



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

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

TEMA:

**“OPTIMIZACIÓN-MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ
EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE CHAMBIRA
(ASTROCARYUM), MEDIANTE INFUSIÓN DE RESINA AL VACÍO Y SU
INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**

AUTOR: Brayan Eduardo Gavilanes Medina

TUTOR: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO – ECUADOR

Septiembre - 2022

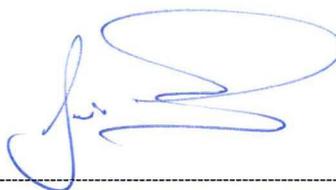
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“OPTIMIZACIÓN-MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), MEDIANTE INFUSION DE RESINA AL VACIO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, elaborado por el Sr. Brayan Eduardo Gavilanes Medina, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1501080012, 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, septiembre 2022



Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACION

Yo, Brayan Eduardo Gavilanes Medina, con C.I. 1501080012 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema **“OPTIMIZACIÓN-MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), MEDIANTE INFUSION DE RESINA AL VACIO 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, septiembre 2022



Brayan Eduardo Gavilanes Medina

C.I. 1501080012

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, septiembre 2022



Brayan Eduardo Gavilanes Medina

C.I. 1501080012

AUTOR

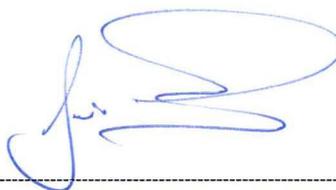
CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“OPTIMIZACIÓN-MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM), MEDIANTE INFUSION DE RESINA AL VACIO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, elaborado por el Sr. Brayan Eduardo Gavilanes Medina, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1501080012, 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, septiembre 2022



Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, Mg
TUTOR

DEDICATORIA

Dicho trabajo experimental va dedicado especialmente hacia mis padres; Galud y Milton, por apoyarme y demostrarme que todo reto en esta vida se puede superar ligado con amor y apoyo incondicional durante mi vida estudiantil siempre haciendo incapie en los valores