	200	0.287	0.352	1.253718	A No falla
2	300	0.287	0.352	1.880577	A No falla
3	400	0.287	0.352	2.507436	D Falla
OBSERVACIONES					
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.					
A una altura media de falla de 200mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.253718 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.					
A una altura media de falla de 300mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.880577 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A.					
A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.507436 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo D.					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.34: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 4 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C4/0.45/12-I		
Fecha de ejecución:	25/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.52
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.65
Peso de la fibra:	5.96	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	12 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	300	0.287	0.352	1.880577	A No falla

2	350	0.287	0.352	2.1940065	A No falla
3	400	0.287	0.352	2.507436	C Falla
OBSERVACIONES					
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas. A una altura media de falla de 300mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.880577 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A. A una altura media de falla de 350mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.1940065 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A. A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.507436 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.35: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 5 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO					
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
IMPACTO ASTM D5628-10							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C5/-45.-45/22-I				
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto				
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.63		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de la fibra:	-45°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.62		
Peso de la fibra:	6.32	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	22 días		
PROBETAS ENSAYADAS							

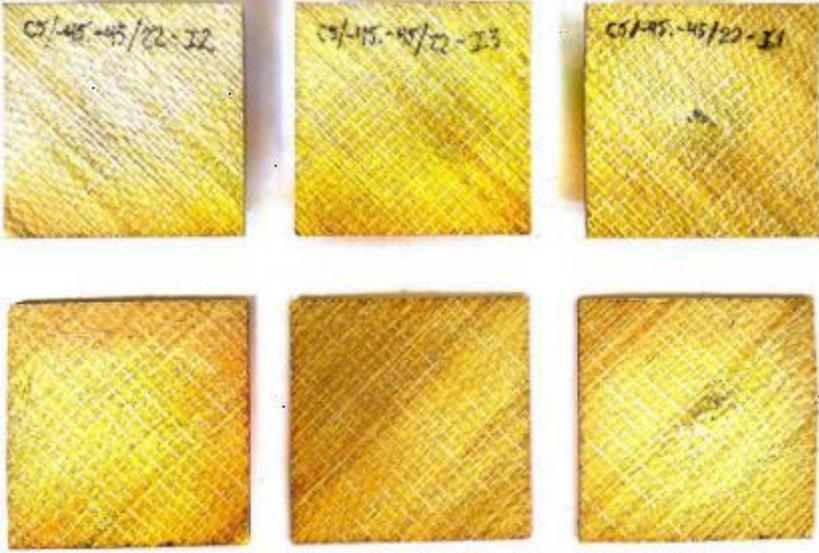
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0.287	0.615	3.539448	A No falla
2	450	0.287	0.615	3.981879	A No falla
3	500	0.287	0.615	4.42431	D Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.539448 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 450mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.981879 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 500mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 4.42431 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo D.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.36: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 6 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C6/45.-45/22-I		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		

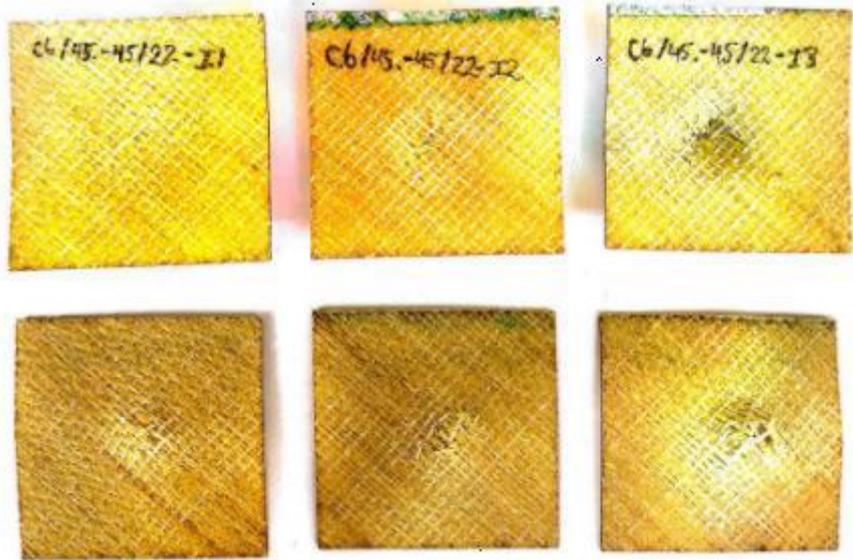
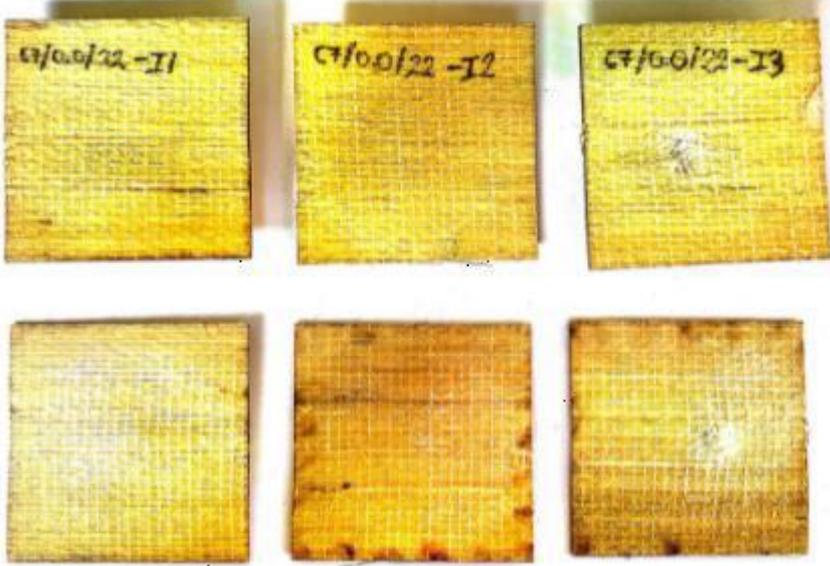
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.30
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.59
Peso de la fibra:	5.26	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	22 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	200	0.287	0.615	1.769724	A No falla
2	300	0.287	0.615	2.654586	C Falla
3	400	0.287	0.615	3.539448	D Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 200mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.769724 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 300mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.654586 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo C.</p> <p>A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.539448 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo D.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.37: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 7 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C7/0.0/22-I		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.63
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.6
Peso de la fibra:	6.2	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	22 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla

1	400	0.287	0.615	3.539448	A No falla
2	500	0.287	0.615	4.42431	A No falla
3	600	0.287	0.615	5.309172	C Falla
OBSERVACIONES					
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas. A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.539448 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A. A una altura media de falla de 500mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 4.42431 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A. A una altura media de falla de 600mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 5.309172 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.38: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 8 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C8/0.0/22-I		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.43
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.61
Peso de la fibra:	5.6	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	22 días
PROBETAS ENSAYADAS					

RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0.287	0.615	3.539448	A No falla
2	450	0.287	0.615	3.981878	A No falla
3	500	0.287	0.615	4.42431	C Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.539448 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 450mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.981878 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 500mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 4.42431 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.39: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 9 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C9/0.0/22-I		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		

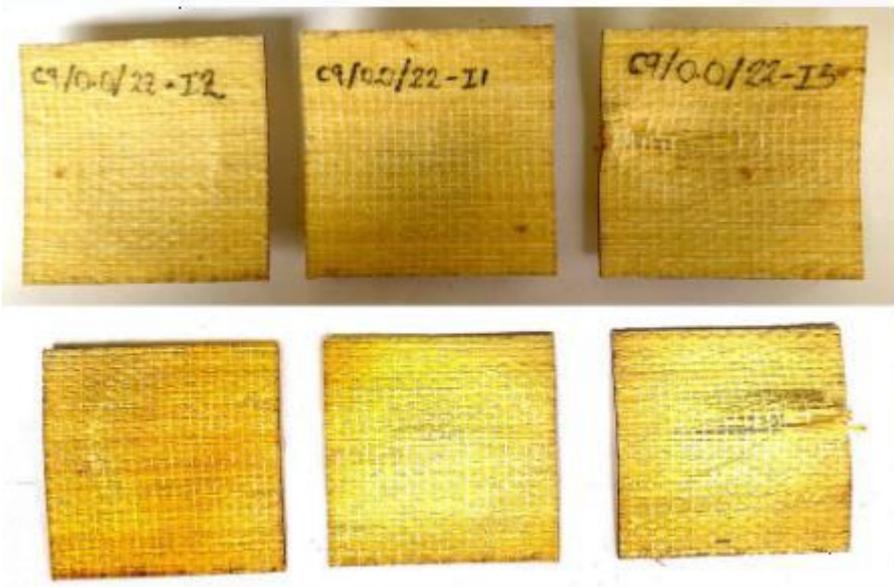
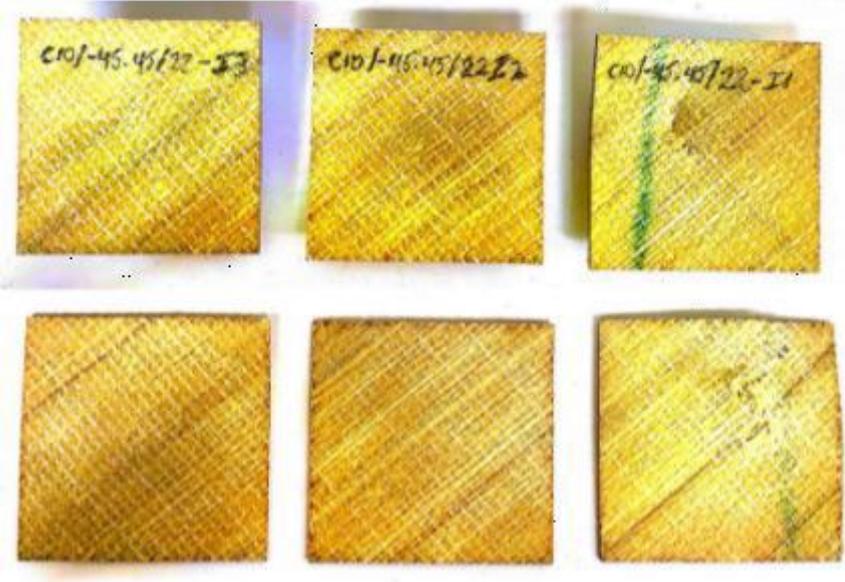
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.7
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.58
Peso de la fibra:	5.55	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	22 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	300	0.287	0.615	2.654586	A No falla
2	400	0.287	0.615	3.539448	A No falla
3	500	0.287	0.615	4.42431	C Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 300mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.654586 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.539448 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 500mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 4.42431 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.40: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 10 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C10/-45.45/22-I		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.64
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	-45°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.62
Peso de la fibra:	5.99	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	22 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla

1	400	0.287	0.615	3.539448	A No falla
2	450	0.287	0.615	3.981879	A No falla
3	500	0.287	0.615	4.42431	C Falla
OBSERVACIONES					
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas. A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.539448 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A. A una altura media de falla de 450mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.981879 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A. A una altura media de falla de 500mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 4.42431 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.41: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 11 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C11/45.45/22-I		
Fecha de ejecución:	04/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.54
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	45°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.64
Peso de la fibra:	5.95	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	22 días
PROBETAS ENSAYADAS					

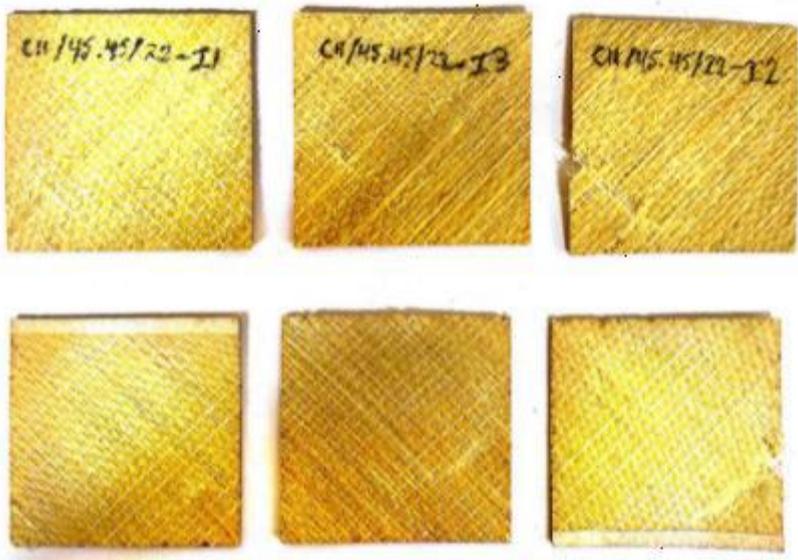
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	450	0.287	0.615	3.981879	A No falla
2	550	0.287	0.615	4.866741	A No falla
3	650	0.287	0.615	5.751603	C Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 450mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.981879 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 550mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 4.866741 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 650mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 5.751603 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.42: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 12 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C12/0.-45/32-I		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		

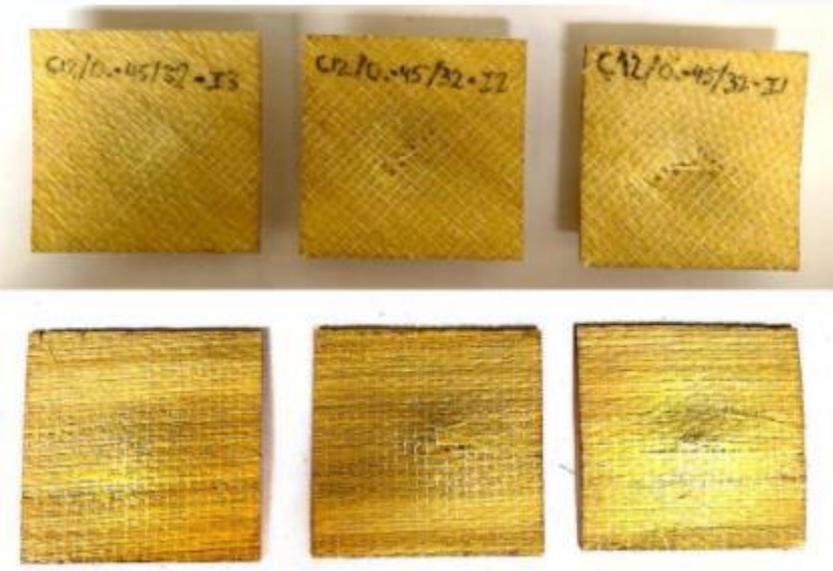
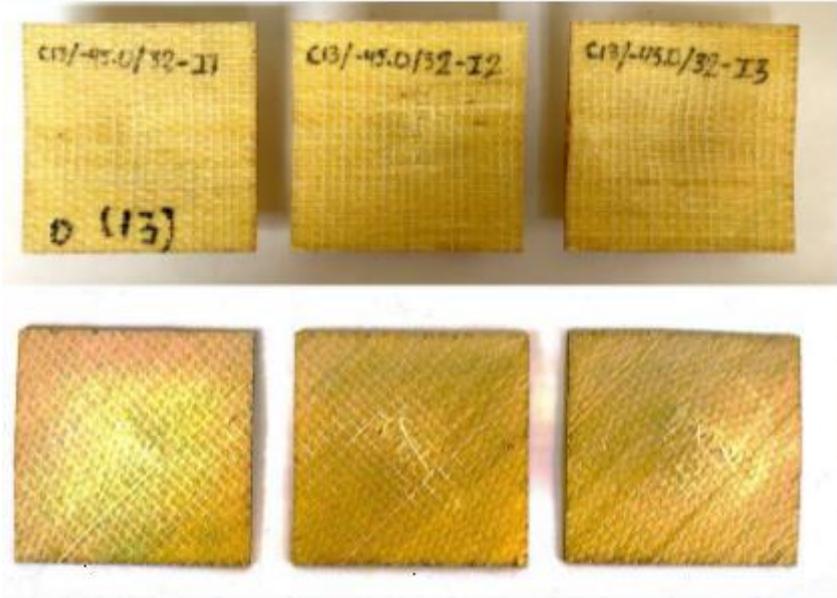
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.6
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.67
Peso de la fibra:	5.54	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	32 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	200	0.287	0.571	1.683396	A No falla
2	250	0.287	0.571	2.104245	C Falla
3	300	0.287	0.571	2.525094	C Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 200mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.683396 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 250mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.104245 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 300mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.525094 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.43: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 13 [Autor].

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C13/-45.0/32-I		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.07
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.68
Peso de la fibra:	5.09	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	32 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla

1	100	0.287	0.571	0.841698	A No falla
2	150	0.287	0.571	1.262547	C Falla
3	200	0.287	0.571	1.683396	C Falla
OBSERVACIONES					
Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas. A una altura media de falla de 100mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 0.841698 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A. A una altura media de falla de 150mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.262547 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A. A una altura media de falla de 200mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.683396 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.44: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 14 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
		CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C14/0.45/32-I		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.71
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.69
Peso de la fibra:	5.53	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	32 días
PROBETAS ENSAYADAS					

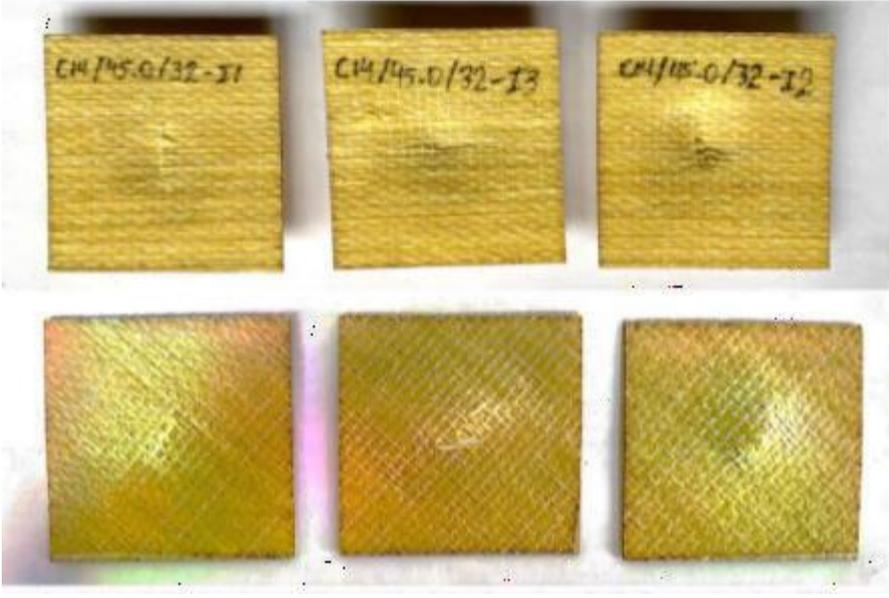
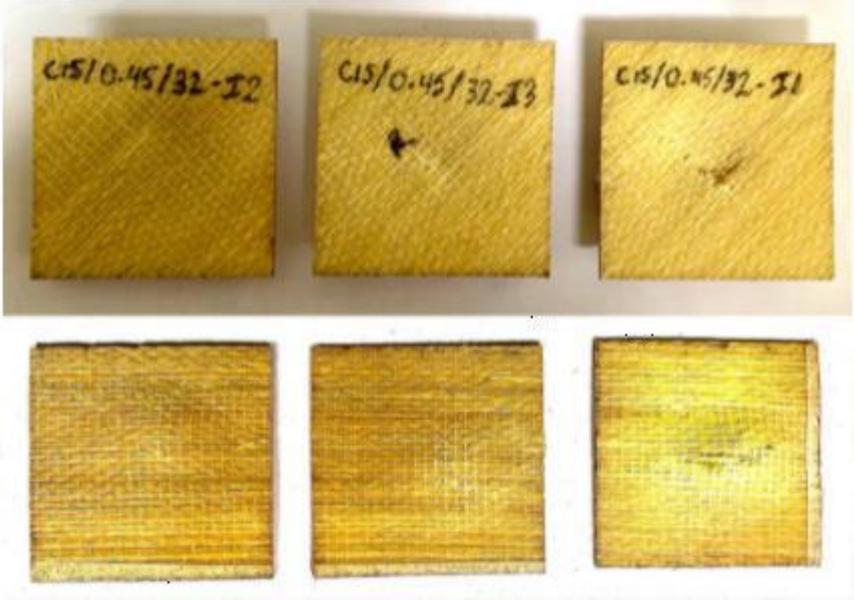
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	150	0.287	0.571	1.262547	A No falla
2	200	0.287	0.571	1.683396	C Falla
3	250	0.287	0.571	2.104245	C Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 150mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.262547 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 200mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 1.683396 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo C.</p> <p>A una altura media de falla de 250mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.104245 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.45: Recolección de datos ensayo a impacto CASO 15 [Autor].

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C15/0.45/32-I		
Fecha de ejecución:	14/06/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Andrés Tintín	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		

Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología – Universidad Técnica de Ambato – Ambato, Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR 2032	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	4.64
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	Ambiente	Estratificación:	Al vacío
Orientación de la fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH-FCH	Espesor promedio (mm):	1.62
Peso de la fibra:	5.83	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J)	Tiempo de curado:	32 días
PROBETAS ENSAYADAS					
					
RESULTADOS					
N° de probetas	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de falla
1	300	0.287	0.571	2.525094	A No falla
2	400	0.287	0.571	3.366792	A No falla
3	500	0.287	0.571	4.20849	C Falla
OBSERVACIONES					
<p>Se ensayaron 3 probetas, las mismas que presentan las siguientes fallas.</p> <p>A una altura media de falla de 300mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 2.525094 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 1 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 400mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 3.366792 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A.</p> <p>A una altura media de falla de 500mm, con una masa aplicada de 0.287 kg y una energía de falla de 4.20849 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo C.</p>					
Elaborado por:			Revisado, aprobado y validado por:		
Sr. Andrés Santiago Tintín Chicaiza			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

3.2. Análisis y discusión de resultados

A continuación, en la tabla 3.46 se encuentran cada uno de los resultados obtenidos mediante los ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto; con dichos valores se procederá a determinar los resultados de la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

Tabla 3.46: Resultados de ensayos de tracción, flexión e impacto [Autor].

RESULTADO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO									
MATERIAL	LÁMINA EPOXI REFORZADO - FIBRA DE CHAMBIRA								
Factores	Propiedades mecánicas a tracción				Propiedades mecánicas a flexión				Impacto
	Carga Máxima (N)	Esf. Máximo (Mpa)	Mód. Elasticidad (Mpa)	Elongación (%)	Carga Máxima (N)	Esf. Máximo (Mpa)	Mód. Elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Energía de fallo (J)
Caso 1	1180	28	1200	2,5	5,35	13,25	705	9,94	2,507436
	1220	29	1210	2,5	4,52	14,48	985	9,56	
	1280	37	1450	2	3,92	10,15	634	11,87	
Caso 2	1360	37	1370	1,5	4,91	13,81	934	10,3	2,507436
	1280	30	1180	1,5	5,14	13,8	1120	8,42	
	1380	38	1370	1,5	4,91	11,29	810	10,12	
Caso 3	1180	28	1170	0,5	4,73	13,3	1400	11,12	2,507436
	1440	38	460	1	4,72	13,05	1000	11,42	
	1080	29	1370	0,5	4,25	10,17	1060	11,6	
Caso 4	1920	57	580	1	6,77	18	830	10,52	2,507436
	1760	49	840	1,5	7,16	19,81	1350	8,92	
	1800	49	600	1,5	5,79	14,36	1130	11,83	
Caso 5	220	4,98	233,3	15,4	2,45	5,22	261	7,94	4,42431
	230	5,54	263,9	16,26	2,79	6,76	341	7,56	
	230	5,47	306,4	16,4	2,39	5,53	200	8,39	
Caso 6	280	8,08	30,31	18,62	3,17	9,36	508	11,12	3,539448
	280	7,25	43,13	15,12	3,81	10,54	850	11,73	
	290	7,84	44,21	15,66	3,01	10,3	342	12,14	
Caso 7	260	6,25	55,44	6,02	1,44	3,85	169	11,19	5,309172
	270	6,85	53,11	5,64	1,39	3,66	154	12,59	
	240	6,37	64,43	7,84	1,65	4,31	246	7,84	
Caso 8	240	6,56	69,52	5,1	1,65	5,45	192	12,46	4,42431
	250	7,42	99,2	4,62	1,66	5,02	208	9,57	
	250	7,11	82,01	4,74	1,99	5,94	248	10,02	
Caso 9	2360	59	5930	3	14,49	38,17	1370	7,96	4,42431
	1980	52	5120	1	16,33	48,91	2010	7,12	
	2540	74	6560	0,5	19,76	65,01	3030	7,46	
	160	3,85	499	1,36	3,66	9,33	590	12,45	4,42431

Caso 10	180	4,77	628,1	0,76	3,77	9,52	534	10,59	
	200	5	846,9	2,36	3,68	7,79	326	10,61	
Caso 11	200	5,41	139,1	16,66	2,04	5,8	195	9,53	5,751603
	180	4,49	59,92	15,48	1,52	5,12	393	10,19	
	200	5,98	137	13,78	1,98	5,91	207	12,74	
Caso 12	1040	29,69	1490	5	5,57	18,85	1520	9,46	2,525094
	1140	30,83	3628	2	6,47	13,88	729	7,67	
	1230	32,88	3706	1,5	6,55	18,69	1060	10,18	
Caso 13	1530	42,19	3503	5	6,57	17,34	888	10,1	1,683396
	1800	46,95	3601	2	3,78	10,41	689	10,87	
	1420	36,22	2511	1,5	5,27	12,71	783	9,37	
Caso 14	1400	36,41	2998	5	6,45	17,09	899	7,6	2,104245
	1370	38,8	3537	2	6,15	16,63	865	9,69	
	1470	38,45	3363	1,5	6,28	15,66	1040	9,61	
Caso 15	620	18,1	3765	5	7	18,23	881	7,9	4,20849
	550	15,3	3124	2	7,56	18,66	881	7,88	
	640	16,5	3080	1,5	6,52	17,88	960	7,52	

3.2.3. Verificación de supuestos paramétricos

Prueba de normalidad

Para la verificación de la distribución de normalidad se utiliza la prueba de Anderson Darling, en esta se instaura las significancias de la prueba con las significancias establecidas, debido a que los valores deben cumplir con el supuesto de normalidad $p > 0.005$ para que la hipótesis nula no sea rechazada.

Igualdad de varianzas

Se lo realiza para comprobar que los tratamientos de los residuos del trabajo experimental tengan varianzas iguales, para ello se aplica la prueba de Levene, misma que ayudará a identificar la significancia calculada y predefinida.

Independencia de residuos

Se efectúa un análisis visual, es decir observar la gráfica tal y como se muestra en la figura.

3.2.4. Análisis de ensayo a tracción

3.2.4.1. Análisis del esfuerzo máximo a la tracción (S_{ut})

Se lleva a cabo el análisis de superficie de respuesta del ensayo a tracción para el esfuerzo máximo a la tracción (S_{ut}), para ello se utiliza un modelo con términos cuadráticos e interacciones hasta segundo grado; también, se contrasta la significancia de cada uno de los términos, así como el cumplimiento de los supuestos. Es importante recalcar que, si el cumplimiento de los supuestos no se cumpliera, se transformarían los valores ejecutando la transformación de Box-Cox. No obstante, hay ocasiones en los cuales los valores no se comportan normalmente debido a varios factores, por lo que se verifica los supuestos en la gráfica de residuos según el criterio del investigador. Así se muestra en la siguiente figura.

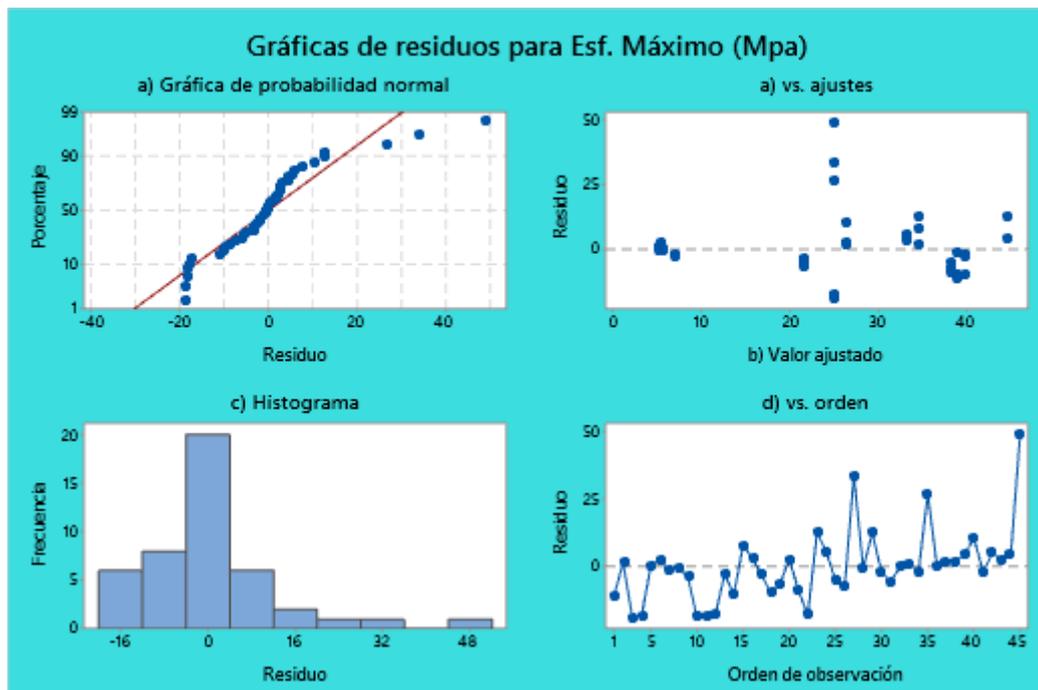


Figura 3.1: Análisis de residuos del Esfuerzo máximo a tracción: a) Gráfica de probabilidad normal, b) Gráfica de residuos vs ajustes, c) Gráfica de histograma, d) Gráfica de residuos vs orden [Minitab].

La figura 3.1 muestra la gráfica de probabilidad normal en la cual se puede observar la agrupación de los valores del S_{ut} de acuerdo a la pendiente establecida, esto determina que los datos tienen una distribución normal; también se pueden observar la gráfica de residuos vs ajustes en la cual se comprueba el supuesto de igualdad de varianza; además muestra la independencia de residuos por medio de la gráfica de residuos vs orden, en la cual se puede ver que no existe ningún patrón u orden determinado.

Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.47: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Sut [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del ensayo de tracción en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	H₁: “Los datos del ensayo de tracción en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan igualdad de varianza”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
Estadístico de prueba:	Levene= 0.89	Valor-p= 0.563	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos del ensayo a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Análisis de varianza

Se realiza un primer análisis que contenga todos los términos de un modelo cuadrático con el objetivo de obtener el diagrama de Pareto en el cual se analizan los efectos más importantes con la finalidad de ignorar los efectos que no sean relevantes con el esfuerzo máximo a tracción. Como se puede observar en la figura 3.2 la interacción de los días de curado, la orientación 2 y la interacción entre la orientación 2 y los días de curado influyen de manera muy importante.

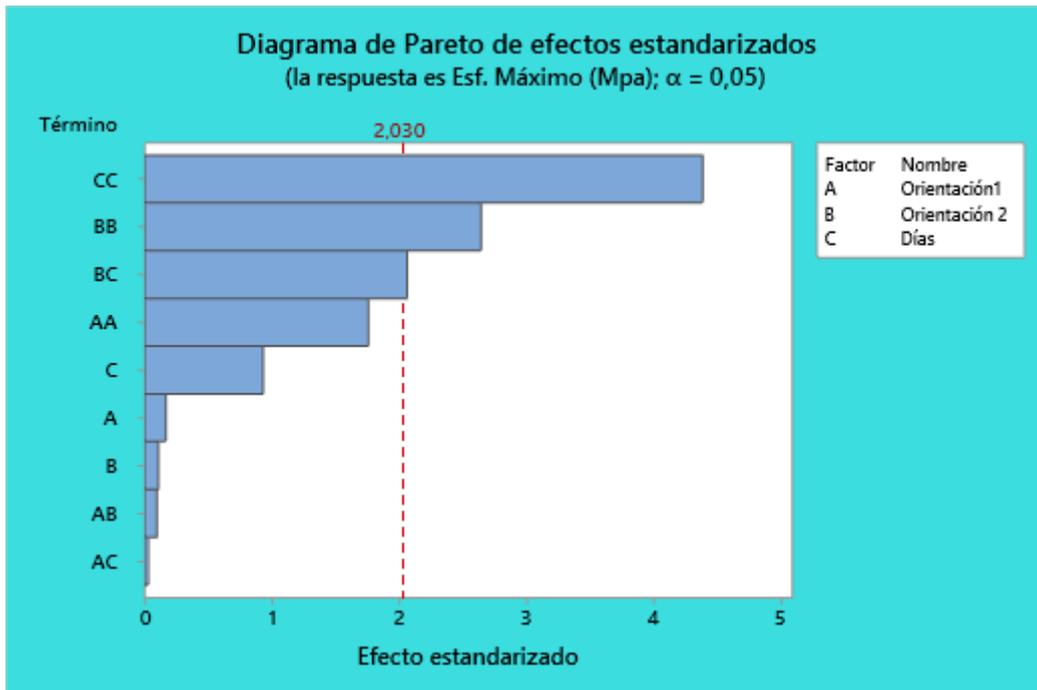


Figura 3.2: Análisis de la gráfica de Pareto para el Esfuerzo máximo a tracción [Minitab].

De acuerdo a como vaya subiendo la interacción de la orientación 1 y los días de curado, la resistencia a la tracción aumenta.

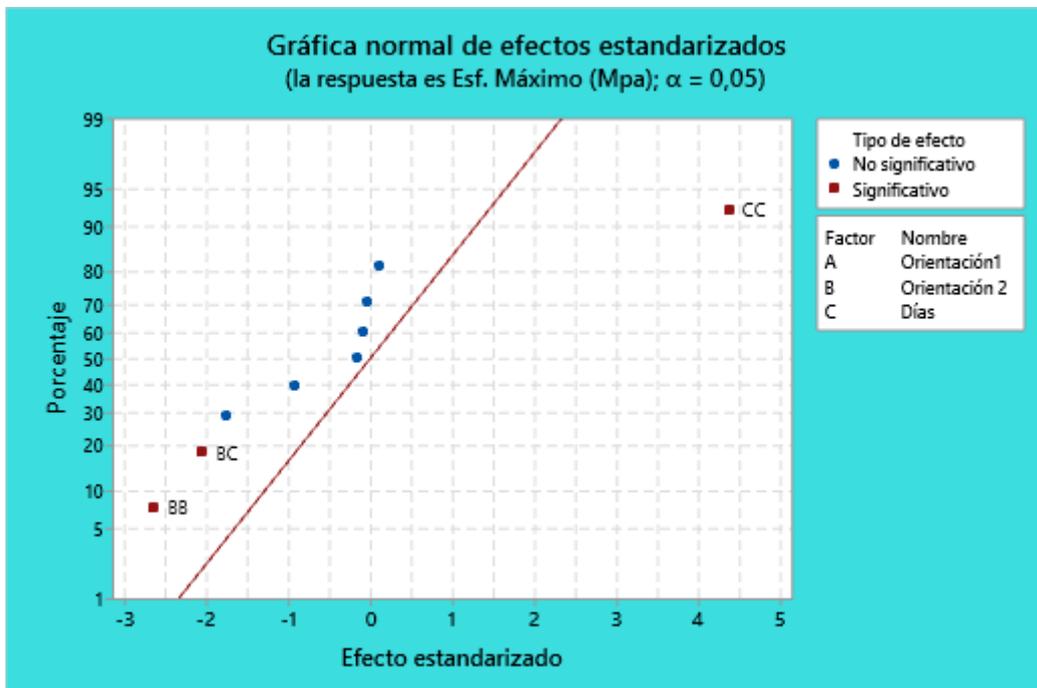


Figura 3.3: Análisis de los efectos significativos del Esfuerzo máximo a tracción [Minitab]

En la siguiente tabla 3.48 se observa el análisis ANOVA para el Esfuerzo máximo a tracción (Sut), en el cual se puede ver la variabilidad que existe en los datos, mismos que tienen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, discrepando la significancia calculada y definida de 0.0 y 0.05 correspondientemente, también el modelo explica un ajuste del 38.77% de la variabilidad del Esfuerzo máximo a tracción (Sut).

Tabla 3.48: Análisis ANOVA para el Esfuerzo máximo a tracción [Minitab].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	7886,7	876,30	4,10	0,001
Lineal	3	194,1	64,69	0,30	0,823
Orientación1	1	6,3	6,26	0,03	0,865
Orientación 2	1	2,6	2,56	0,01	0,914
Días	1	185,3	185,26	0,87	0,359
Cuadrado	3	6780,4	2260,12	10,56	0,000
Orientación1*Orientación1	1	660,8	660,78	3,09	0,088
Orientación 2*Orientación 2	1	1494,9	1494,87	6,99	0,012
Días*Días	1	4103,2	4103,15	19,17	0,000
Interacción de 2 factores	3	912,3	304,09	1,42	0,253
Orientación1*Orientación 2	1	2,0	2,02	0,01	0,923
Orientación1*Días	1	0,2	0,24	0,00	0,973
Orientación 2*Días	1	910,0	910,02	4,25	0,047
Error	35	7489,7	213,99		
Falta de ajuste	3	943,8	314,60	1,54	0,224
Error puro	32	6545,9	204,56		
Total	44	15376,4			

A continuación, se presenta la figura 3.4 de los efectos principales para el Sut, en esta gráfica muestra que los efectos de los factores de la orientación 1 con la orientación 2 son significativos en relación al esfuerzo máximo de tracción, esto se lo analiza con las curvas presentadas, ya que entre más prolongadas sean, mayor será el efecto; por el contrario, se puede ver que los días de curado no presenta esta prolongación por lo que se puede decir que no es un factor con significancia.

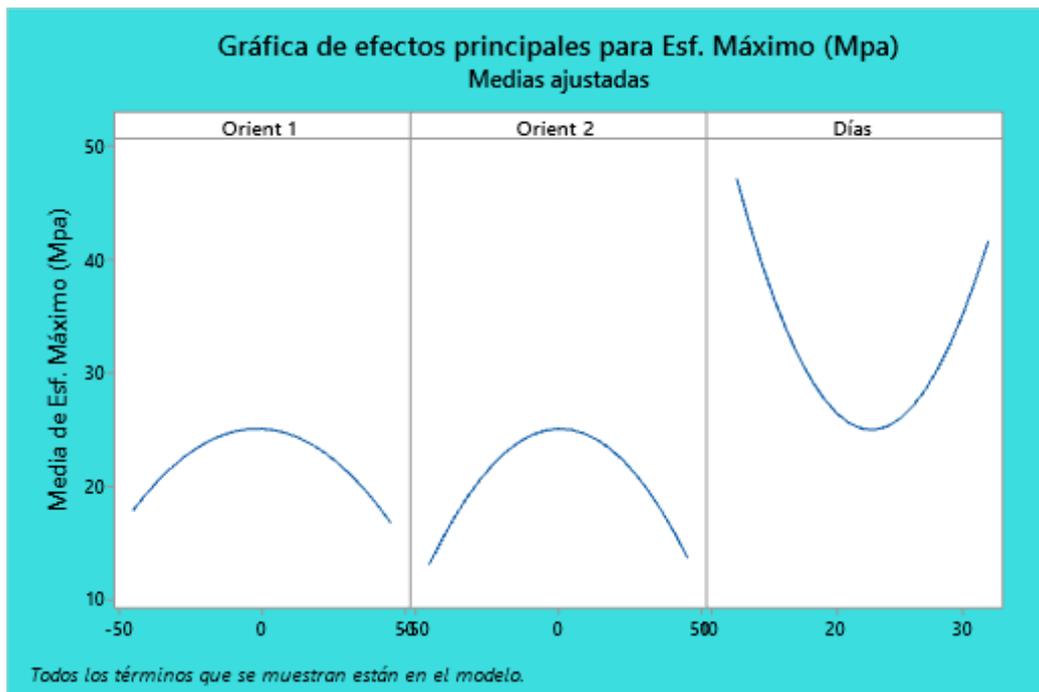


Figura 3.4: Análisis de efectos principales para el Esfuerzo máximo a tracción [Minitab].

En la gráfica de interacción para el Sut en la figura 3.5 se puede observar los efectos significativos teniendo así en este caso a los efectos de interacción entre la orientación 1 vs orientación 2 y la orientación 2 vs los días de curado.

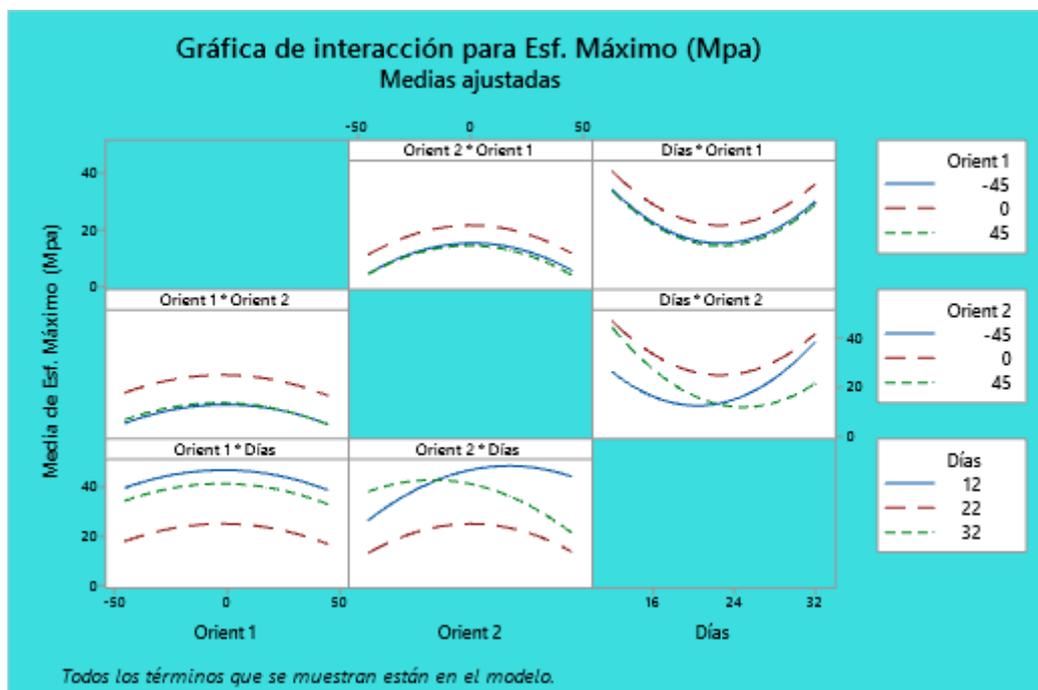


Figura 3.5: Análisis de interacciones para el Esfuerzo máximo a tracción [Minitab].

Según la ecuación de regresión obtenida a través del análisis de varianza ANOVA se debe examinar las superficies de respuestas de la figura 3.6, en la cual se puede observar cómo se comporta el esfuerzo máximo a tracción en relación a cada factor de entrada.

En la gráfica a), el valor más alto del esfuerzo máximo se lo obtiene en una combinación de orientación 1 y orientación 2 a 0° , mientras que en la gráfica b) se obtiene un esfuerzo alto al combinar una orientación de 0° a 10 y 30 días de curado y finalmente en la gráfica c) se tiene una alta resistencia cuando se combina una orientación entre -45° y 0° con un tiempo de curado de 30 días.

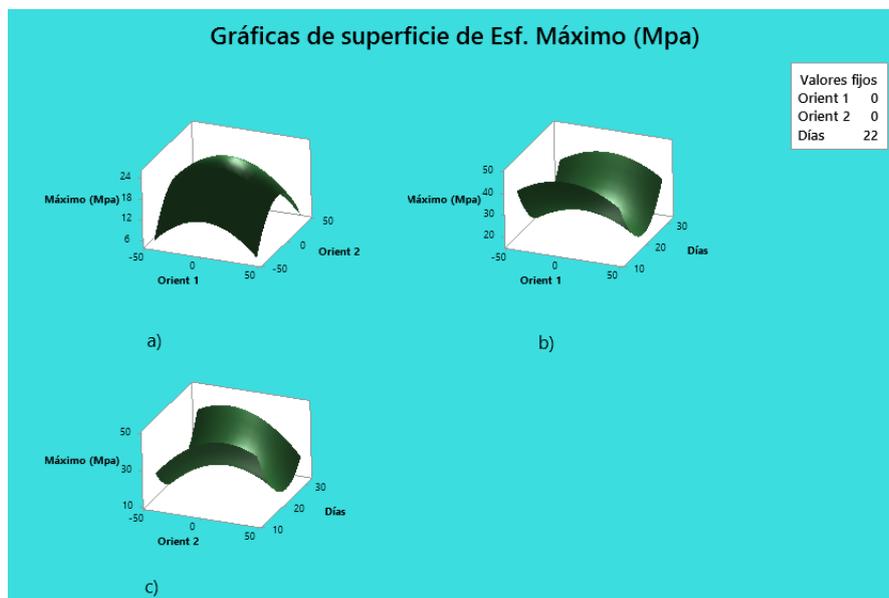


Figura 3.6: Análisis de superficie de respuesta para el Esfuerzo máximo a tracción [Minitab].

Optimización del esfuerzo máximo a la tracción

Aplicando la función de deseabilidad, se puede agrupar los factores analizados con el fin de definir una combinación única que sea óptima para el esfuerzo máximo a tracción, a continuación, en la figura 3.7 se muestra lo anteriormente mencionado.

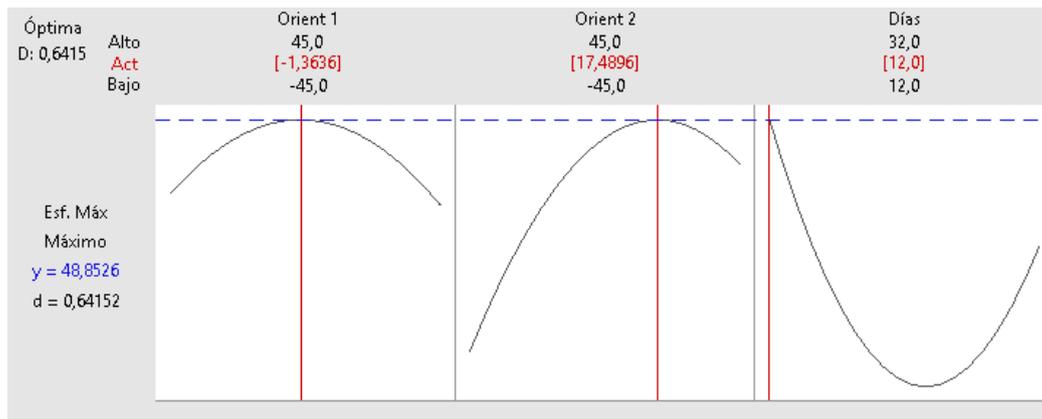


Figura 3.7: Análisis de optimización para el Esfuerzo máximo a tracción [Minitab].

En la tabla 3.49 se muestra los valores óptimos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado un valor máximo del esfuerzo a tracción.

Tabla 3.49: Valores óptimos para el esfuerzo máximo a tracción [Autor].

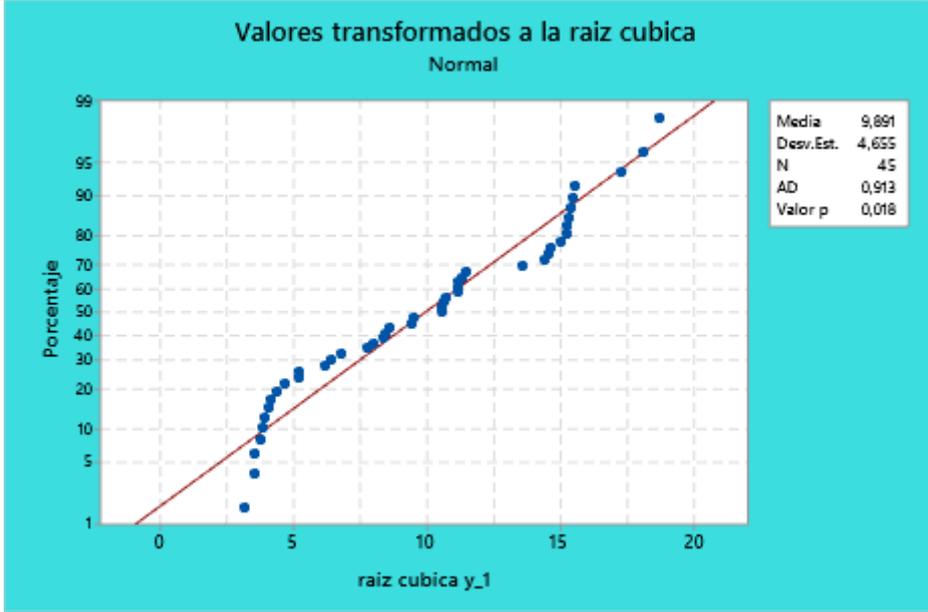
Factores	Valores óptimos	Esfuerzo máximo a tracción (MPa)
Orientación 1	-1.36 °	48.85
Orientación 2	17.48°	
Días de curado	12	

3.2.4.2. Análisis del módulo de elasticidad

Para el módulo de elasticidad (E) se lleva a cabo el análisis de superficie de repuesta, para ello se utiliza un modelo con términos cuadráticos e interacciones hasta segundo grado; también, se contrasta la significancia de cada uno de los términos, así como el cumplimiento de los supuestos. Es importante recalcar que, si el cumplimiento de los supuestos no se cumpliera, se transformarían los valores ejecutando la transformación de Box-Cox, en este caso se realizó la transformación de tal manera que $y' = \sqrt[3]{y}$, siendo y el **Módulo de elasticidad** y y' el **nuevo valor transformado**.

Prueba de normalidad

Tabla 3.50: Análisis del supuesto de normalidad para el Módulo de elasticidad a tracción [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del módulo de elasticidad a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan una distribución normal”.		
	H₁: “Los datos del módulo de elasticidad a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan una distribución normal”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
			
Estadístico de prueba:	Anderson Darling= 0.913	Valor-p= 0.018	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos del módulo de elasticidad del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen una distribución normal.		

Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.51: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Módulo de elasticidad a tracción [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del módulo de elasticidad a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	H₁: “Los datos del módulo de elasticidad a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan igualdad de varianza”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
Estadístico de prueba:	Levene= 0.98	Valor-p= 0.490	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos del módulo de elasticidad del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Verificación de residuos

Como se puede observar en la figura 3.8, los datos presentan una independencia de residuos ya que no sigue un orden o patrón determinado.

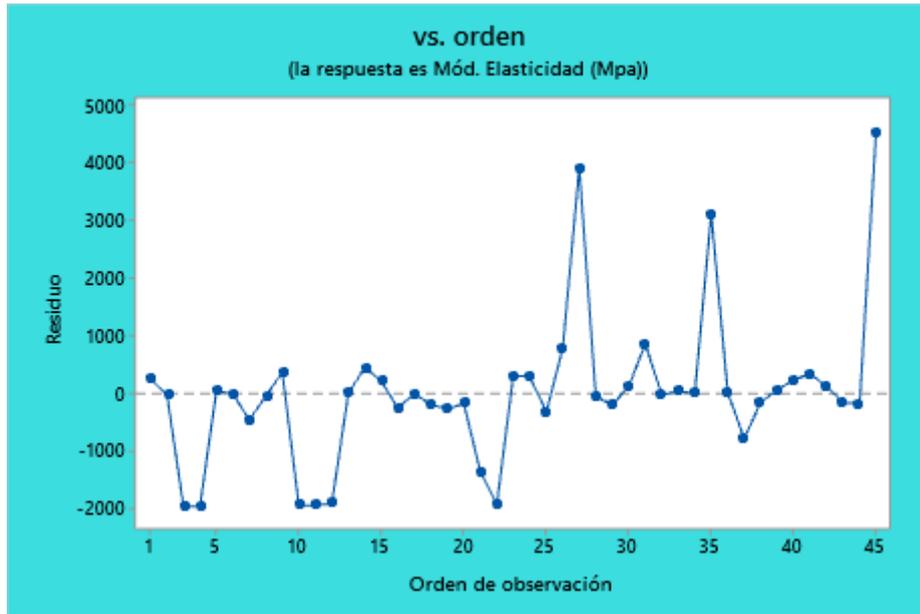


Figura 3.8: Análisis de gráfica de residuos vs orden del Módulo de elasticidad a tracción [Minitab].

Análisis de varianza

Se realiza un primer análisis que contenga todos los términos de un modelo cuadrático con el objetivo de obtener el diagrama de Pareto en el cual se analizan los efectos más importantes con la finalidad de ignorar los efectos que no sean relevantes con el módulo de elasticidad a tracción. Como se puede observar en la figura 3.2 la interacción de los días de curado y la orientación 2 influyen de manera muy importante.

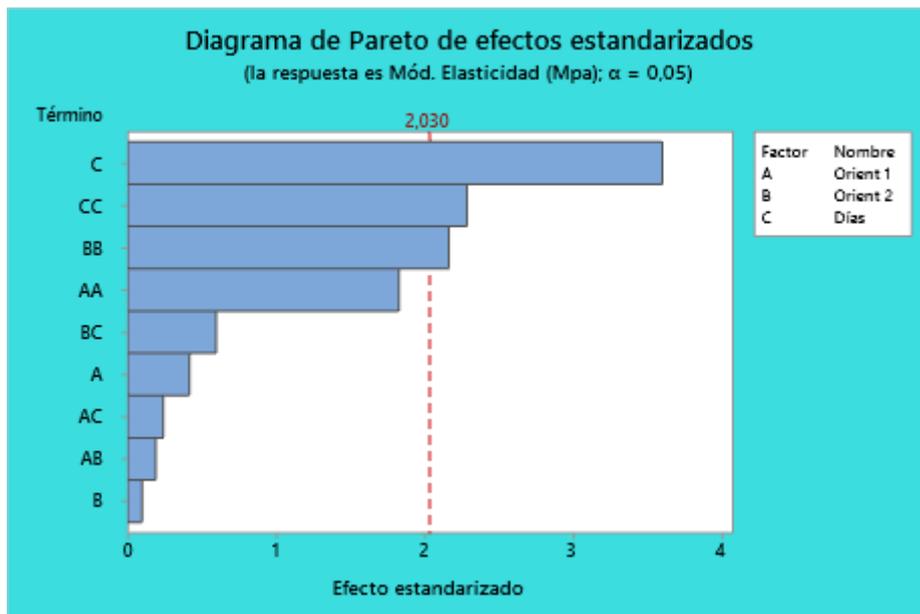


Figura 3.9: Análisis de la gráfica de Pareto para el Módulo de elasticidad a tracción [Minitab].

De acuerdo a como vaya subiendo la interacción de los días de curado y la orientación 2, el módulo de elasticidad a tracción aumenta.

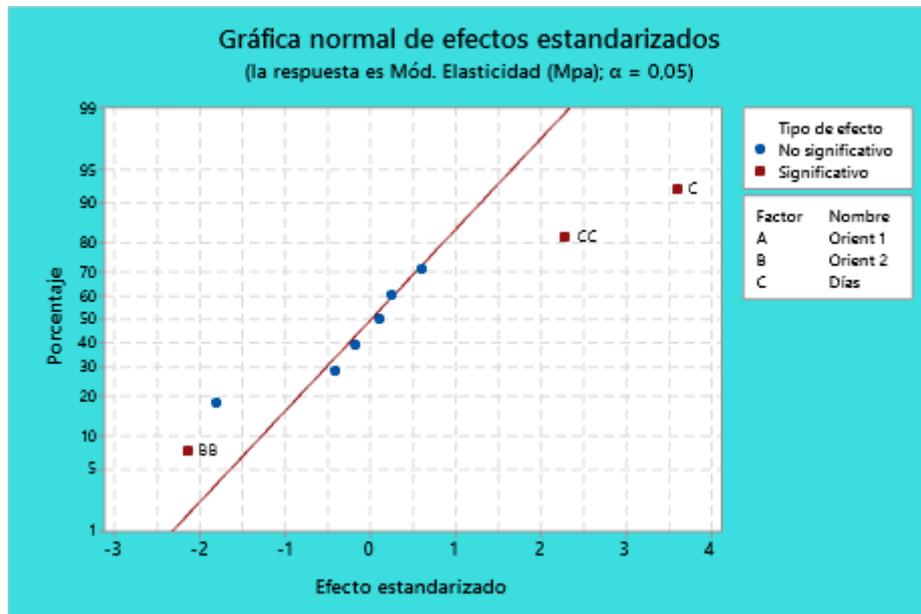


Figura 3.10: Análisis de los efectos significativos del Módulo de elasticidad a tracción [Minitab]

En la siguiente tabla 3.52 se observa el análisis ANOVA para el Módulo de elasticidad a tracción, en el cual se puede ver la variabilidad que existe en los datos, mismos que tienen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, discrepando la significancia calculada y definida de 0.0 y 0.05 correspondientemente, también el modelo explica un ajuste del 29.70% de la variabilidad del Módulo de elasticidad a tracción.

Tabla 3.52: Análisis ANOVA para el Módulo de elasticidad a tracción [Minitab].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	58000401	6444489	3,07	0,008
Lineal	3	27491852	9163951	4,36	0,01
Orient 1	1	365296	365296	0,17	0,679
Orient 2	1	20055	20055	0,01	0,923
Días	1	27106502	27106502	12,89	0,001
Cuadrado	3	29569899	9856633	4,69	0,007
Orient 1*Orient 1	1	6981588	6981588	3,32	0,077
Orient 2*Orient 2	1	9799440	9799440	4,66	0,038
Días*Días	1	10920357	10920357	5,19	0,029
Interacción de 2 factores	3	938650	312883	0,15	0,93
Orient 1*Orient 2	1	75530	75530	0,04	0,851
Orient 1*Días	1	120601	120601	0,06	0,812

Orient 2*Días	1	742519	742519	0,35	0,556
Error	35	73580488	2102300		
Falta de ajuste	3	303760	101253	0,04	0,987
Error puro	32	73276729	2289898		
Total	44	131580889			

A continuación, se presenta la figura 3.11 de los efectos principales para el Módulo de elasticidad a tracción, en esta gráfica muestra que los efectos de los factores de la orientación 1 con la orientación 2 son significativos en relación al módulo de elasticidad de tracción, esto se lo analiza con las curvas presentadas, ya que entre más prolongadas sean, mayor será el efecto; por el contrario, se puede ver que los días de curado no presenta esta prolongación por lo que se puede decir que no es un factor con significancia.

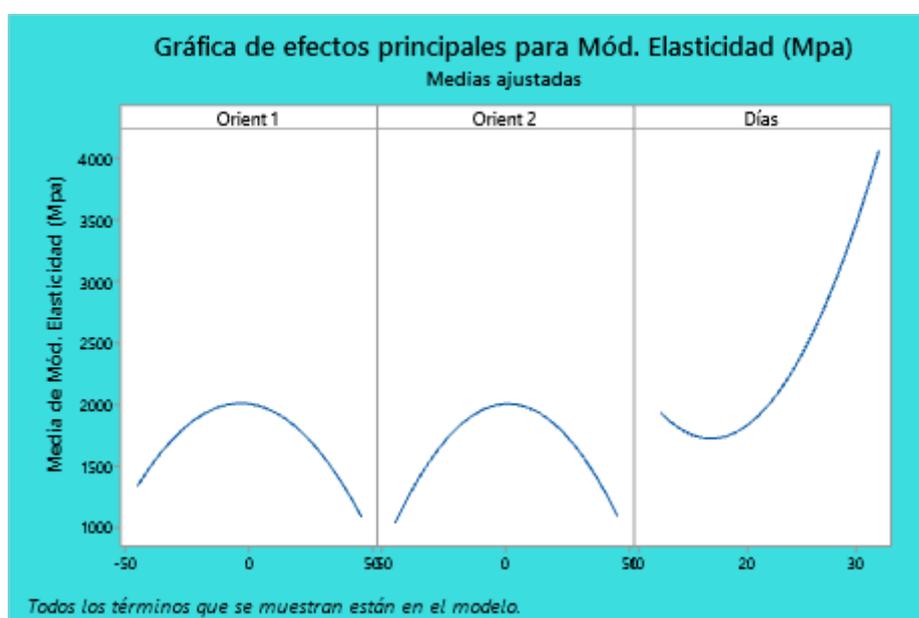


Figura 3.11: Análisis de efectos principales para el Módulo de elasticidad a tracción [Minitab].

En la gráfica de interacción para el Módulo de elasticidad a tracción en la figura 3.12 se puede observar los efectos significativos teniendo así en este caso a los efectos de interacción entre la orientación 1 vs orientación 2 y la orientación 2 vs los días de curado.

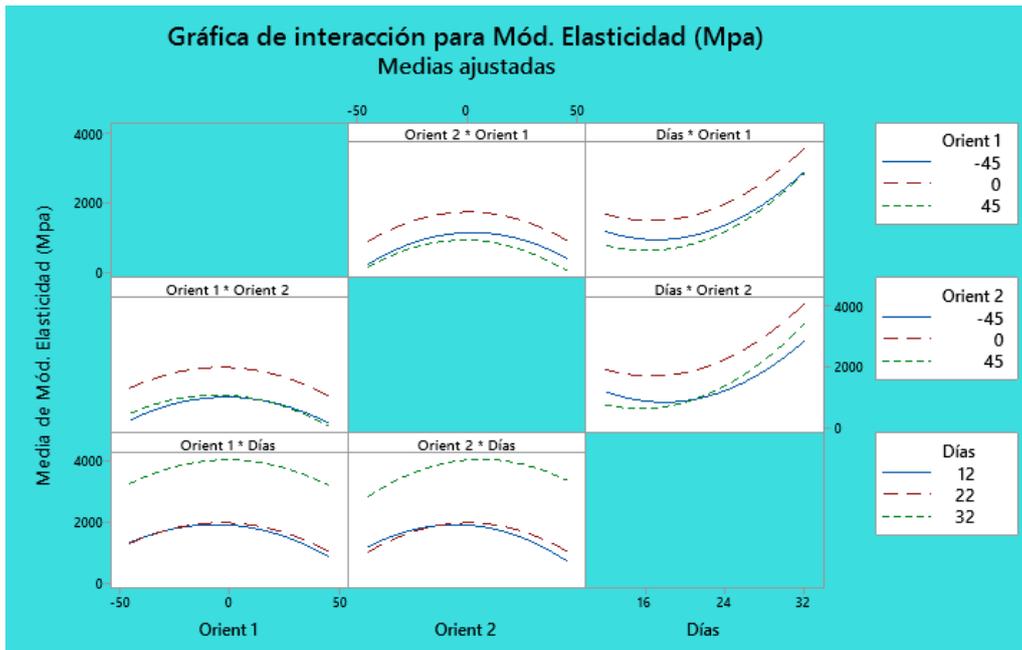


Figura 3.12: Análisis de interacciones para el Módulo de elasticidad a tracción [Minitab].

Según la ecuación de regresión obtenida a través del análisis de varianza ANOVA se debe examinar las superficies de respuestas de la figura 3.13, en la cual se puede observar cómo se comporta el módulo de elasticidad a tracción en relación a cada factor de entrada.

En la gráfica a), el valor más alto del módulo de elasticidad se lo obtiene en una combinación de orientación 1 y orientación 2 a 0°, mientras que en la gráfica b) se obtiene un módulo de elasticidad alto al combinar una orientación de 0° a 30 días de curado y finalmente en la gráfica c) se repite la misma combinación de la gráfica b).

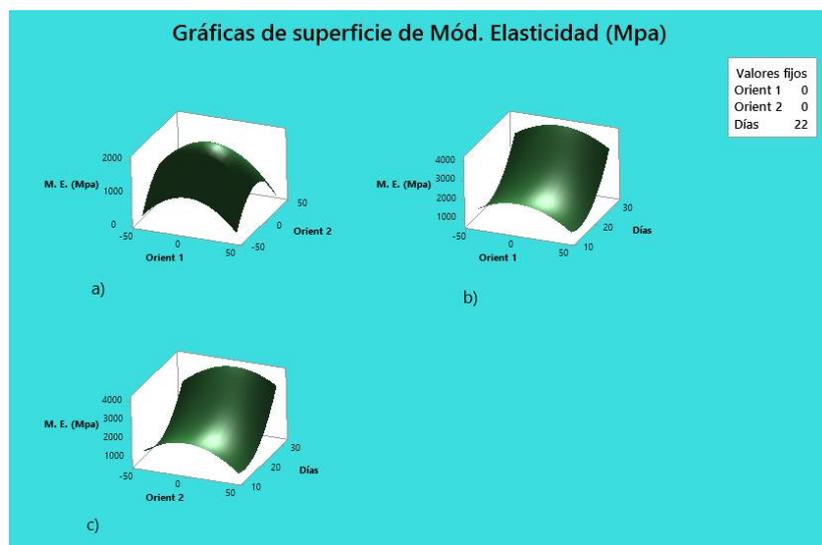


Figura 3.13: Análisis de superficie de respuesta para el Módulo de elasticidad a tracción [Minitab].

Optimización del módulo de elasticidad a tracción

Aplicando la función de deseabilidad, se puede agrupar los factores analizados con el fin de definir una combinación única que sea óptima para el módulo de elasticidad a tracción, a continuación, en la figura 3.14 se muestra lo anteriormente mencionado.



Figura 3.14: Análisis de optimización para el Módulo de elasticidad a tracción [Minitab].

En la tabla 3.53 se muestra los valores óptimos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado un valor máximo del módulo de elasticidad a tracción.

Tabla 3.53: Valores óptimos para el módulo de elasticidad a tracción [Autor].

Factores	Valores óptimos	Módulo de elasticidad a tracción (MPa)
Orientación 1	-1.36 °	4080
Orientación 2	6.81°	
Días de curado	32	

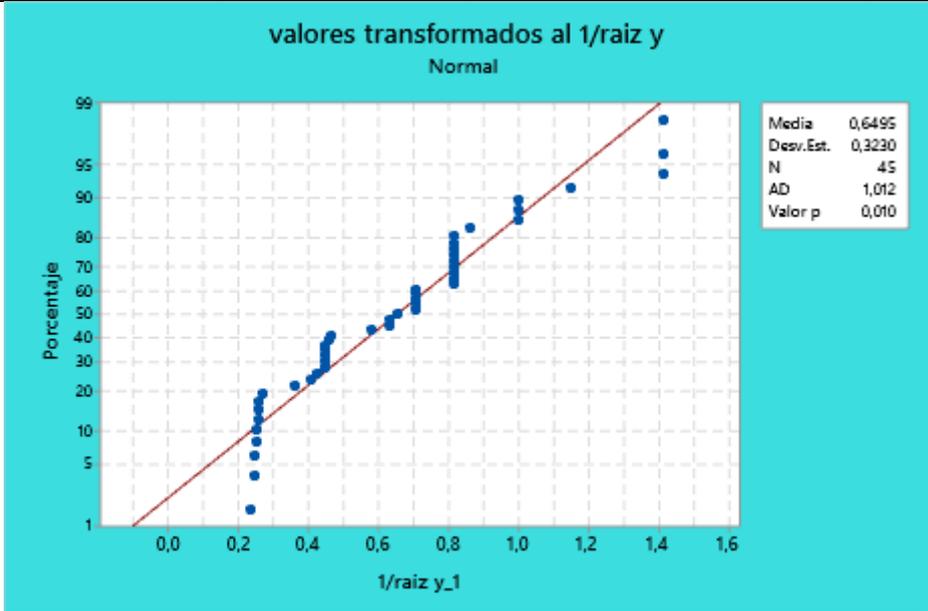
3.2.4.3. Análisis del porcentaje de elongación

Para el porcentaje de elongación (%), el cual hace referencia a la cantidad que se puede estirar el material compuesto una vez que haya llegado a su límite máximo de rotura (S_{ut}), se lleva a cabo el análisis de superficie de repuesta, para ello se utiliza un modelo con términos cuadráticos e interacciones hasta segundo grado; también, se contrasta la significancia de cada uno de los términos, así como el cumplimiento de los supuestos. Es

importante recalcar que, si el cumplimiento de los supuestos no se cumpliera, se transformarían los valores ejecutando la transformación de Box-Cox, en este caso se realizó la transformación de tal manera que $y' = \frac{1}{\sqrt{y}}$, siendo y el **porcentaje de elongación** y y' el **nuevo valor transformado**.

Prueba de normalidad

Tabla 3.54: Análisis del supuesto de normalidad para el porcentaje de elongación a tracción [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del porcentaje de elongación a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan una distribución normal”.		
	H₁: “Los datos del porcentaje de elongación a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan una distribución normal”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
			
Estadístico de prueba:	Anderson Darling= 1.012	Valor-p= 0.010	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		

Conclusión:	En los datos del porcentaje de elongación del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen una distribución normal.
--------------------	---

Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.55: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el porcentaje de elongación a tracción [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del porcentaje de elongación a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	H₁: “Los datos del porcentaje de elongación a tracción del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan igualdad de varianza”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
Estadístico de prueba:	Levene= 0.50	Valor-p= 0.888	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos del porcentaje de elongación del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Verificación de residuos

Como se puede observar en la figura 3.8, los datos presentan una independencia de residuos ya que no sigue un orden o patrón determinado.

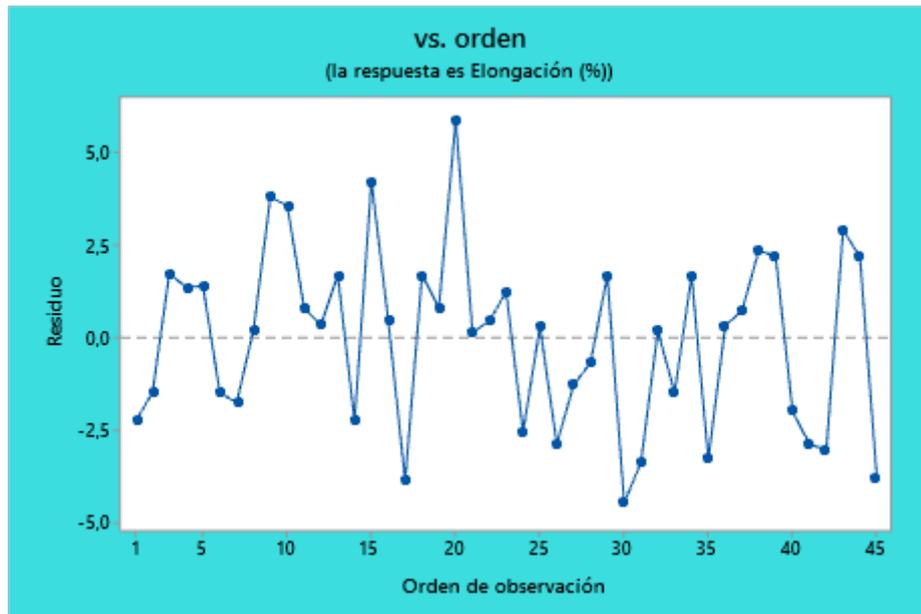


Figura 3.15: Análisis de gráfica de residuos vs orden del porcentaje de elongación a tracción [Minitab].

Análisis de varianza

Se realiza un primer análisis que contenga todos los términos de un modelo cuadrático con el objetivo de obtener el diagrama de Pareto en el cual se analizan los efectos más importantes con la finalidad de ignorar los efectos que no sean relevantes con el porcentaje de elongación a tracción. Como se puede observar en la figura 3.2 la interacción de los días de curado, la orientación 2 y la orientación 1 influyen de manera muy importante.

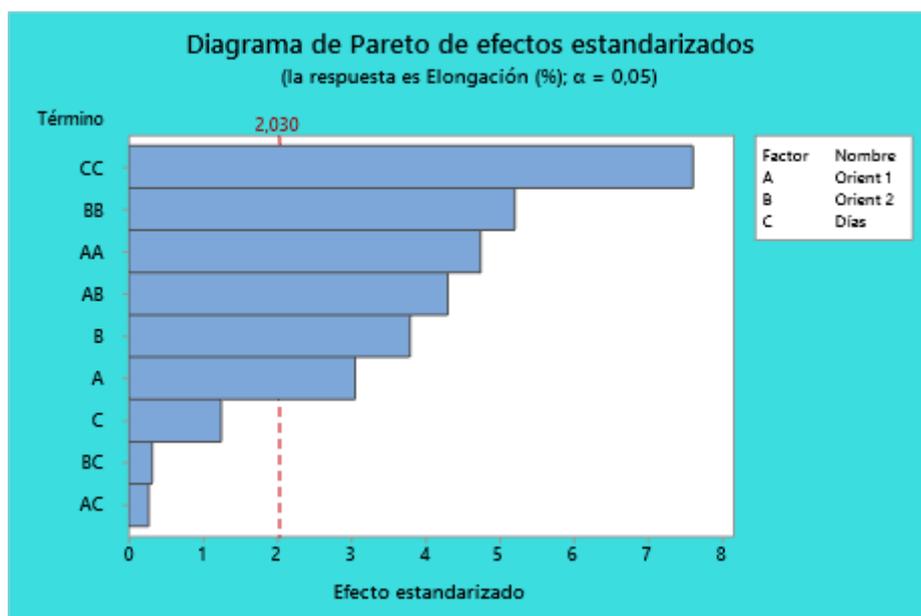


Figura 3.16: Análisis de la gráfica de Pareto para el porcentaje de elongación a tracción [Minitab].

De acuerdo a como vaya subiendo la interacción de los días de curado, la orientación 2 y la orientación 1, el porcentaje de elongación a tracción aumenta.

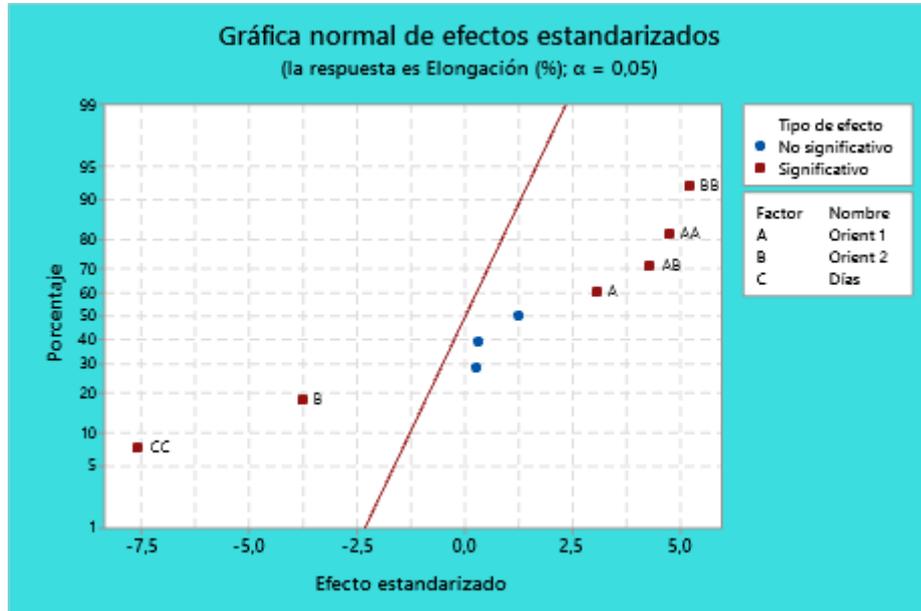


Figura 3.17: Análisis de los efectos significativos del porcentaje de elongación a tracción [Minitab]

En la siguiente tabla 3.56 se observa el análisis ANOVA para el porcentaje de elongación a tracción, en el cual se puede ver la variabilidad que existe en los datos, mismos que tienen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, discrepando la significancia calculada y definida de 0.0 y 0.05 correspondientemente, también el modelo explica un ajuste del 77.35% de la variabilidad del porcentaje de elongación a tracción.

Tabla 3.56: Análisis ANOVA para el porcentaje de elongación a tracción [Minitab].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	1159,37	128,819	17,7	0
Lineal	3	183,36	61,121	8,4	0
Orient 1	1	67,6	67,603	9,29	0,004
Orient 2	1	104,42	104,417	14,35	0,001
Días	1	11,34	11,344	1,56	0,22
Cuadrado	3	840,74	280,245	38,5	0
Orient 1*Orient 1	1	163,05	163,052	22,4	0
Orient 2*Orient 2	1	196,48	196,484	27	0
Días*Días	1	419,18	419,184	57,59	0
Interacción de 2 factores	3	135,27	45,091	6,2	0,002

Orient 1*Orient 2	1	134	134,001	18,41	0
Orient 1*Días	1	0,52	0,521	0,07	0,791
Orient 2*Días	1	0,75	0,75	0,1	0,75
Error	35	254,75	7,278		
Falta de ajuste	3	167,16	55,72	20,36	0
Error puro	32	87,59	2,737		
Total	44	1414,12			

A continuación, se presenta la figura 3.18 de los efectos principales para el porcentaje de elongación a tracción, en esta gráfica muestra que los efectos de los factores de la orientación 1 con la orientación 2 son significativos en relación al porcentaje de elongación de tracción, esto se lo analiza con las curvas presentadas, ya que entre más prolongadas sean, mayor será el efecto; por el contrario, se puede ver que los días de curado no presenta esta prolongación por lo que se puede decir que no es un factor con significancia.

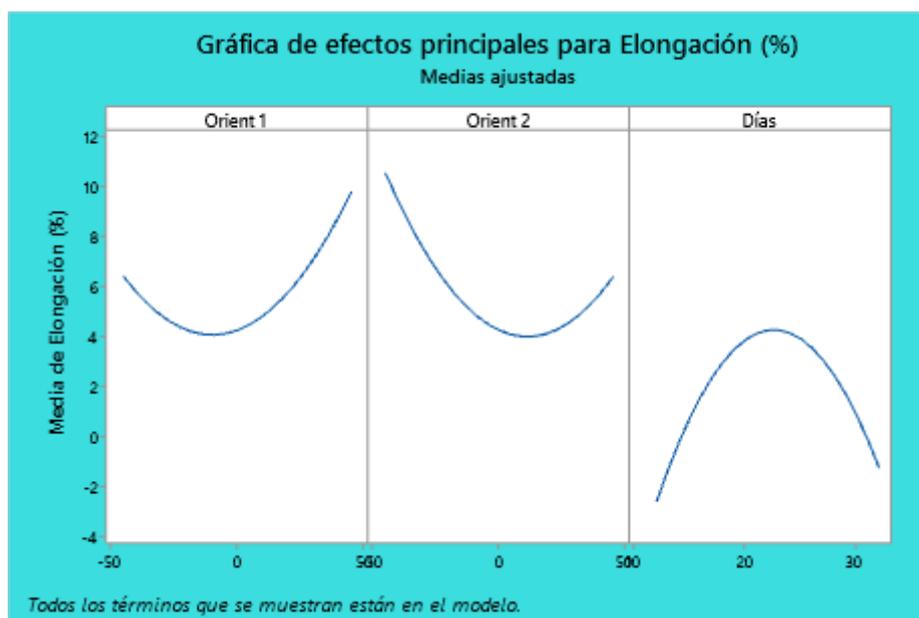


Figura 3.18: Análisis de efectos principales para el porcentaje de elongación a tracción [Minitab].

En la gráfica de interacción para el porcentaje de elongación a tracción en la figura 3.19 se puede observar los efectos significativos teniendo así en este caso a los efectos de interacción entre la orientación 1 vs orientación 2 y la orientación 2 vs orientación 1.

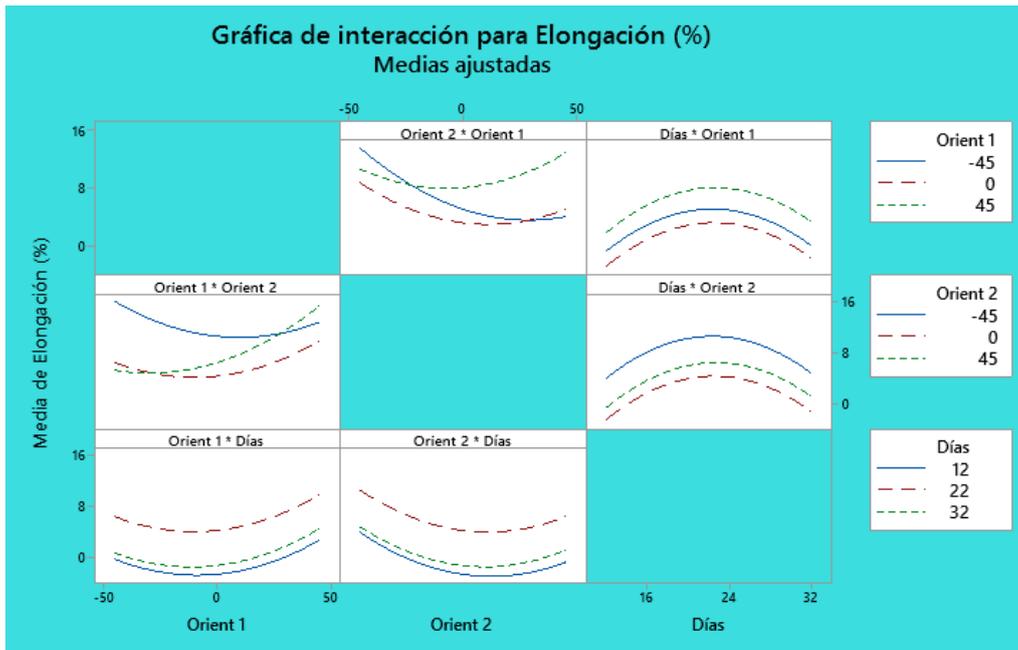


Figura 3.19: Análisis de interacciones para el porcentaje de elongación a tracción [Minitab].

Según la ecuación de regresión obtenida a través del análisis de varianza ANOVA se debe examinar las superficies de respuestas de la figura 3.20, en la cual se puede observar cómo se comporta el porcentaje de elongación a tracción en relación a cada factor de entrada.

En la gráfica a), el valor más alto del porcentaje de elongación se lo obtiene en una combinación de orientación 1 a -45° y orientación 2 a 45° , mientras que en la gráfica b) se obtiene un porcentaje de elongación alto al combinar una orientación de 45° a 20 días de curado y finalmente en la gráfica c) se repite la misma combinación de la gráfica b) solamente la orientación cambia a -45° .

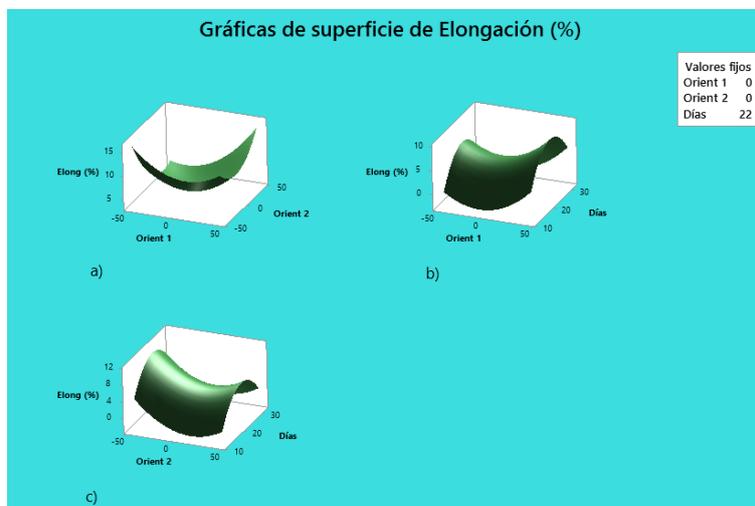


Figura 3.20: Análisis de superficie de respuesta para el porcentaje de elongación a tracción [Minitab].

Optimización del módulo de elasticidad a tracción

Aplicando la función de deseabilidad, se puede agrupar los factores analizados con el fin de definir una combinación única que sea óptima para el porcentaje de elongación a tracción, a continuación, en la figura 3.21 se muestra lo anteriormente mencionado.

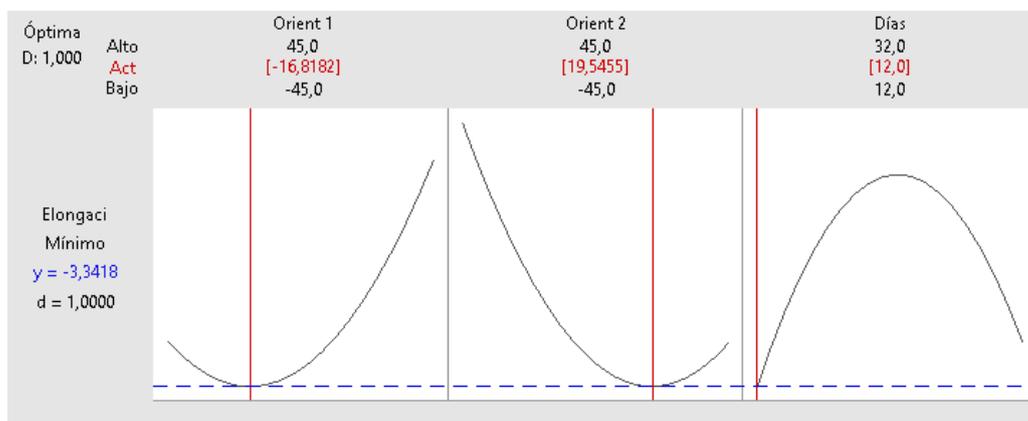


Figura 3.21: Análisis de optimización para el porcentaje de elongación a tracción [Minitab].

En la tabla 3.57 se muestra los valores óptimos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado un valor máximo del porcentaje de elongación a tracción.

Tabla 3.57: Valores óptimos para el porcentaje de elongación a tracción [Autor].

Factores	Valores óptimos	% Elongación (mm)
Orientación 1	-16.81°	3.34
Orientación 2	19.54°	
Días de curado	12	

3.2.5. Análisis de ensayo a flexión

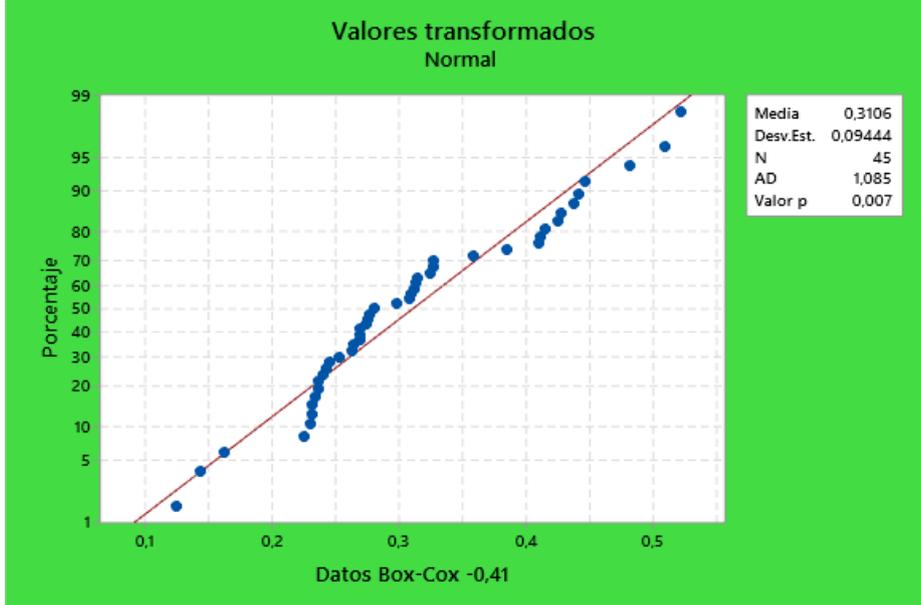
3.2.5.1. Análisis del esfuerzo máximo a la flexión

Para el ensayo a flexión se lleva a cabo el análisis de superficie de repuesta, para ello se utiliza un modelo con términos cuadráticos e interacciones hasta segundo grado; también, se contrasta la significancia de cada uno de los términos, así como el cumplimiento de los supuestos. Es importante recalcar que, si el cumplimiento de los supuestos no se cumpliera, se transformarían los valores ejecutando la transformación de Box-Cox, en

este caso se realizó la transformación dando un valor de $\lambda = -0.41$, con el cual se trabajó para obtener la prueba de normalidad.

Prueba de normalidad

Tabla 3.58: Análisis del supuesto de normalidad para el Esfuerzo máximo a flexión [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del esfuerzo máximo a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan una distribución normal”.		
	H₁: “Los datos del esfuerzo máximo a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan una distribución normal”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
			
Estadístico de prueba:	Anderson Darling= 1.085	Valor-p= 0.007	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		

Conclusión:	En los datos del esfuerzo máximo a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen una distribución normal.
--------------------	--

Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.59: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Esfuerzo máximo a flexión [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del esfuerzo máximo a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	H₁: “Los datos del esfuerzo máximo a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan igualdad de varianza”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
Estadístico de prueba:	Levene= 0.97	Valor-p= 0.499	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos del esfuerzo máximo a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Verificación de residuos

Como se puede observar en la figura 3.22, los datos presentan una independencia de residuos ya que no sigue un orden o patrón determinado.

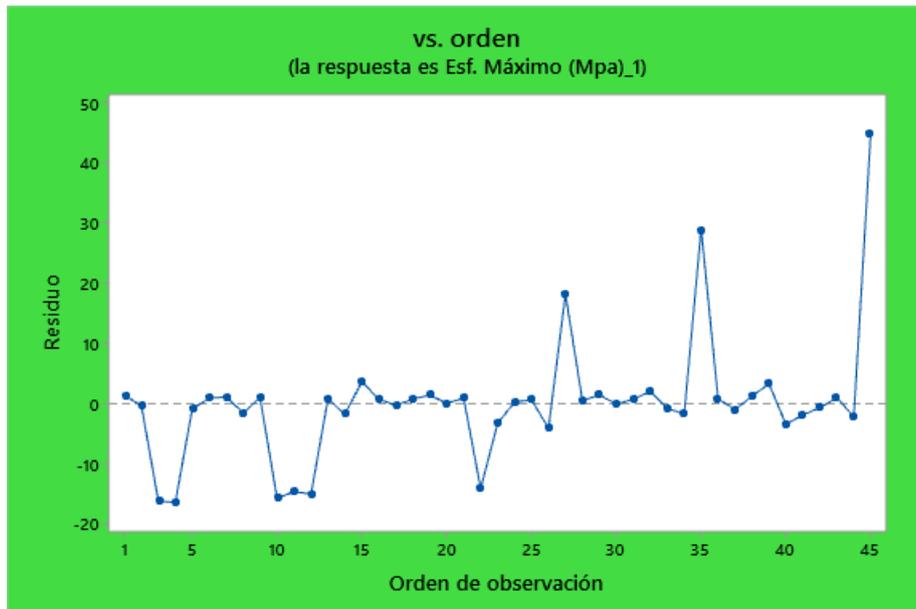


Figura 3.22: Análisis de gráfica de residuos vs orden del Esfuerzo máximo a flexión [Minitab].

Análisis de varianza

Se realiza un primer análisis que contenga todos los términos de un modelo cuadrático con el objetivo de obtener el diagrama de Pareto en el cual se analizan los efectos más importantes con la finalidad de ignorar los efectos que no sean relevantes con el esfuerzo máximo a flexión. Como se puede observar en la figura 3.24 la interacción de la orientación 1 influye de manera muy importante.

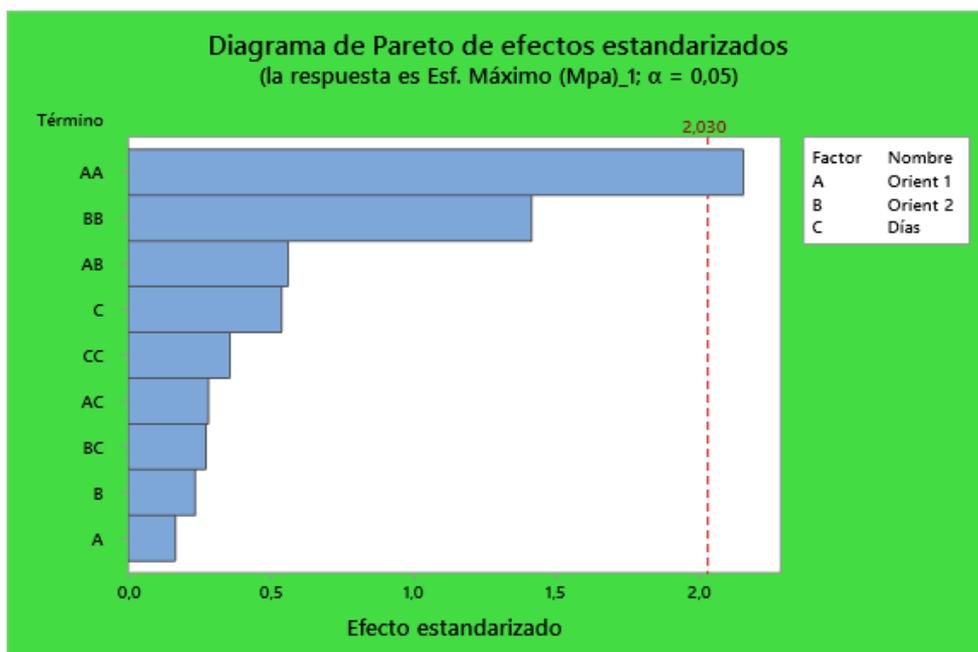


Figura 3.23: Análisis de la gráfica de Pareto para el Esfuerzo máximo a flexión [Minitab].

De acuerdo a como vaya subiendo la interacción de la orientación 1 el esfuerzo máximo de flexión aumenta.

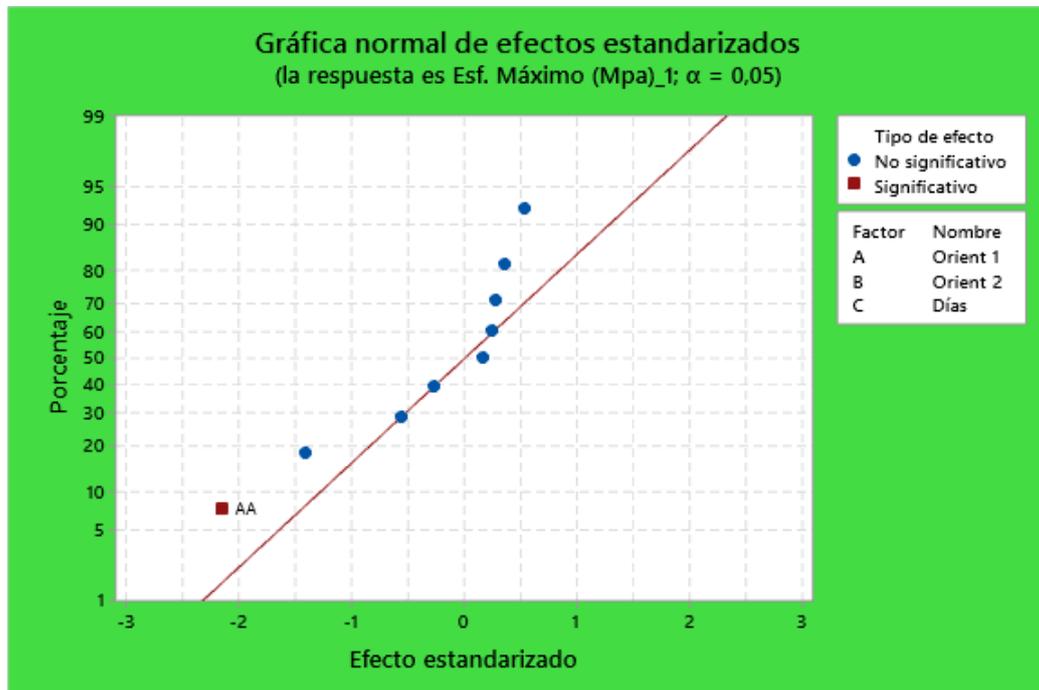


Figura 3.24: Análisis de los efectos significativos del Esfuerzo máximo a flexión [Minitab]

En la siguiente tabla 3.60 se observa el análisis ANOVA para el Esfuerzo máximo a flexión, en el cual se puede ver la variabilidad que existe en los datos, mismos que tienen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, discrepando la significancia calculada y definida de 0.0 y 0.05 correspondientemente, también el modelo explica un ajuste del 25.36% de la variabilidad del Esfuerzo máximo a flexión.

Tabla 3.60: Análisis ANOVA para el Esfuerzo máximo a flexión [Minitab].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,15942	0,017713	2,66	0,018
Lineal	3	0,00378	0,00126	0,19	0,903
Orientación1	1	0,000454	0,000454	0,07	0,795
Orientación 2	1	0,000208	0,000208	0,03	0,861
Días	1	0,003117	0,003117	0,47	0,498
Cuadrado	3	0,127514	0,042505	6,38	0,001
Orientación1*Orientación1	1	0,003579	0,003579	0,54	0,468
Orientación 2*Orientación 2	1	0,000172	0,000172	0,03	0,873
Días*Días	1	0,119938	0,119938	18,02	0
Interacción de 2 factores	3	0,028127	0,009376	1,41	0,257

Orientación1*Orientación 2	1	0,026116	0,026116	3,92	0,056
Orientación1*Días	1	0,001189	0,001189	0,18	0,675
Orientación 2*Días	1	0,000821	0,000821	0,12	0,728
Error	35	0,232995	0,006657		
Falta de ajuste	3	0,002409	0,000803	0,11	0,953
Error puro	32	0,230586	0,007206		
Total	44	0,392415			

A continuación, se presenta la figura 3.25 de los efectos principales para el esfuerzo máximo a flexión, en esta gráfica muestra que los efectos de los factores de la orientación 1 con la orientación 2 son significativos en relación al esfuerzo máximo de flexión, esto se lo analiza con las curvas presentadas, ya que entre más prolongadas sean, mayor será el efecto; por el contrario, se puede ver que los días de curado no presenta esta prolongación por lo que se puede decir que no es un factor con significancia.

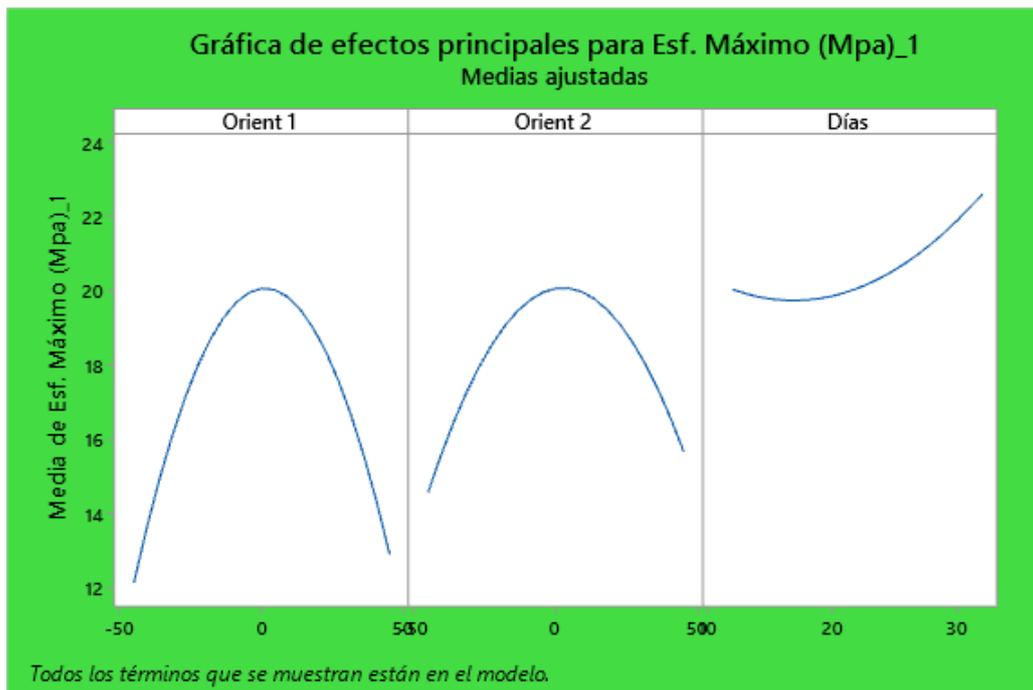


Figura 3.25: Análisis de efectos principales para el Esfuerzo máximo a flexión [Minitab].

En la gráfica de interacción para el esfuerzo máximo a flexión en la figura 3.26 se puede observar los efectos significativos teniendo así en este caso a los efectos de interacción

entre la orientación 1 vs orientación 2, la orientación 1 vs los días de curado y la orientación 2 vs los días de curado.

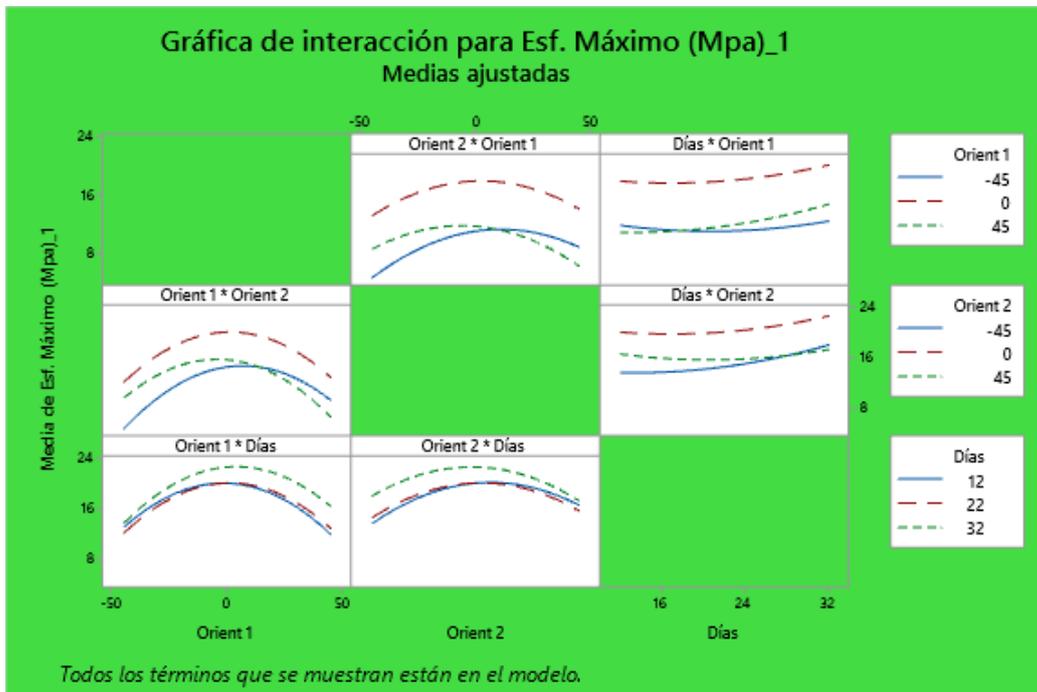


Figura 3.26: Análisis de interacciones para el Esfuerzo máximo a flexión [Minitab].

Según la ecuación de regresión obtenida a través del análisis de varianza ANOVA se debe examinar las superficies de respuestas de la figura 3.27, en la cual se puede observar cómo se comporta el esfuerzo máximo a flexión en relación a cada factor de entrada.

En la gráfica a), el valor más alto del esfuerzo máximo a flexión se lo obtiene en una combinación de orientación 1 y orientación 2 a 0°, mientras que en la gráfica b) se obtiene un esfuerzo a flexión alto al combinar una orientación de 0° a 30 días de curado y finalmente en la gráfica c) se replica la combinación de la gráfica b).



Figura 3.27: Análisis de superficie de respuesta para el Esfuerzo máximo a flexión [Minitab].

Optimización del esfuerzo máximo a flexión

Aplicando la función de deseabilidad, se puede agrupar los factores analizados con el fin de definir una combinación única que sea óptima para el esfuerzo máximo a flexión, a continuación, en la figura 3.28 se muestra lo anteriormente mencionado.



Figura 3.28: Análisis de optimización para el Esfuerzo máximo a flexión [Minitab].

En la tabla 3.61 se muestra los valores óptimos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado un valor máximo del esfuerzo a flexión.

Tabla 3.61: Valores óptimos para el esfuerzo máximo a flexión [Autor].

Factores	Valores óptimos	Esfuerzo máximo a flexión (MPa)
Orientación 1	4.09 °	22.63
Orientación 2	-2.27°	
Días de curado	32	

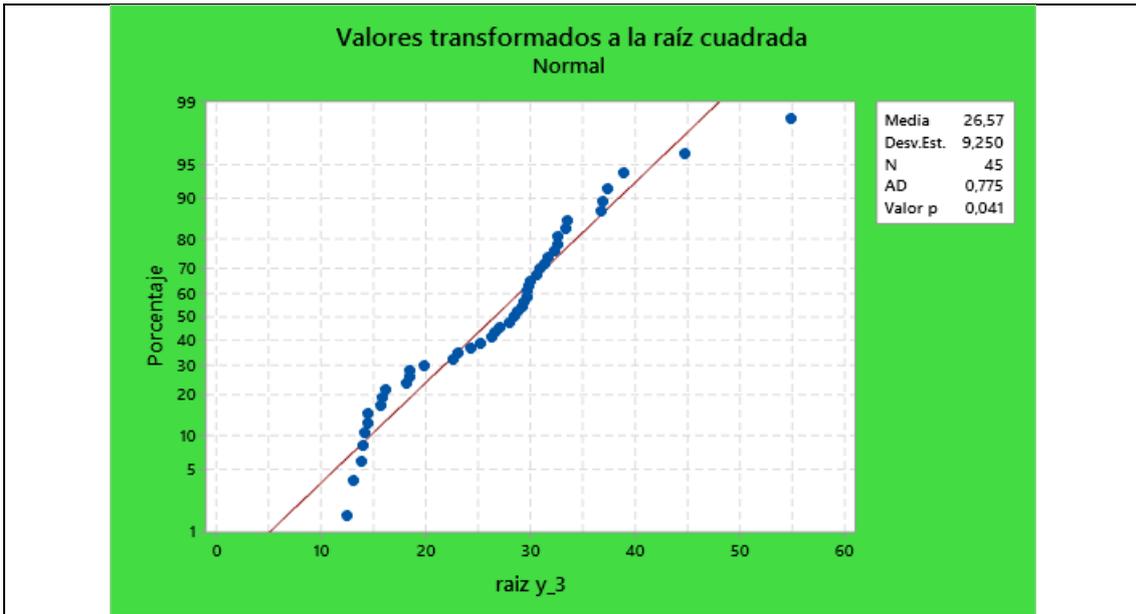
3.2.5.2. Análisis del módulo de flexión

Para el módulo de elasticidad a flexión (E) se lleva a cabo el análisis de superficie de repuesta, para ello se utiliza un modelo con términos cuadráticos e interacciones hasta segundo grado; también, se contrasta la significancia de cada uno de los términos, así como el cumplimiento de los supuestos. Es importante recalcar que, si el cumplimiento de los supuestos no se cumpliera, se transformarían los valores ejecutando la transformación de Box-Cox, en este caso se realizó la transformación de tal manera que $y' = \sqrt{y}$, siendo y el **Módulo de elasticidad a flexión** y y' el **nuevo valor transformado**.

Prueba de normalidad

Tabla 3.62: Análisis del supuesto de normalidad para el Módulo de elasticidad a flexión [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del módulo de elasticidad a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan una distribución normal”.		
	H₁: “Los datos del módulo de elasticidad a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan una distribución normal”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45



Estadístico de prueba:	Anderson Darling= 0.775	Valor-p= 0.041
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.	
Conclusión:	En los datos del módulo de elasticidad a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen una distribución normal.	

Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.63: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para el Módulo de elasticidad a flexión [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del módulo de elasticidad a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	H₁: “Los datos del módulo de elasticidad a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan igualdad de varianza”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45

Estadístico de prueba:	Levene= 0.72	Valor-p= 0.723
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.	
Conclusión:	En los datos del módulo de elasticidad a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen igualdad de varianza en los tratamientos.	

Verificación de residuos

Como se puede observar en la figura 3.29, los datos presentan una independencia de residuos ya que no sigue un orden o patrón determinado.

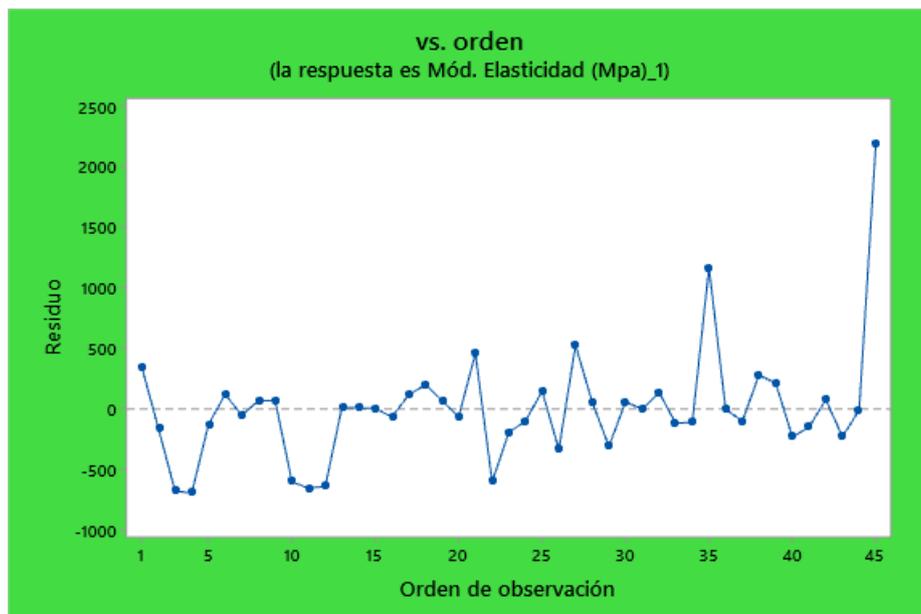


Figura 3.29: Análisis de gráfica de residuos vs orden del Módulo de elasticidad a flexión [Minitab].

Análisis de varianza

Se realiza un primer análisis que contenga todos los términos de un modelo cuadrático con el objetivo de obtener el diagrama de Pareto en el cual se analizan los efectos más importantes con la finalidad de ignorar los efectos que no sean relevantes con el módulo de elasticidad a flexión. Como se puede observar en la figura 3.30 la interacción de los días de curado influye de manera muy importante.

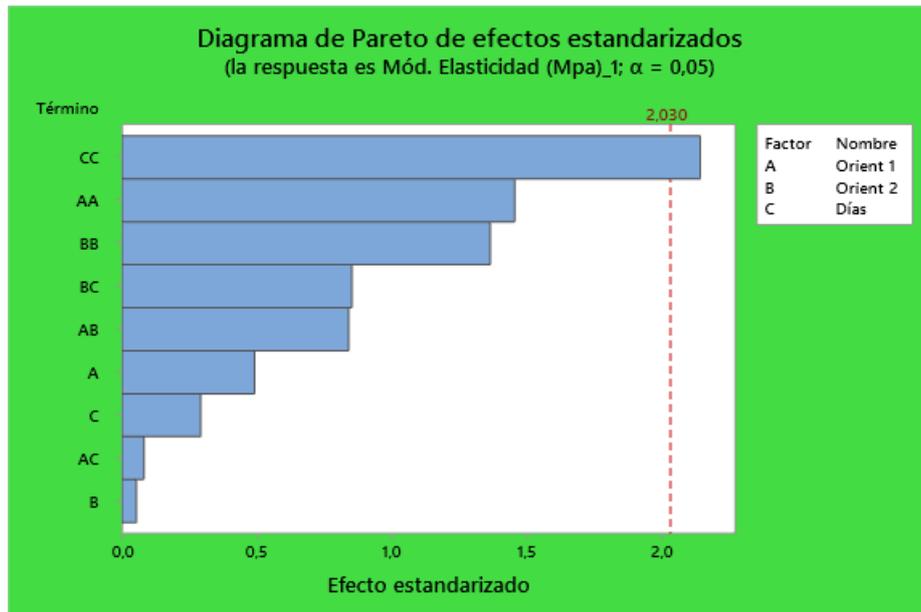


Figura 3.30: Análisis de la gráfica de Pareto para el Módulo de elasticidad a flexión [Minitab].

De acuerdo a como vaya subiendo la interacción de los días de curado, el módulo de elasticidad a flexión aumenta.

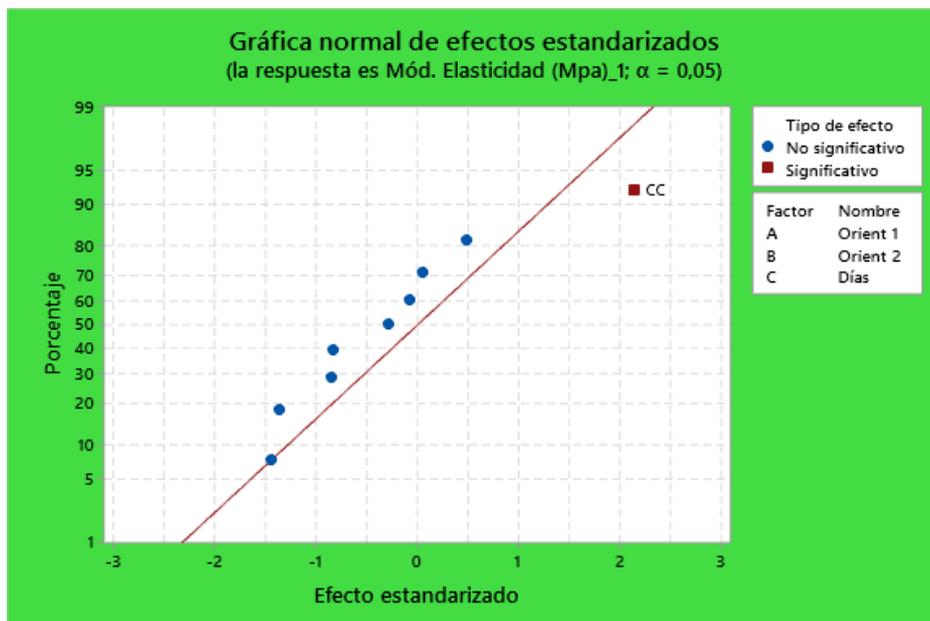


Figura 3.31: Análisis de los efectos significativos del Módulo de elasticidad a flexión [Minitab]

En la siguiente tabla 3.64 se observa el análisis ANOVA para el Módulo de elasticidad a flexión, en el cual se puede ver la variabilidad que existe en los datos, mismos que tienen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, discrepando la

significancia calculada y definida de 0.0 y 0.05 correspondientemente, también el modelo explica un ajuste del 4.40% de la variabilidad del Módulo de elasticidad a flexión.

Tabla 3.64: Análisis ANOVA para el Módulo de elasticidad a flexión [Minitab].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	3133106	348123	1,23	0,312
Lineal	3	93684	31228	0,11	0,954
Orient 1	1	68587	68587	0,24	0,626
Orient 2	1	840	840	0	0,957
Días	1	24257	24257	0,09	0,772
Cuadrado	3	2630319	876773	3,09	0,04
Orient 1*Orient 1	1	602933	602933	2,12	0,154
Orient 2*Orient 2	1	529106	529106	1,86	0,181
Días*Días	1	1304667	1304667	4,59	0,039
Interacción de 2 factores	3	409103	136368	0,48	0,698
Orient 1*Orient 2	1	200984	200984	0,71	0,406
Orient 1*Días	1	1925	1925	0,01	0,935
Orient 2*Días	1	206194	206194	0,73	0,4
Error	35	9945537	284158		
Falta de ajuste	3	145408	48469	0,16	0,924
Error puro	32	9800129	306254		
Total	44	13078643			

A continuación, se presenta la figura 3.32 de los efectos principales para el Módulo de elasticidad a flexión, en esta gráfica muestra que los efectos de los factores de la orientación 1 con la orientación 2 son significativos en relación al módulo de elasticidad de flexión, esto se lo analiza con las curvas presentadas, ya que entre más prolongadas sean, mayor será el efecto; por el contrario, se puede ver que los días de curado no presenta esta prolongación por lo que se puede decir que no es un factor con significancia.

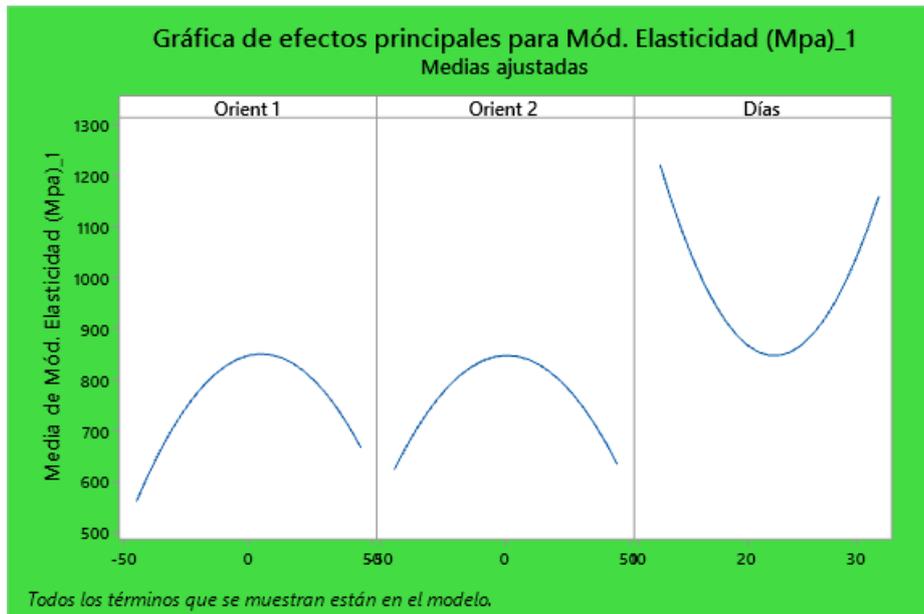


Figura 3.32: Análisis de efectos principales para el Módulo de elasticidad a flexión [Minitab].

En la gráfica de interacción para el Módulo de elasticidad a flexión en la figura 3.33 se puede observar los efectos significativos teniendo así en este caso a los efectos de interacción entre la orientación 1 vs orientación 2 y la orientación 2 vs los días de curado.

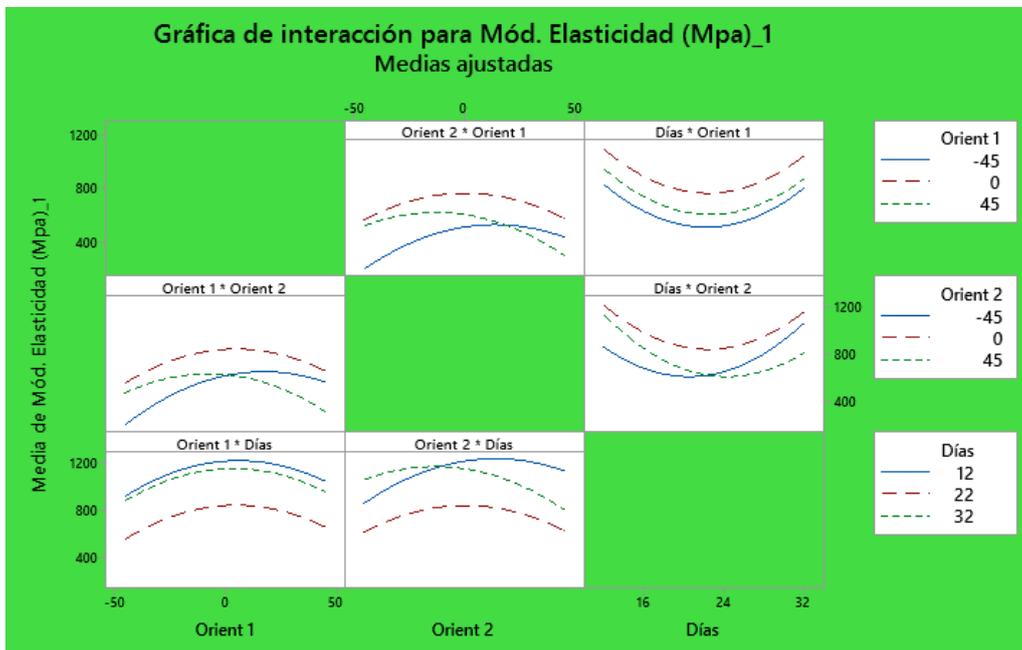


Figura 3.33: Análisis de interacciones para el Módulo de elasticidad a flexión [Minitab].

Según la ecuación de regresión obtenida a través del análisis de varianza ANOVA se debe examinar las superficies de respuestas de la figura 3.34, en la cual se puede observar cómo se comporta el módulo de elasticidad a flexión en relación a cada factor de entrada.

En la gráfica a), el valor más alto del módulo de elasticidad a flexión se lo obtiene en una combinación de orientación 1 y orientación 2 a 0° , mientras que en la gráfica b) se obtiene un módulo de elasticidad a flexión alto al combinar una orientación de 0° a 30 días de curado y finalmente en la gráfica c) a una combinación de orientación entre -45° y 0° a 30 días de curado se obtiene un módulo de elasticidad elevado.

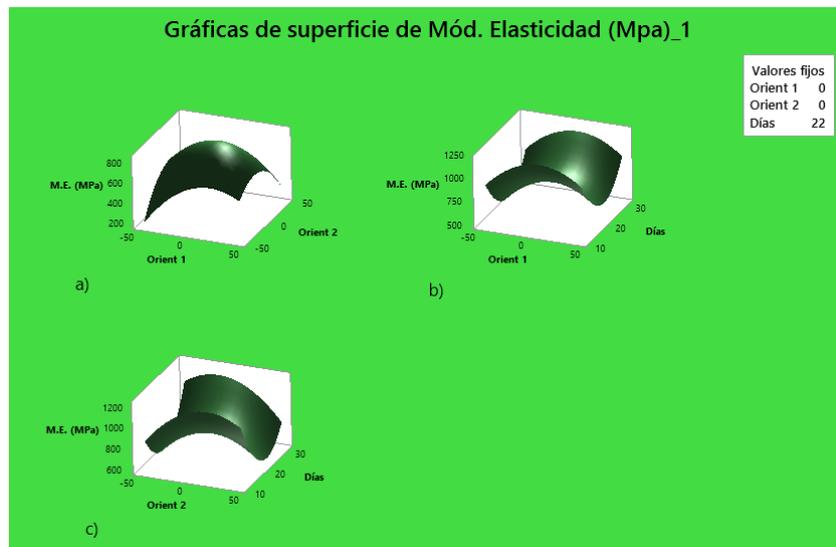


Figura 3.34: Análisis de superficie de respuesta para el Módulo de elasticidad a flexión [Minitab].

Optimización del módulo de elasticidad a flexión

Aplicando la función de deseabilidad, se puede agrupar los factores analizados con el fin de definir una combinación única que sea óptima para el módulo de elasticidad a flexión, a continuación, en la figura 3.35 se muestra lo anteriormente mencionado.

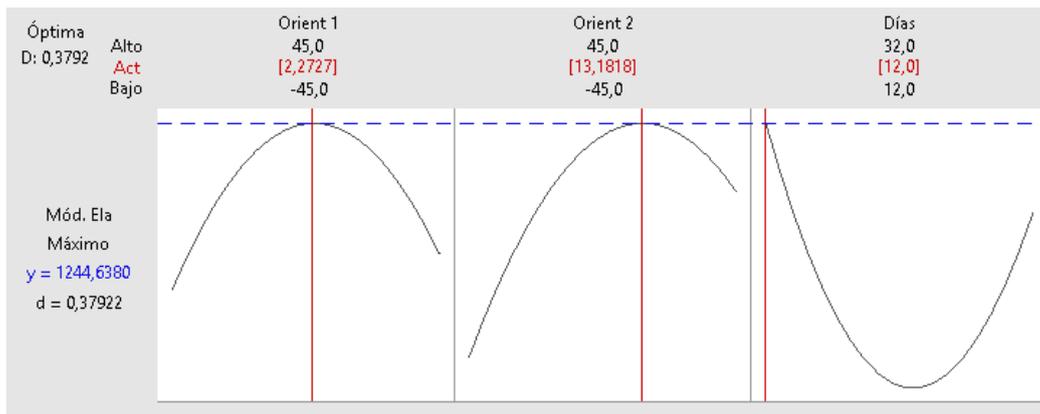


Figura 3.35: Análisis de optimización para el Módulo de elasticidad a flexión [Minitab].

En la tabla 3.65 se muestra los valores óptimos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado un valor máximo del módulo de elasticidad a flexión.

Tabla 3.65: Valores óptimos para el módulo de elasticidad a flexión [Autor].

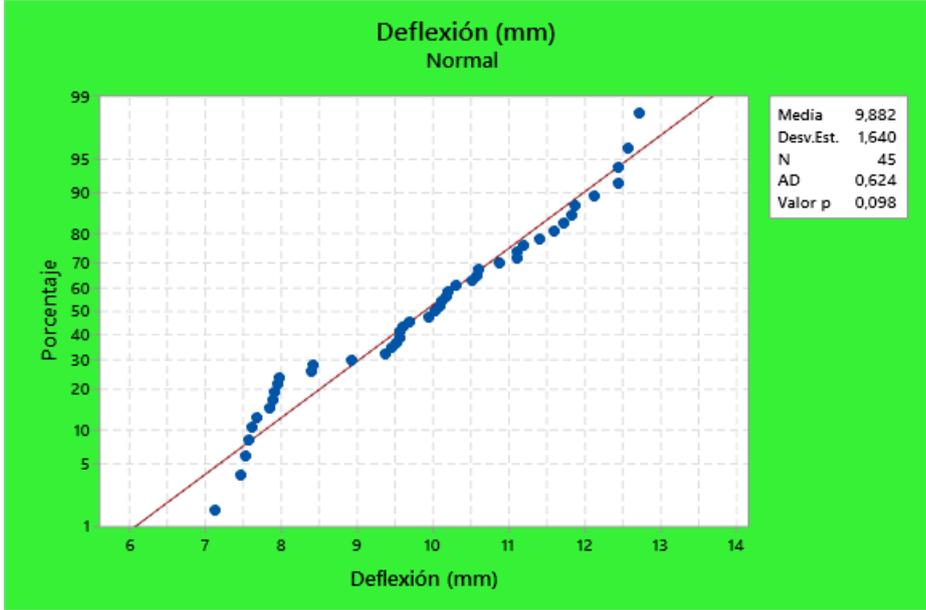
Factores	Valores óptimos	Módulo de elasticidad a flexión (MPa)
Orientación 1	2.27°	1245
Orientación 2	13.18°	
Días de curado	12	

3.2.5.3. Análisis de deflexión máxima (mm)

Para el análisis de deflexión máxima, el cual hace referencia a la longitud en la que se dobla el material compuesto una vez que haya llegado a su esfuerzo máxima de flexión, se lleva a cabo el análisis de superficie de repuesta, para ello se utiliza un modelo con términos cuadráticos e interacciones hasta segundo grado; también, se contrasta la significancia de cada uno de los términos, así como el cumplimiento de los supuestos. Es importante recalcar que, si el cumplimiento de los supuestos no se cumpliera, se transformarían los valores ejecutando la transformación de Box-Cox.

Prueba de normalidad

Tabla 3.66: Análisis del supuesto de normalidad para la deflexión a flexión [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos de deflexión a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan una distribución normal”.		
	H₁: “Los datos de deflexión a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan una distribución normal”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
			
Estadístico de prueba:	Anderson Darling= 0.624	Valor-p= 0.098	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos de la deflexión a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen una distribución normal.		

Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.67: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para la deflexión a flexión [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos de la deflexión a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	H₁: “Los datos de la deflexión a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan igualdad de varianza”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
Estadístico de prueba:	Levene= 1.44	Valor-p= 0.197	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos de la deflexión a flexión del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Verificación de residuos

Como se puede observar en la figura 3.36, los datos presentan una independencia de residuos ya que no sigue un orden o patrón determinado.

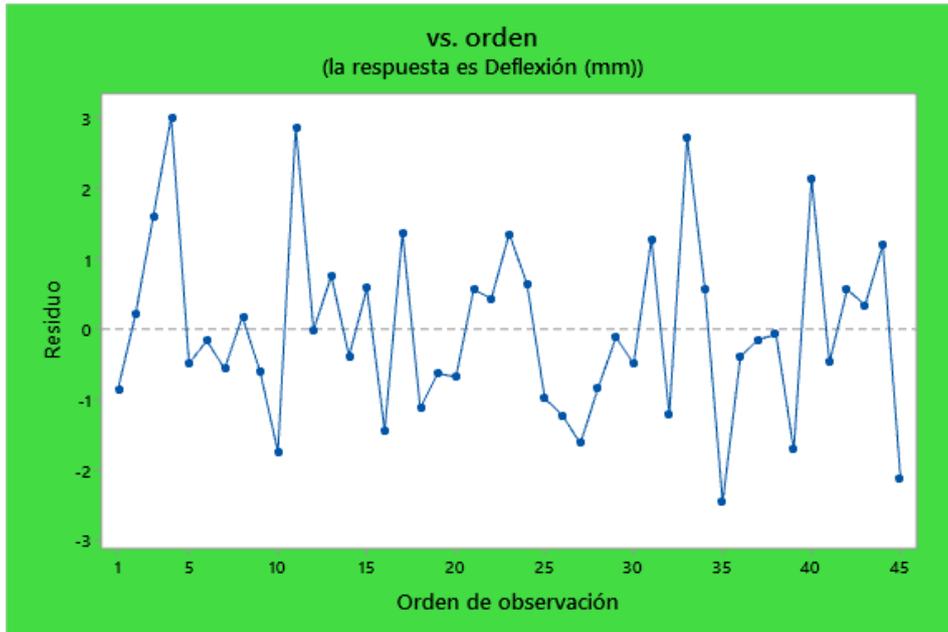


Figura 3.36: Análisis de gráfica de residuos vs orden de la deflexión a flexión [Minitab].

Análisis de varianza

Se realiza un primer análisis que contenga todos los términos de un modelo cuadrático con el objetivo de obtener el diagrama de Pareto en el cual se analizan los efectos más importantes con la finalidad de ignorar los efectos que no sean relevantes con la deflexión a flexión. Como se puede observar en la figura 3.37 la interacción de los días de curado, la orientación 1 y la orientación 2 influyen de manera muy importante.

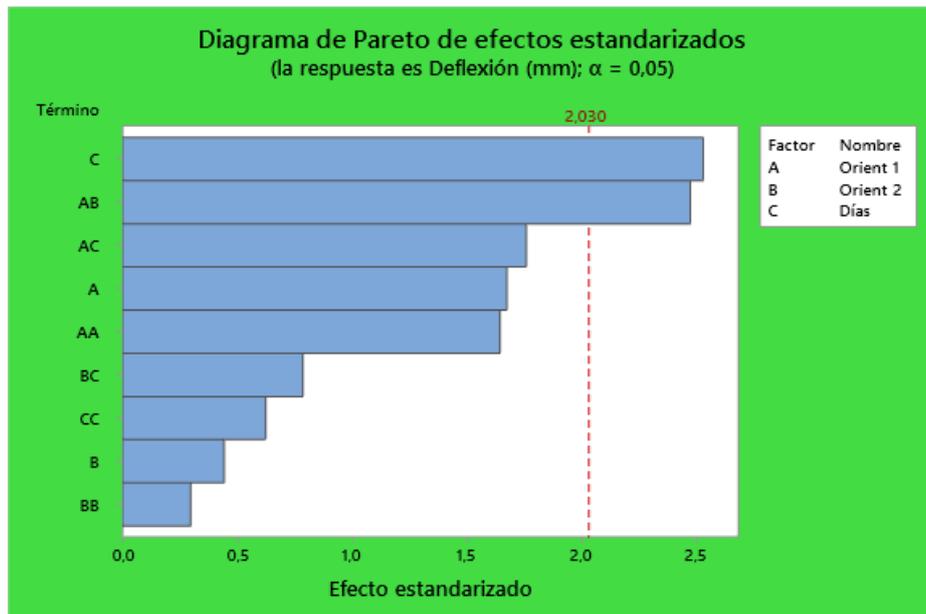


Figura 3.37: Análisis de la gráfica de Pareto para la deflexión a flexión [Minitab].

De acuerdo a como vaya subiendo la interacción de los días de curado, la orientación 1 y la orientación 2, la deflexión a flexión aumenta.

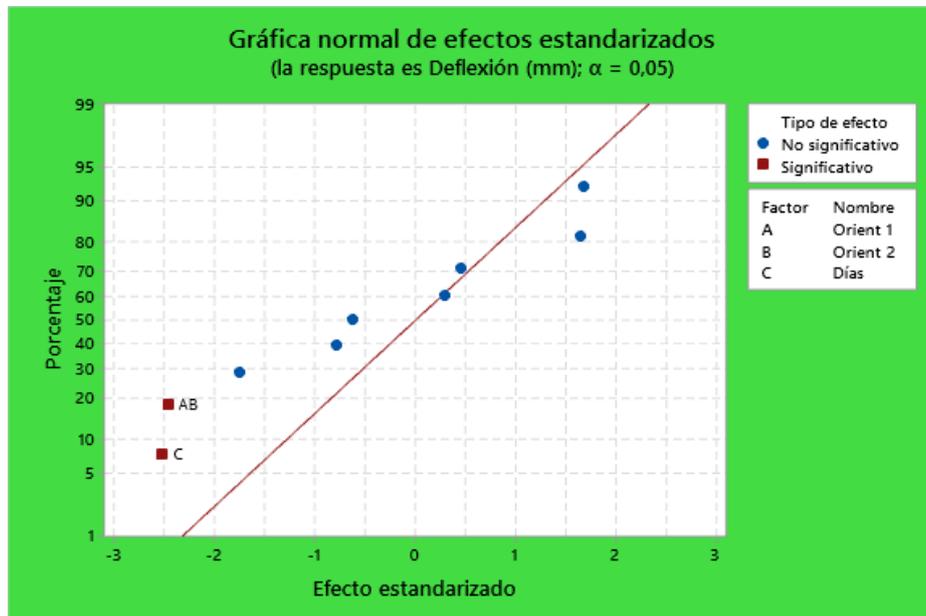


Figura 3.38: Análisis de los efectos significativos de la deflexión a flexión [Minitab]

En la siguiente tabla 3.68 se observa el análisis ANOVA para la deflexión a flexión, en el cual se puede ver la variabilidad que existe en los datos, mismos que tienen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, discrepando la significancia calculada y definida de 0.0 y 0.05 correspondientemente, también el modelo explica un ajuste del 23.60% de la variabilidad de la deflexión a flexión.

Tabla 3.68: Análisis ANOVA para la deflexión a flexión [Minitab].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	46,402	5,1558	2,51	0,025
Lineal	3	19,335	6,445	3,14	0,038
Orient 1	1	5,772	5,7722	2,81	0,103
Orient 2	1	0,406	0,4056	0,2	0,66
Días	1	13,157	13,1572	6,41	0,016
Cuadrado	3	6,841	2,2802	1,11	0,358
Orient 1*Orient 1	1	5,566	5,5664	2,71	0,109
Orient 2*Orient 2	1	0,182	0,1816	0,09	0,768
Días*Días	1	0,804	0,8042	0,39	0,536
Interacción de 2 factores	3	20,227	6,7422	3,28	0,032
Orient 1*Orient 2	1	12,587	12,587	6,13	0,018
Orient 1*Días	1	6,366	6,3656	3,1	0,087

Orient 2*Días	1	1,274	1,274	0,62	0,436
Error	35	71,895	2,0542		
Falta de ajuste	3	9,707	3,2356	1,66	0,194
Error puro	32	62,189	1,9434		
Total	44	118,298			

A continuación, se presenta la figura 3.39 de los efectos principales para la deflexión a flexión, en esta gráfica muestra que los efectos de los factores de la orientación 1 con la orientación 2 son significativos en relación a la deflexión a flexión, esto se lo analiza con las curvas presentadas, ya que entre más prolongadas sean, mayor será el efecto; por el contrario, se puede ver que los días de curado no presenta esta prolongación por lo que se puede decir que no es un factor con significancia.

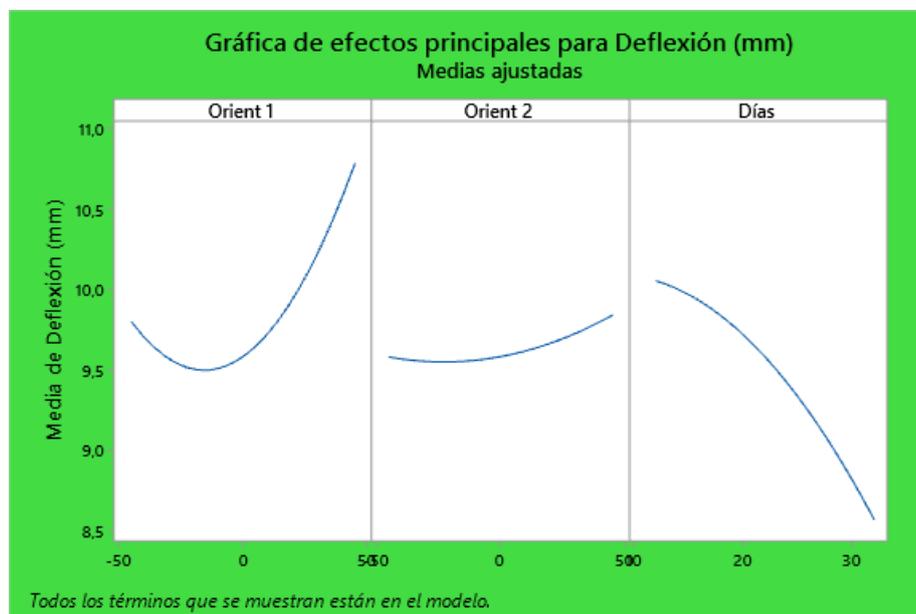


Figura 3.39: Análisis de efectos principales para la deflexión a flexión [Minitab].

En la gráfica de interacción para la deflexión a flexión en la figura 3.40 se puede observar los efectos significativos teniendo así en este caso a los efectos de interacción entre la orientación 1 vs orientación 2, la orientación 1 vs los días de curado y los días de curado vs la orientación 2.

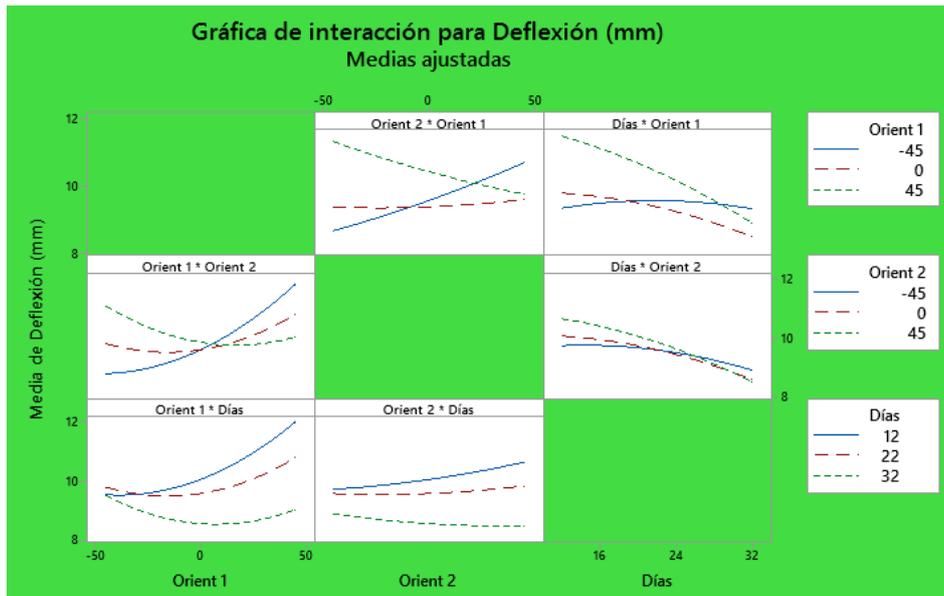


Figura 3.40: Análisis de interacciones para la deflexión a flexión [Minitab].

Según la ecuación de regresión obtenida a través del análisis de varianza ANOVA se debe examinar las superficies de respuestas de la figura 3.41, en la cual se puede observar cómo se comporta la deflexión a flexión en relación a cada factor de entrada.

En la gráfica a), el valor más alto de la deflexión se lo obtiene en una combinación de orientación 1 a -45° y orientación 2 a 45° , mientras que en la gráfica b) se obtiene deflexión alta al combinar una orientación de 45° a 10 días de curado y finalmente en la gráfica c) se repite la misma combinación de la gráfica b).

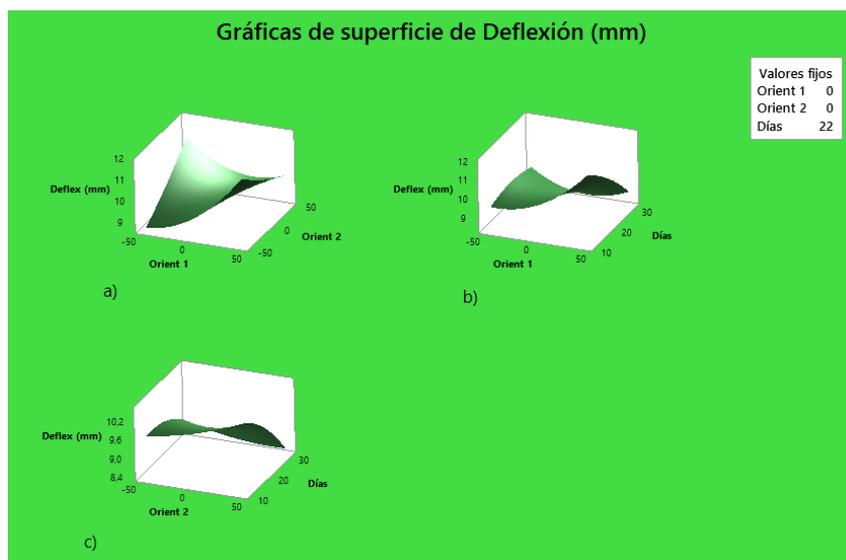


Figura 3.41: Análisis de superficie de respuesta para la deflexión a flexión [Minitab].

Optimización de la deflexión a flexión

Aplicando la función de deseabilidad, se puede agrupar los factores analizados con el fin de definir una combinación única que sea óptima para la deflexión a flexión, a continuación, en la figura 3.42 se muestra lo anteriormente mencionado.

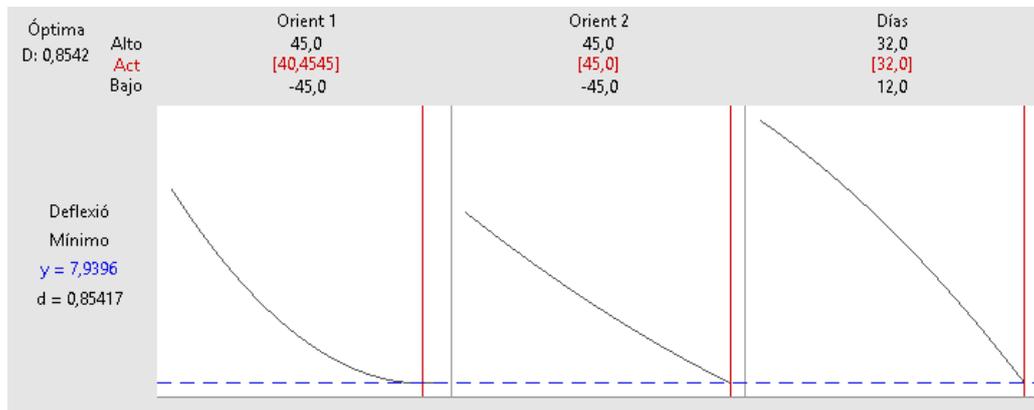


Figura 3.42: Análisis de optimización para la deflexión a flexión [Minitab].

En la tabla 3.69 se muestra los valores óptimos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado un valor máximo del porcentaje de elongación a tracción.

Tabla 3.69: Valores óptimos para la deflexión [Autor].

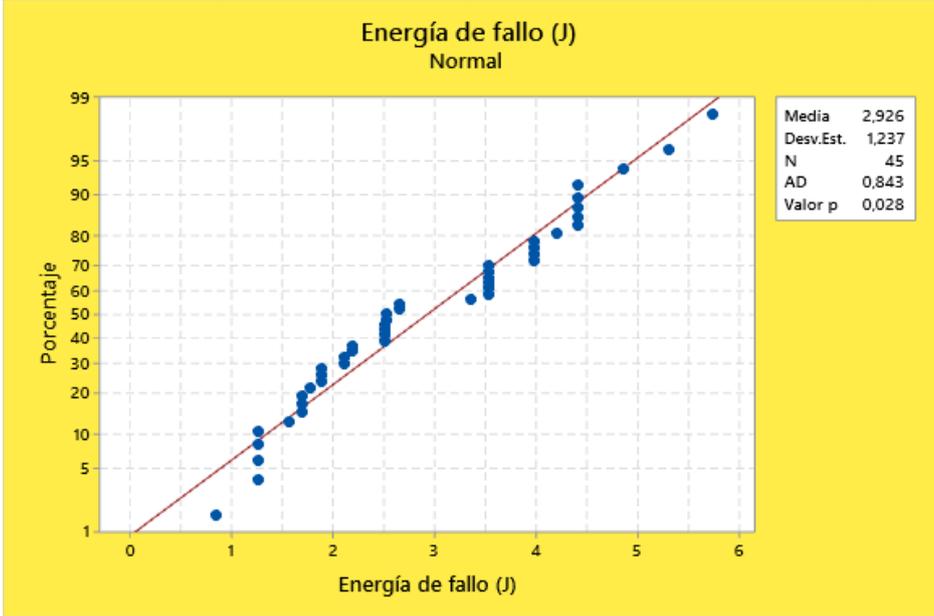
Factores	Valores óptimos	Deflexión (mm)
Orientación 1	40.45°	7.94
Orientación 2	45°	
Días de curado	32	

3.2.6. Análisis de ensayo a impacto

Para el análisis del ensayo de impacto, se realizaron 15 combinaciones con 3 réplicas por cada una de las combinaciones debido a que se obedece a la naturaleza del ensayo realizado, se debe variar la altura de falla para la caída del dardo, descartando la probeta cada vez que varíe la altura de caída.

Prueba de normalidad

Tabla 3.70: Análisis del supuesto de normalidad para la energía media de fallo [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del ensayo de impacto del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan una distribución normal”.		
	H₁: “Los datos del ensayo de impacto del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan una distribución normal”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
			
Estadístico de prueba:	Anderson Darling= 0.843	Valor-p= 0.028	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos del ensayo de impacto del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen una distribución normal.		

Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.71: Comprobación del supuesto de igualdad de varianza para la energía media de fallo [Autor].

Hipótesis:	H₀: “Los datos del ensayo de impacto del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	H₁: “Los datos del ensayo de impacto del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan igualdad de varianza”.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$	Número de experimentos	N=45
Estadístico de prueba:	Levene= 0.55	Valor-p= 0.863	
Descripción:	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.		
Conclusión:	En los datos del ensayo de impacto del material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Verificación de residuos

Como se puede observar en la figura 3.43, los datos presentan una independencia de residuos ya que no sigue un orden o patrón determinado.

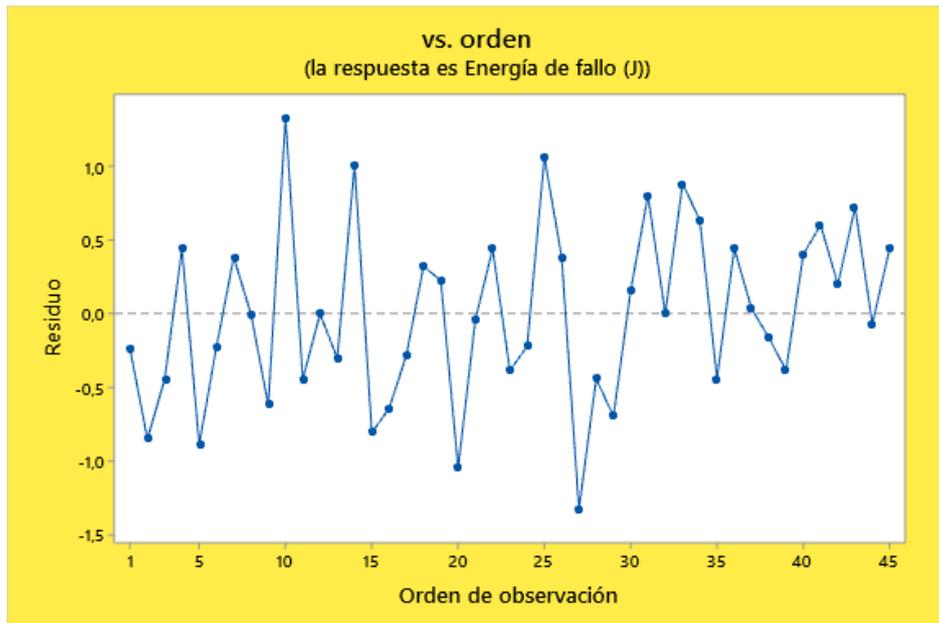


Figura 3.43: Análisis de gráfica de residuos vs orden de la energía media de fallo [Minitab].

Análisis de varianza

Se realiza un primer análisis que contenga todos los términos de un modelo cuadrático con el objetivo de obtener el diagrama de Pareto en el cual se analizan los efectos más importantes con la finalidad de ignorar los efectos que no sean relevantes con la energía media de fallo. Como se puede observar en la figura 3.44 la interacción de los días de curado, la orientación 1 y la orientación 2 influyen de manera muy importante.

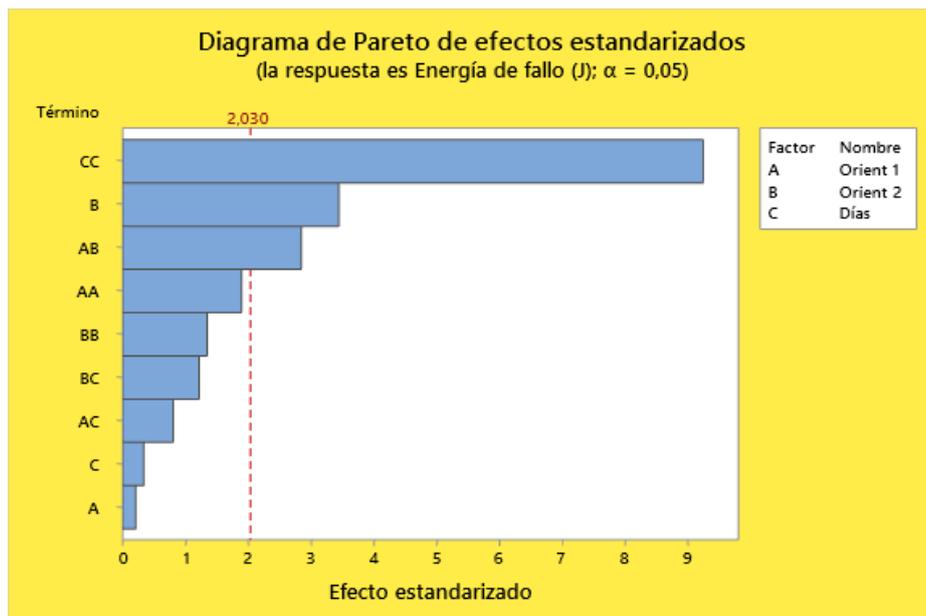


Figura 3.44: Análisis de la gráfica de Pareto para la energía media de fallo [Minitab].

De acuerdo a como vaya subiendo la interacción de los días de curado, la orientación 1 y la orientación 2, la energía media de fallo aumenta.

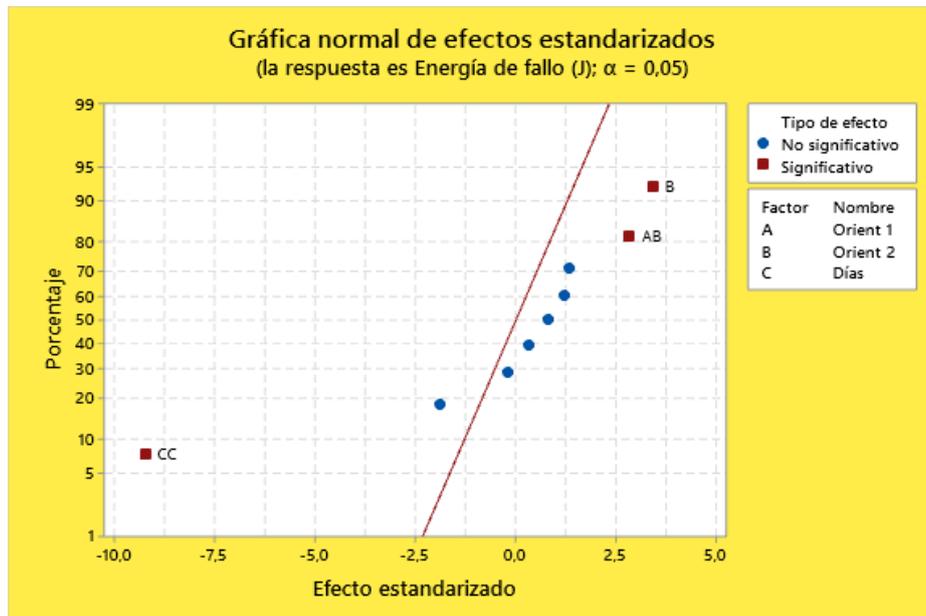


Figura 3.45: Análisis de los efectos significativos de la energía media de fallo [Minitab]

En la siguiente tabla 3.72 se observa el análisis ANOVA para la energía media de fallo, en el cual se puede ver la variabilidad que existe en los datos, mismos que tienen diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento.

Tabla 3.72: Análisis ANOVA para la energía media de fallo [Minitab].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	51,5401	5,7267	12,66	0
Lineal	3	5,4531	1,8177	4,02	0,015
Orient 1	1	0,0199	0,0199	0,04	0,835
Orient 2	1	5,3812	5,3812	11,9	0,001
Días	1	0,052	0,052	0,11	0,737
Cuadrado	3	41,4437	13,8146	30,55	0
Orient 1*Orient 1	1	1,6334	1,6334	3,61	0,066
Orient 2*Orient 2	1	0,8279	0,8279	1,83	0,185
Días*Días	1	38,6879	38,6879	85,55	0
Interacción de 2 factores	3	4,6433	1,5478	3,42	0,028
Orient 1*Orient 2	1	3,6702	3,6702	8,12	0,007
Orient 1*Días	1	0,2975	0,2975	0,66	0,423
Orient 2*Días	1	0,6756	0,6756	1,49	0,23
Error	35	15,8287	0,4522		
Falta de ajuste	3	2,5096	0,8365	2,01	0,132

Error puro	32	13,3191	0,4162		
Total	44	67,3688			

Para obtener una mayor variabilidad que sea aceptable se debe tener en cuenta factores como la orientación de la fibra, la temperatura, el espesor, los grumos de fibra, todo esto se deberá tomar en cuenta en futuras investigaciones.

A continuación, se presenta la figura 3.46 de los efectos principales para la energía media de falla, en esta gráfica muestra que los efectos de los factores de la orientación 1 con los días de curado son significativos en relación a la energía media de falla, esto se lo analiza con las curvas presentadas, ya que entre más prolongadas sean, mayor será el efecto.

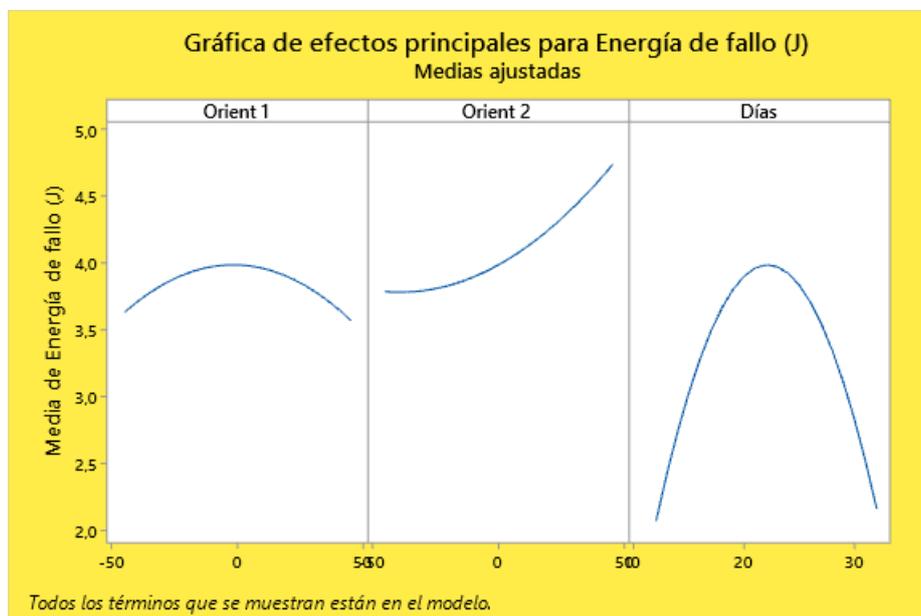


Figura 3.46: Análisis de efectos principales para la energía media de falla [Minitab].

En la gráfica de interacción para la energía media de falla en la figura 3.47 se puede observar los efectos significativos teniendo así en este caso a los efectos de interacción entre la orientación 1 vs orientación 2, la orientación 1 vs los días de curado y la orientación 2 vs los días de curado.

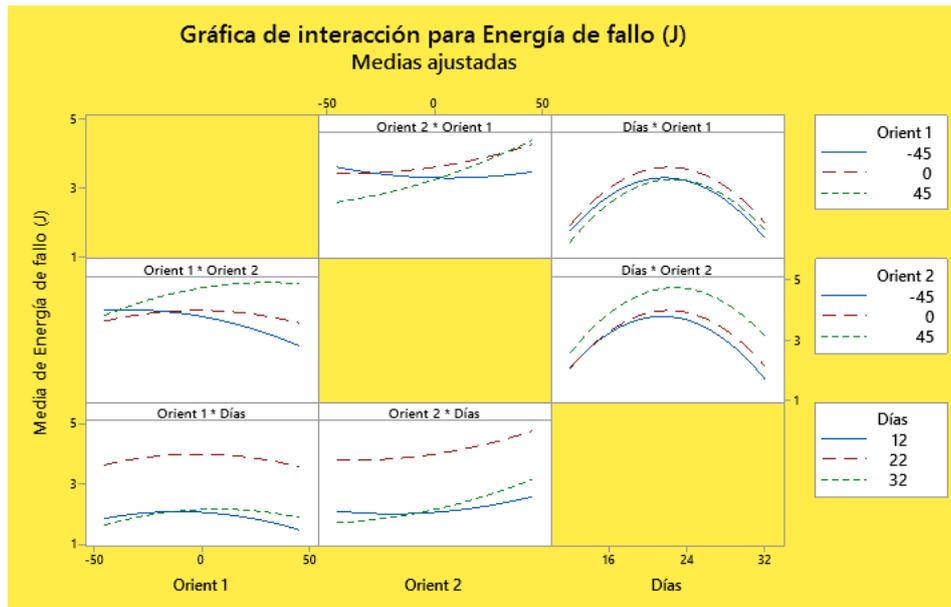


Figura 3.47: Análisis de interacciones para la energía media de fallo [Minitab].

Según la ecuación de regresión obtenida a través del análisis de varianza ANOVA se debe examinar las superficies de respuestas de la figura 3.48, en la cual se puede observar cómo se comporta la energía media de fallo en relación a cada factor de entrada.

En la gráfica a), el valor más alto de la energía media de fallo se lo obtiene en una combinación de orientación 1 y orientación 2 a 45°, mientras que en la gráfica b) se obtiene la energía media de fallo alta al combinar una orientación de 0° a 20 días de curado y finalmente en la gráfica c) con una combinación de orientación 45° a 20 días de curado se obtiene una elevada energía media de falla.

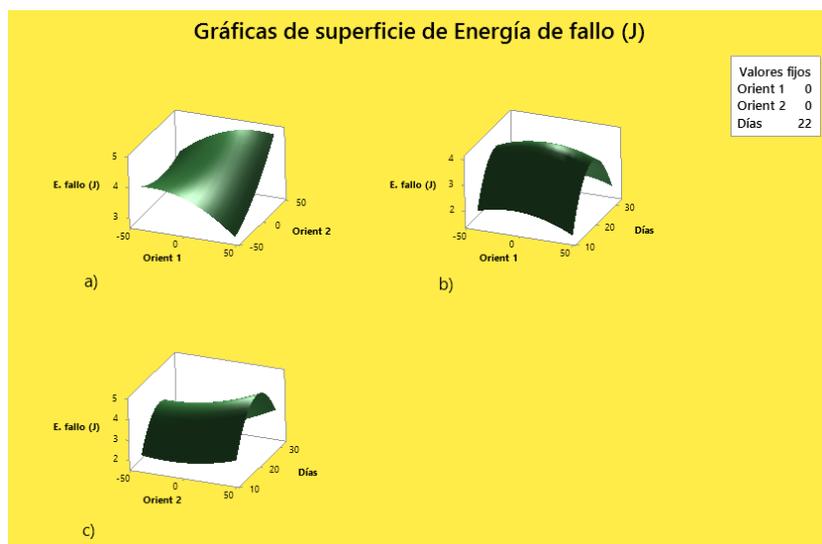


Figura 3.48: Análisis de superficie de respuesta para la energía media de fallo [Minitab].

Optimización de la energía media de fallo

Aplicando la función de deseabilidad, se puede agrupar los factores analizados con el fin de definir una combinación única que sea óptima para la energía media de fallo, a continuación, en la figura 3.49 se muestra lo anteriormente mencionado.

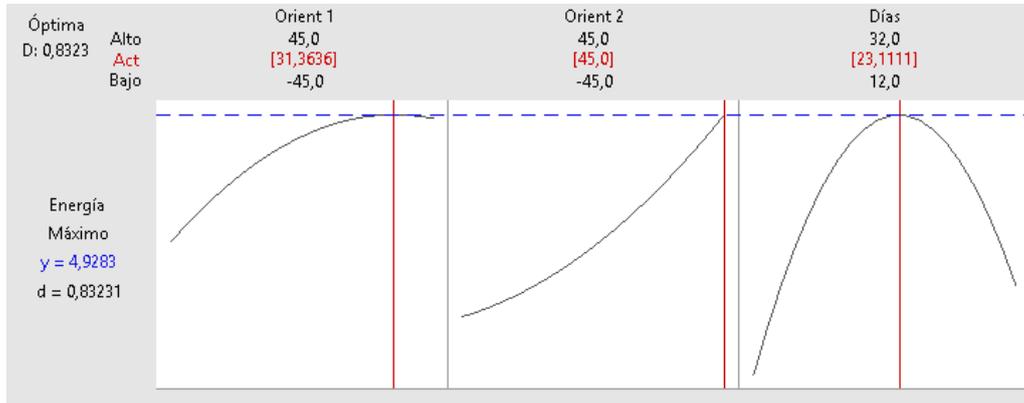


Figura 3.49: Análisis de optimización para la energía media de fallo [Minitab].

En la tabla 3.73 se muestra los valores óptimos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado un valor máximo de la energía media de fallo.

Tabla 3.73: Valores óptimos para la energía media de fallo [Autor].

Factores	Valores óptimos	Energía media de fallo (J)
Orientación 1	31.36°	4.928
Orientación 2	45°	
Días de curado	23	

3.2.7. Optimización simultánea

A continuación, en la figura 3.50 se muestra los valores de optimización simultánea la cual agrupa el valor de las deseabilidades individuales anteriormente obtenidas.

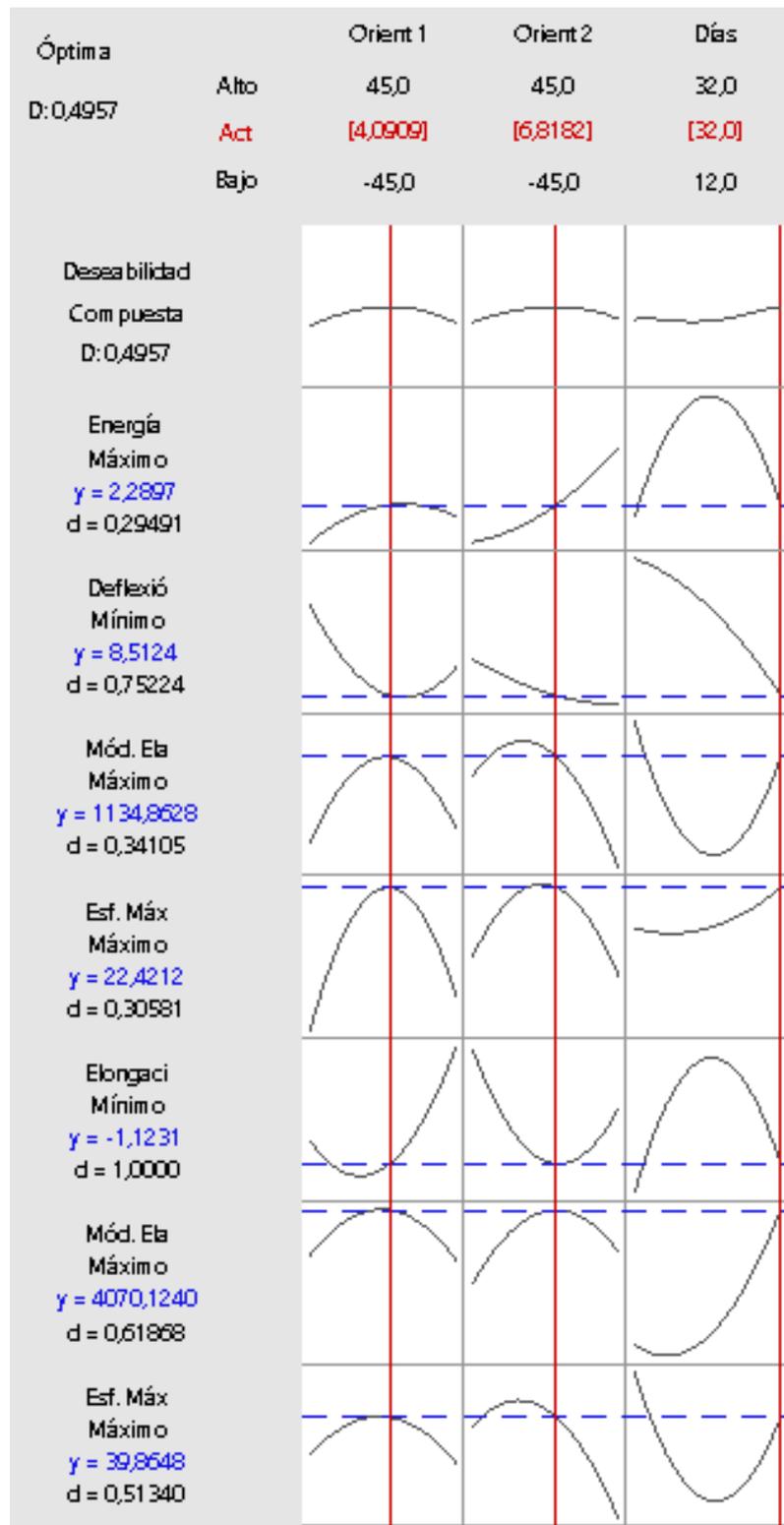


Figura 3.50: Análisis de optimización simultánea [Minitab].

En la tabla 3.74 se muestra los valores óptimos simultáneos de cada uno de los factores establecidos (orientación 1, orientación 2 y días de curado) que den como resultado el máximo rendimiento de las propiedades mecánicas.

Tabla 3.74: Valores óptimos simultáneos para el material compuesto [Autor].

Factores	Valores óptimos
Orientación 1	4.09°
Orientación 2	6.81°
Días de curado	32

Con los valores óptimos anteriormente obtenidos se obtienen los siguientes valores de las diferentes propiedades mecánicas del material compuesto.

Tabla 3.75: Valores predichos del punto óptimo simultáneo [Autor].

Respuesta	Ajuste
Energía de fallo (J)	2,29
Deflexión (mm)	8,512
Mód. Elasticidad a flexión (Mpa)	1135
Esf. Máximo a flexion (Mpa)	22,42
Elongación (%)	1,123
Mód. Elasticidad a tracción (Mpa)	4070
Esf. Máximo a tracción (Mpa)	39,86

3.3. Verificación de hipótesis

Para comprobar la hipótesis planteada en el presente trabajo experimental la cual indica lo siguiente, “*El diseño experimental bajo el método de superficie de respuesta permitirá optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira*”, esto se establece analizando las significancias calculadas en ANOVA para ello es necesario analizar los datos de la deseabilidad compuesta ya que ahí se observa las propiedades mecánicas analizadas, con ello se consigue la comprobación general de la hipótesis teniendo en cuenta que el nivel de significancia para aceptar o rechazar la hipótesis nula es de 5%.

Tabla 3.76: Análisis de ANOVA para la deseabilidad global [Autor].

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,661	0,073444	10472,44	0
Lineal	3	0,05472	0,01824	2600,83	0

Orient 1	1	0,006562	0,006562	935,66	0
Orient 2	1	0,00754	0,00754	1075,19	0
Días	1	0,040617	0,040617	5791,63	0
Cuadrado	3	0,58513	0,195043	27811,24	0
Orient 1*Orient 1	1	0,291414	0,291414	41552,69	0
Orient 2*Orient 2	1	0,180322	0,180322	25712,18	0
Días*Días	1	0,096836	0,096836	13807,88	0
Interacción de 2 factores	3	0,02115	0,00705	1005,24	0
Orient 1*Orient 2	1	0,009538	0,009538	1359,96	0
Orient 1*Días	1	0,011423	0,011423	1628,81	0
Orient 2*Días	1	0,000189	0,000189	26,95	0
Error	35	0,000245	0,000007		
Falta de ajuste	3	0,000245	0,000082	*	*
Error puro	32	0	0		
Total	44	0,661245			

El modelo presentado expone el 99.95% de la variabilidad entre los valores de la deseabilidad compuesta, debido a que el valor de p-valor del modelo es 0, es decir es menor que la significancia de error, aunque en la figura 3.50 se puede observar una deseabilidad baja en las propiedades mecánicas de esfuerzo máximo a flexión, módulo de elasticidad a flexión y energía media de fallo, por esta razón la hipótesis planteada concluye así.

H_0 : “El diseño experimental bajo el método de superficie de respuesta no permitirá optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira”

H_1 : “El diseño experimental bajo el método de superficie de respuesta permitirá optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira”

Luego de haber analizado los resultados de la tabla 3.76 en donde se obtiene un valor de p menor a la significancia de error, se acepta la hipótesis alternativa, en la cual el diseño experimental bajo el método de superficie de respuesta permitirá optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Los parámetros de conformado para elaborar el material compuesto fueron, orientaciones de -45° , 0° y 45° ; número de capas: 2 y tiempo de curado de 12, 22 y 32 días.
- Las propiedades mecánicas optimizadas del material compuesto luego de realizar los ensayos de tracción, flexión e impacto fueron:

El esfuerzo máximo a tracción, presenta su mejor rendimiento cuando la orientación de la fibra 1 es -1.36° , la orientación 2 es 17.48° y el tiempo de curado de 12 días, estos datos dan una respuesta predicha de 48.85 [MPa].

El módulo de elasticidad a tracción, presenta su mejor rendimiento cuando la orientación de la fibra 1 es -1.36° , la orientación 2 es 6.81° y el tiempo de curado de 32 días, estos datos dan una respuesta predicha de 4080 [MPa].

El porcentaje de elongación a tracción, presenta su mejor rendimiento cuando la orientación de la fibra 1 es -16.81° , la orientación 2 es 19.54° y el tiempo de curado de 12 días, estos datos dan una respuesta predicha de 3.34 %.

El esfuerzo máximo a flexión, presenta su mejor rendimiento cuando la orientación de la fibra 1 es 4.09° , la orientación 2 es -2.27° y el tiempo de curado de 32 días, estos datos dan una respuesta predicha de 22.63 [MPa].

El módulo de elasticidad a flexión, presenta su mejor rendimiento cuando la orientación de la fibra 1 es 2.27° , la orientación 2 es 13.18° y el tiempo de curado de 12 días, estos datos dan una respuesta predicha de 1245 [MPa].

La deflexión a flexión, presenta su mejor rendimiento cuando la orientación de la fibra 1 es 40.45° , la orientación 2 es 45° y el tiempo de curado de 32 días, estos datos dan una respuesta predicha de 7.94 [mm].

- La energía media de fallo, presenta su mejor rendimiento cuando la orientación de la fibra 1 es 31.36° , la orientación 2 es 45° y el tiempo de curado de 23 días, estos datos dan una respuesta predicha de 4.928 [J].
- El mejor comportamiento mecánico del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de chambira es combinando los siguientes parámetros: orientación 1 a 4.09° , orientación 2 a 6.81° y un tiempo de curado de 32 días, la deseabilidad compuesta es de 0.8323 con esta configuración se obtienen los siguientes resultados.

Esfuerzo Máximo a Tracción: 39,86 [Mpa]

Módulo de Elasticidad a Tracción: 4070 [Mpa]

Elongación: 1,123 [%]

Esfuerzo Máximo a Flexión: 22,42 [Mpa]

Módulo de Elasticidad a Flexión: 1135 [Mpa]

Deflexión: 8,512 [mm]

Energía Media de Fallo: 2,29 [J]

- Mediante el diseño de Box-Benhken perteneciente a la Metodología de superficie de respuesta se pudo obtener 15 combinaciones necesarias de orientación de capas y los días de curado del material compuesto, cada una con 3 réplicas, para poder realizar los ensayos mecánicos establecidos.
- Un factor importante dentro del material compuesto es la orientación de las fibras, ya que de acuerdo a como estén ubicadas el material tendrá mayor o menor resistencia a las diferentes propiedades mecánicas.
- El material compuesto fue fabricado a través de estratificación al vacío, de esta manera se obtuvo una buena adherencia entre la matriz epoxi y la fibra de chambira, además de permitir eliminar el exceso de resina en el material.

4.2. Recomendaciones

- Llevar prendas de protección personal para el manejo y manipulación de los elementos y materiales necesarios para la fabricación del material compuesto, con ello evitar cualquier contacto nocivo para la salud.
- Ordenar y limpiar el área de trabajo para obtener un material compuesto sin ningún tipo de defecto que pueda afectar el rendimiento de las propiedades mecánicas del material.
- Encerar la mesa de trabajo para que al momento de retirar el material compuesto no haya alguna rotura o fractura del material.
- Succionar el aire de la bosa de vaciado con mucho cuidado ya que, al realizar demasiada presión, la resina podría ser succionada en exceso y el material quedaría con imperfecciones.
- Una vez realizada la estratificación al vacío, dejar reposar a las probetas por 24 horas, para obtener una mejor adherencia e interfaz entre la matriz y refuerzo.
- Dejar cierta holgura en las medidas de las probetas para que al momento de cortar no haya ningún inconveniente con el material.
- Realizar una codificación clara y precisa, fácil de identificar para que en el momento de ejecutar los ensayos se hagan de una manera más rápida y no haya ningún tipo de confusiones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Salinas García, “Caracterización de materiales compuestos a base de polímeros - fibra de bagazo de nopal por inyección”, Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F, 2011.
- [2] F. Delgado, S. Galeas y V. Guerrero, “Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de coco y vidrio para la elaboración de tableros”, Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, 2014.
- [3] E. A. Proaño Fiallos, “Desarrollo de un material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibras de cabuya y con raquis de palma africana”.
- [4] P. D. Vargas, “Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales”, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato, 2018.
- [5] F. Ayala y F. Contreras, “Caracterización mecánica del compsite UV fotocurable resina astrocaryum chambira ecuatoriana”, Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Sangolquí, 2020.
- [6] T. Majewski and A. Bledzki, Plásticos reforzados con Fibras Naturales en el Sector Automotriz. Ideas en Ciencia, 2013, p. 25.
- [7] J. Montoya and C. Zumaeta, Uso de la Tierra, Comunidades y Áreas Protegidas en la Amazonía Baja Peruana. Huanaco, Perú: Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, 2016.
- [8] J. Roman, “Nuevos materiales en la sociedad del siglo XXI”. *Biomateriales: retos y alternativas*, 2007, pp. 63-72.
- [9] M. John y S. Thomas, “Biofibras and biocomposites”, *Carbohydrate polymers*, 2008, pp. 342-364.
- [10] FAO, “Fibras Naturales 2009”, 2009. [En línea]. Disponible: <http://www.naturalfibras2009.org>. [Último acceso: 06 de mayo de 2021]

- [11] M. J. Macía, “Las plantas de fibra”, *Botánica Económica de los Andes Centrales*, 2006, pp 380.
- [12] J. P. Moscoso, “Obtención de Compuestos de Polipropileno Reforzado con Fibras de Abacá Mediante Moldeo por Compresión”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Pichincha, Ecuador, 2007.
- [13] Y. Deaquiz y B. Moreno, “Producción y Biosíntesis de Fibras Vegetales”, *Conexión Agropecuaria*, 2016, pp. 29-42.
- [14] H. Franco y V. González, “A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites”, *Composites Part B: engineering Vol. 68*, 2005, pp. 597-608.
- [15] T. Omar, “Evaluación de un Material Lignocelulósico Para la reducción de Celulasa, Xilanas y Lacas por Basidiomicetos del Noreste de México”, Universidad Autónoma de Nuevo León, México, 2013.
- [16] C. T. Brett, “Cellulose microfibrils in plants: Biosynthesis, deposition and integration into the cell wall”, *Int. Rev. Cytol*, 2000, pp. 161-199.
- [17] M. Marín, B. Millan and F. Kahn, "Anatomy and physicochemical properties of the chambira fiber", *Revista Peruana de Biología*, no. 19, 2018, pp. 6-7.
- [18] O. Jensen, Balslev and Henrik, “Ethnobotany of the fiber palm *Astrocaryum chambira* in Amazonian Ecuador”, *Economic Botany*, 2008.
- [19] R. Valencia, R. Montúfar, H. Navarrete y B. Henrik, *Palmas ecuatorianas: Biología y uso sostenible*, Herbario QCA de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2013.
- [20] García, Galeano, Berbal, Nacimiento, Noriega y Angel, *Cartilla para el manejo y aprovechamiento de la palma de chambira (*Astrocaryum chambira*)*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2013.
- [21] W.D. Callister 07 “Introducción a la Ciencia de la Ingeniería de los materiales”, *Vol. 1 Barcelona- España Reverte Séptima Ed*, 2007, pp. 2-542.
- [22] A. Miravete y J. Cuarteto, “Materiales compuestos 2003”, Vol. 2, Asociación Española de Materiales Compuestos, Editorial Reverté, S.A., 2003, pp. 873.

- [23] E. A. Proaño Fiallos, “Desarrollo de un material compuesto de matriz de poliuretano rígido reforzado con fibras de cabuya y con raquis de palma africana”.
- [24] A. D. Jácome León, “Estudio de la configuración de fibras del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra de piña y su incidencia en las propiedades mecánicas en la fabricación de butacas deportivas”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2015.
- [25] S. S. Pacha Guashco, “Caracterización mecánica y numérica del material híbrido de matriz epoxi reforzada con tejido plano de fibra vegetal (algodón) y fibra natural (fibra de cabuya)”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [26] V. H. Guerrero, J. L. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, “Nuevos Materiales, Aplicaciones estructurales e industriales”, Quito: Imprefepp, 2011.
- [27] G. E. Mazón Ortiz, “Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster con fibra de coco para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [28] J.D. Trejos Taborda, “Propiedades mecánicas de una matriz poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio”, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 2014.
- [29] M. Z. Rong, M. Q. Zhang, Y. Liu y H. M. Zeng, “The effect of fiber treatment on the mechanical properties of unidirectional sisal-reinforced epoxy composites”, *Composites Science and Technology*, 2001, pp. 1437-1447.
- [30] S. Morejón y L. Narváez, *Materiales Compuestos de Matrices Polietilénicas Reforzados con Fibras Naturales de Abacá y Cabuya*, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2004.
- [31] QuimiNET, *Resinas, tipos de resinas y aplicaciones*, 2019. [En línea]. Disponible: <https://www.quiminet.com/articulos/resinas-tipos-de-resinas-y-aplicaciones-18443.html>. [Último acceso: 17 de junio de 2021]

[32] J. Pérez Porto y A. Gardey, *Definición de*, 2011, [En línea]. Disponible: <http://petromercado.com/blog/37-articulos/105-poder-calorifico-inferior-y-superior.html>. [Último acceso: 17 de junio de 2021]

[33] Yuridia, *Resina Epóxica*, Plaremesa, [En línea]. Disponible: https://www.plaremesa.net/resina-epoxica/?fbclid=IwAR2uL-yOjvD1umb9pMIgPbudnmYQBZ_mFVei6xgsqkBj3iTPTTrJDwqfBoA0. [Último acceso: 17 de junio de 2021]

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica de resina epoxi.



PR2032
Laminating Resin
For Composite Parts

NEW HARDENER

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&WAEROPOXY 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 allergic 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 2: Norma para ensayo de tracción ASTM D3039-00.



Designation: D 3039/D 3039M – 00^{ε1}

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

^{ε1} NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins³
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials⁴
- D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

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

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵

E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶

E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

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.

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

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

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

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

3.3 *Symbols*:

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

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

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

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

3.3.5 E —modulus of elasticity in the test direction.

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

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

3.3.8 h —coupon thickness.

3.3.9 L_g —extensometer gage length.

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

3.3.11 n —number of coupons per sample population.

3.3.12 P —load carried by test coupon.

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

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

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

3.3.16 w —coupon width.

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

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

3.3.19 δ —extensional displacement.

3.3.20 ϵ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

3.3.21 ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 σ —normal stress.

3.3.23 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 load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

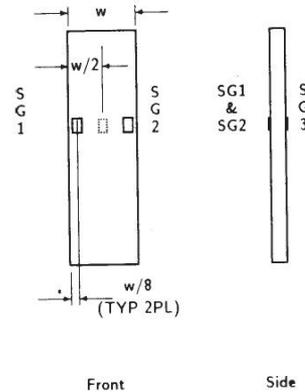


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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

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

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

where:

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

The total bending component is:

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

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

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

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

⁷ 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.

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

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

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 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 11.

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

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

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

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

8. Sampling and Test Specimens

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

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

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

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

8.2.1 *General Requirements:*

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

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

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

8.2.2 *Specific Recommendations:*

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

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

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

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

TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements

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

^A See 8.2.2 of Table 2 for recommendations.

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, ^a
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.

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

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 loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

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

$$L_{\min} = F^{\text{th}}h/2F^{\text{m}} \quad (4)$$

where:

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

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

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

8.3 Specimen Preparation:

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

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

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

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

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

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

11. Procedure

11.1 *Parameters To Be Specified Before Test:*

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 *General Instructions:*

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

D 3039/D 3039M – 00^{e1}

- 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√(SYMBOL) IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

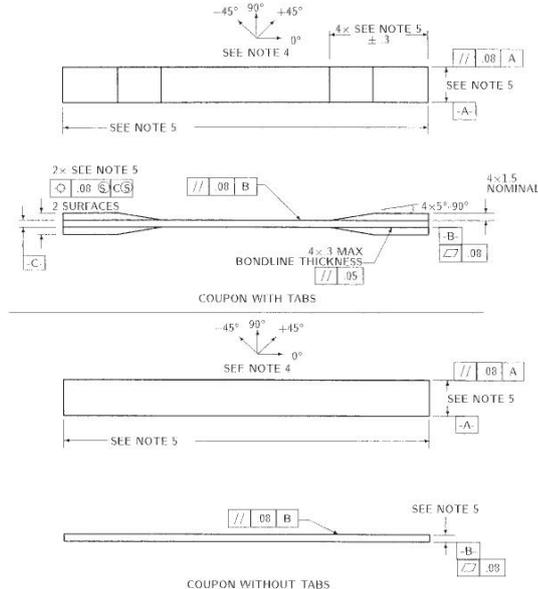


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

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

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

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

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

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

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

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

D 3039/D 3039M – 00^{e1}

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:
 $\begin{matrix} X & | & .XX & | & .XXX \\ \pm 1 & | & \pm .03 & | & \pm .01 \end{matrix}$
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO $\perp A$ WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $64\sqrt{\text{ }}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
5. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO $\perp A$, OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

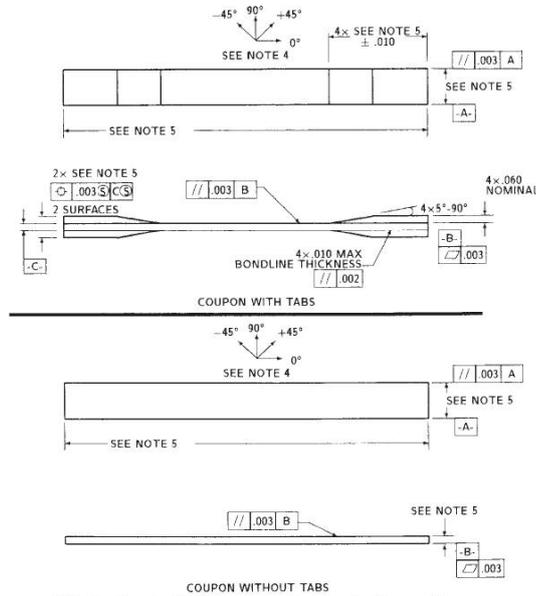


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 ^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.

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

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

where:

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 load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

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

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

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

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

12. Calculation

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

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

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

where:

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

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

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

where:

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.].

12.3 Tensile Modulus of Elasticity:

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

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

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

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

where:

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

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

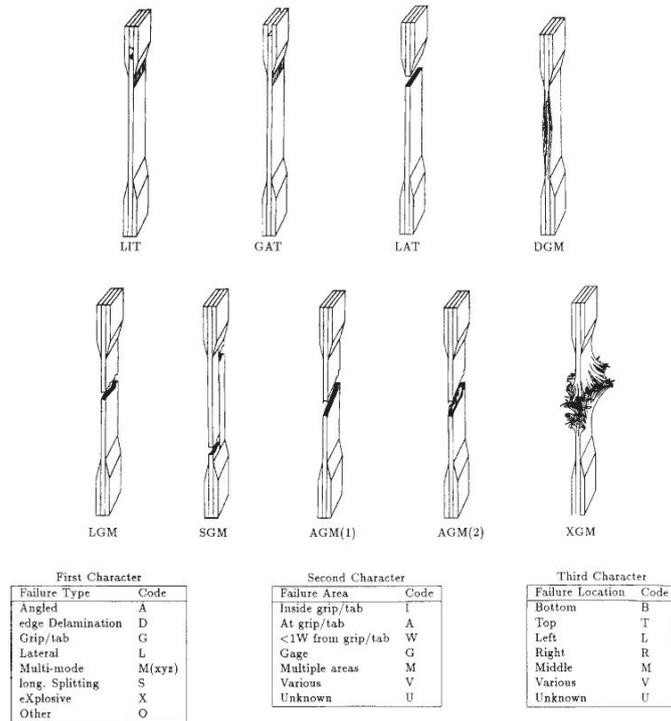


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

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

12.4 Poisson's Ratio:

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

12.4.1 Poisson's Ratio By Chord Method—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied load), ϵ_p , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), 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

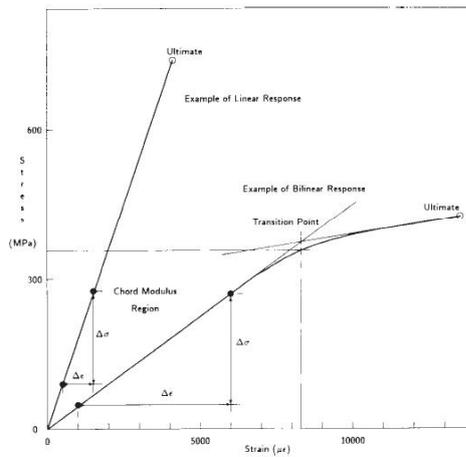


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

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

where:

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

13. Report

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

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

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

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

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

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

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

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

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

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

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

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

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

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

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

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

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

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

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

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

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

TABLE 4 Precision Statistics

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

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

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5. Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S_j/X_j , %	Average of S_{j^*}/X_j , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

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

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

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

15. Keywords

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

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

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

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

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



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

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

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

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

NOTE 1—Unlike Test Method D 6272, which allows loading at both one-third and one-half of the support span, in order to standardize geometry and simplify calculations this standard permits loading at only one-half the support span.

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

D 3878 Terminology for Composite Materials

D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials

D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation

D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending

D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials

E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods

E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases

E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 *Other Documents:*

ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

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

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

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.

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

License: by [MEX] to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO CRUESP. Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM. Single user license only. Copying and networking prohibited.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

- b = specimen width
- CV = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
- h = specimen thickness
- L = support span
- m = slope of the secant of the load-deflection curve
- n = number of specimens
- P = applied force
- s_{n-1} = sample standard deviation
- x_j = 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).

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

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center

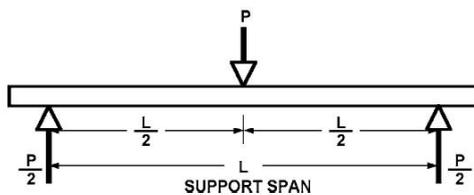


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

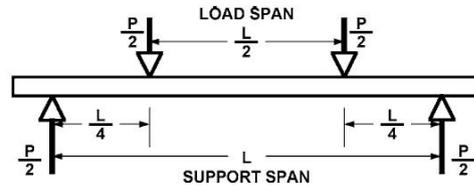


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D 2344/D 2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D 2344/D 2344M.

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

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

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

6. Interferences

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


D 7264/D 7264M – 07

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

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

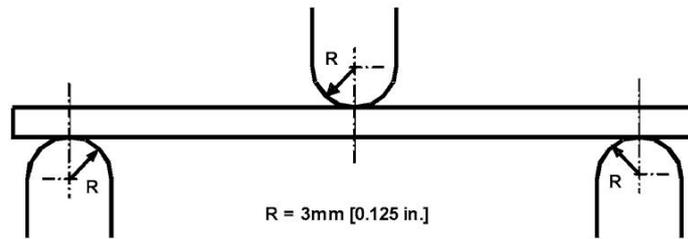
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses should also uniformly contact the specimen across its width. Lack of

uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

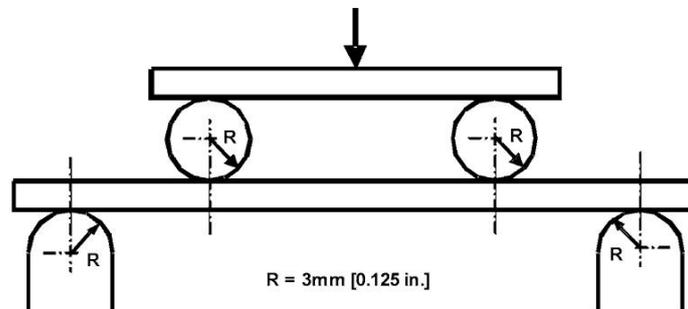
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1% of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

D 7264/D 7264M – 07

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 Micrometers—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is desirable 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 $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method **D 5229/D 5229M**. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

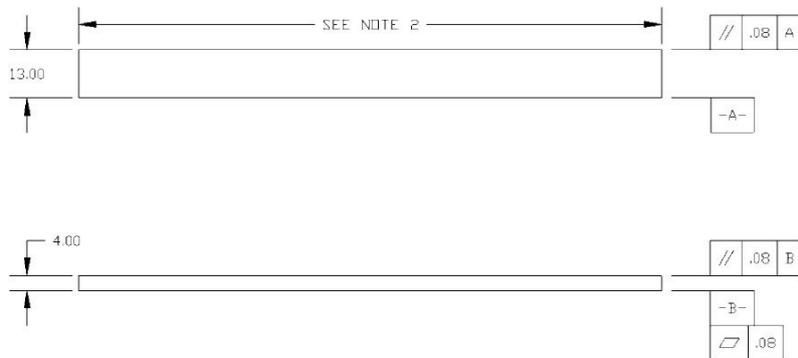
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 Specimen Preparation—Guide **D 5687/D 5687M** provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

8.2 Specimen Size is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See **Figs. 4 and 5** for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide **D 6856**. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio may not be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

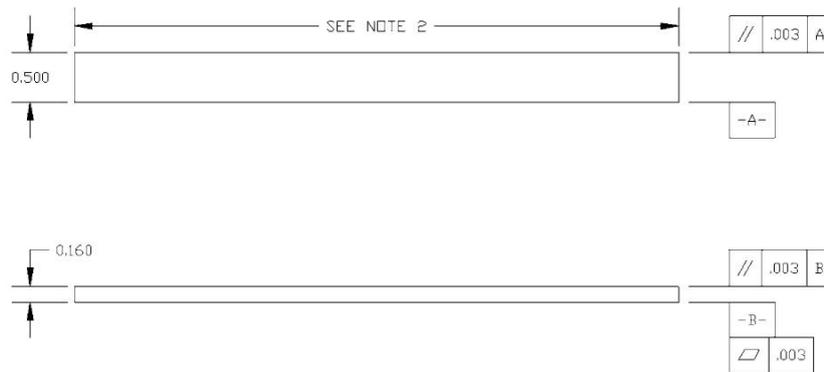
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets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



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.

NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.

FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.
 NOTE 2—See 8.2 and 11.3 of this test standard for the required values of span and overall length.
FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

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

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

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

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

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

11. Procedure

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

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

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

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

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

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a

License: by WEX to UNIVERSIDADE DE SAO PAULO - CRUESP - Downloaded: 1/29/2008 11:27:41 AM - single-user - license - only - copying - and - networking - prohibited - /

D 7264/D 7264M – 07

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

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by delamination of the outer ply.

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a

beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

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 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 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

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

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

h = thickness of beam, mm [in.].

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

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

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

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

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

where:

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 may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.366h}{L^2} \quad (4)$$

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).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
 $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
 $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.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*:

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it should be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

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

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

\bar{x} = average value or sample mean,
 x_i = value of single measured or derived property,
 n = number of specimens,
 s_{n-1} = estimated standard deviation,
 CV = coefficient of variation in percentage.

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

- 14.1.1 The revision level or date of issue of the test method used.
- 14.1.2 The date(s) and location(s) of the testing.
- 14.1.3 The name(s) of the test operator(s).
- 14.1.4 The test Procedure used (A or B).
- 14.1.5 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.
- 14.1.6 Identification of the material tested including: material specification, material type, material designation, manufacturer, manufacturer's lot or batch number, source (if not from the manufacturer), date of certification, expiration of certification, filament diameter, tow or yarn filament count and twist, sizing, form or weave, fiber areal weight, matrix type, prepreg matrix content, and prepreg volatiles content.
- 14.1.7 Description of the fabrication steps used to prepare the laminate including: fabrication start date, fabrication end date, process specification, cure cycle, consolidation method, and a description of the equipment used.
- 14.1.8 Ply orientation stacking sequence of the laminate.
- 14.1.9 If requested, report density, reinforcement volume fraction, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test data.
- 14.1.10 Average ply thickness of the material.
- 14.1.11 Results of any nondestructive evaluation tests.
- 14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.
- 14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.
- 14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.
- 14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.
- 14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.
- 14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.
- 14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.
- 14.1.19 Number of specimens tested.
- 14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.
- 14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.
- 14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

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

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

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

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

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

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

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

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

D 7264/D 7264M – 07

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.

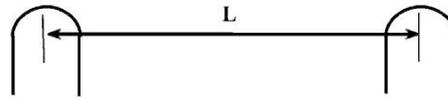


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

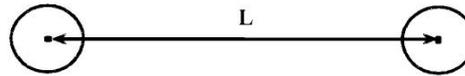


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

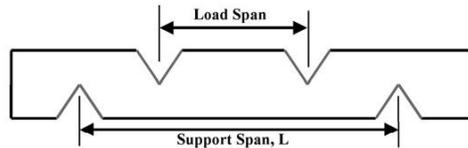


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

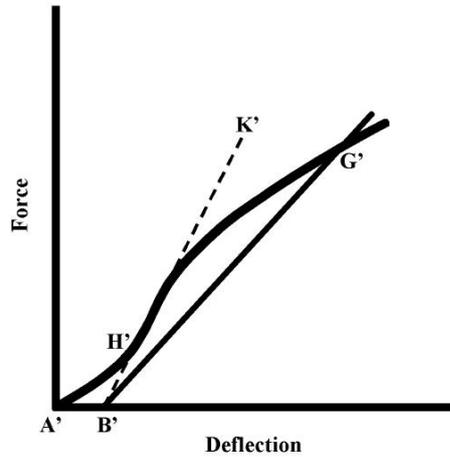


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

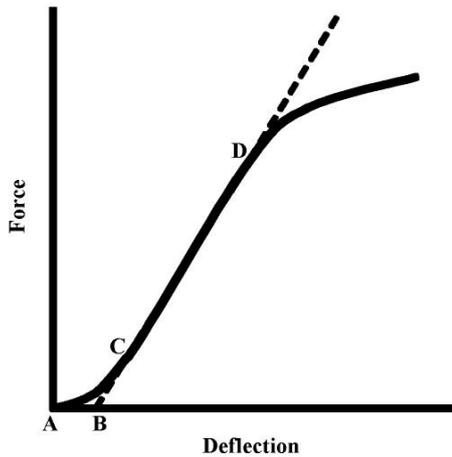


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 **D 7264/D 7264M – 07**

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

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

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

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

ANEXO 3: Norma para ensayo de impacto ASTM D5628-10.



Designation: D5628 – 10

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

1. Scope*

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

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

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Specific hazard statements are given in Section 8.

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards: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

D2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)

D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

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 July 1, 2010. Published July 2010. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2007 as D5628 - 07. DOI: 10.1520/D5628-10.

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.

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens

D6779 Classification System for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standards: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.

3.2.4 *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 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 Harbour Drive PO box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Sep 6 14:00:53 EDT 2010 1

Downloaded/printed by

Escuela Politecnica Nacional pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

3.2.5 *tup*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (*tup*) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).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. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC should be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter *tup* used in Geometry FB minimizes problems with *tup* penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been

used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and *tup* must be somewhat arbitrary. Although a choice of *tup* geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests should be used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and *tup* shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

⁴ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

D5628 – 10

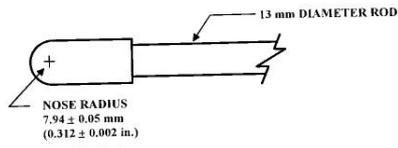


FIG. 1 (a)

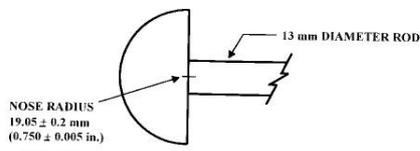
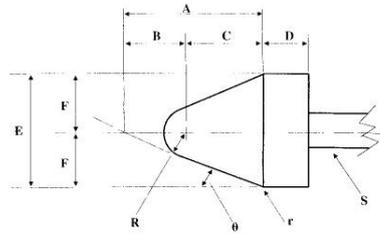


FIG. 1 (c)

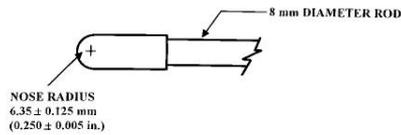


FIG. 1 (d)

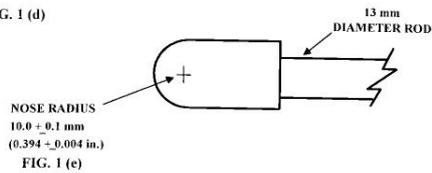


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±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 Tup Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

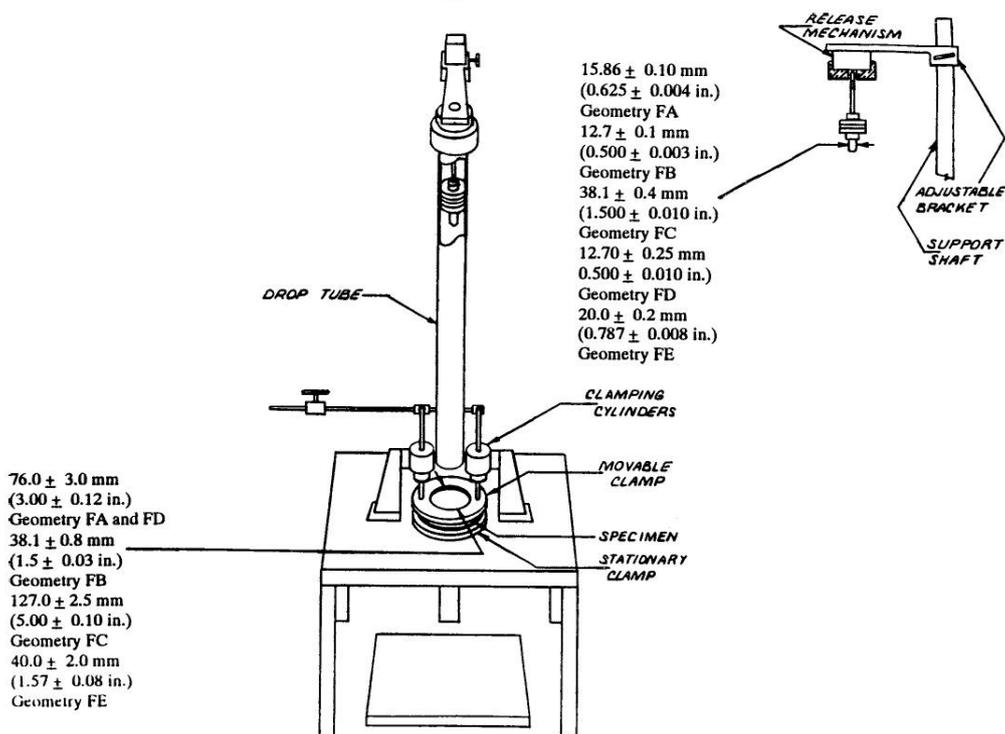


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should be 40 ± 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 should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tup Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 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).

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

D5628 - 10

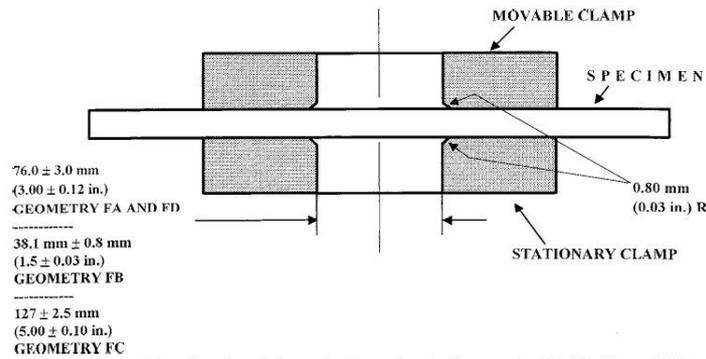


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

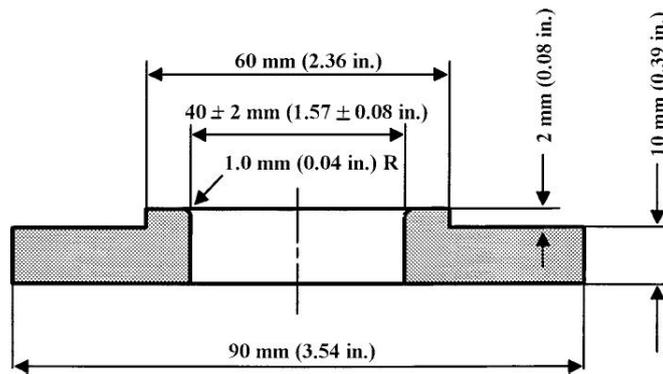


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

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)

axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8

mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2-mm (0.787 ± 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (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)

tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

7.4 *Micrometer*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods **D5947** for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of $\pm 1\%$.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method **D2444** shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section **14**.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See **Table 2** for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with **ISO 6603-1** the test specimen shall be 60 ± 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 should be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with **ISO 6603-1** a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (**1**).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice **D618**, for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice **D618**, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with **ISO 291**, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System **D6779**) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice **D618**, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method **D618**.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in **10.3**.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in **11.1**.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is not necessary to measure each specimen. It is sufficient to

measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 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 should be approximately equivalent to *s*, the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times *s* is satisfactory (see section 13.4).

NOTE 6—An increment of 10 % of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as *X*, to indicate a failure and a different symbol, such as *O*, to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be

examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly can be found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- w* = mean-failure mass, kg,
- h* = mean-failure height, mm,
- d_w* = increment of tup weight, kg,
- d_h* = increment of tup height, mm,
- N* = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- w_o* = smallest mass at which an event occurred, kg
- h_o* = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- A* = $\sum_{i=0}^k i n_i$,
- i* = 0, 1, 2... *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* + *i d_w*, and
- h_i* = *h_o* + *i d_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 × 10⁻³ if *h* = mm and *w* = kg.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

- s_w* = estimated standard deviation, mass, kg
- s_h* = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is < 0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_w = Gs_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

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.

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart.

14.1.5 Means of clamping, if any.

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height.

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass.

14.1.9 Mean-failure energy.

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not.

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^a	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^a	11.8	14.9	42.2

^a Data generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
 $r = 2.83 V_r$.

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known.

14.1.12 Date of test and operator's identification.

14.1.13 Test temperature.

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 Tables 3 and 4 are based on a round 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.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet. (**Warning**—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

15.2 *Concept of r and R* —If V_r and V_R have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

⁵ Supporting 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.
 $r = 2.83 V_r$.

means from testing multiple individual specimens (Bruceton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	i	n_i	in_i	i^2n_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X			X		X							4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X			4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O								O		0	5				
											Totals		9	11		9	6	8								
													(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)								

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 \sqrt{[(NB - A^2)/9^2] + 0.029}$
 $= 1.620 \sqrt{[(1.00)((9.6 - 6^2)/9^2) + 0.029]}$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 07) that may impact the use of this standard. (July 1, 2010)

- (1) Revised 11.1 and 11.2 for consistency with Practice D618.
- (2) Revised 12.4 to allow measurement of only one specimen for injection molded specimens.

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

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

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

ANEXO 5: Licencia Minitab.

22/10/21 17:18

Correo: Paredes Salinas Juan Gilberto - Outlook

Factura del pedido: 100718485254

OnTheHub <noreply@kivuto.com>

Vie 22/10/2021 17:14

Para: Paredes Salinas Juan Gilberto <jgparedes@uta.edu.ec>

**** Este es un mensaje automático - por favor, no responda ya que no recibirá respuesta. ****



Estimado Juan Paredes:

Gracias por el pedido.

Todos los detalles sobre su pedido, incluido cualquier clave del producto, código de activación o vínculo de descarga necesarios (si es el caso), están disponibles en su tienda web en [Su cuenta/Pedidos](#).

Si es redirigido a la página de inicio de sesión interna de su organización, tendrá que iniciar sesión con las credenciales proporcionadas por su organización.

Resumen de pedido

Número de pedido: 100718485254
Fecha del pedido: 2021-10-22 18:12
Hora de verano del Este

Información del pedido

Nombre: Juan Paredes
Correo electrónico: jgparedes@uta.edu.ec
Tarjeta de crédito: Visa *****9264
Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en su estado de su cuenta.

Dirección de facturación

Juan Paredes
Ambato - Montalvo
Camino real y león febres cordero
Ambato 180215
Ecuador

https://outlook.office.com/mail/inbox/id/AAQkADc2NDg3MWRhLTEzMjctNGY4MS1hZmJLTThhNDZmZWYxYmNjNAQAQANrOprS6JJIHkHlctgbHeO... 1/2

Ítems (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

[Vea los detalles para recuperar los artículos de su pedido.](#)

	Importe
1. Minitab Statistical Software: Cloud App & Windows Desktop (12-Mo Rental) - Subscription	\$54.99
<hr/>	
Subtotal:	\$54.99
Impuestos:	--
Total:	\$54.99

Asegúrese de que toda la información listada a continuación sea correcta y guarde esta factura para su registro.

Si tiene alguna pregunta, consulte la [página de Ayuda de la tienda web](#).

Gracias,
[OnTheHub](#)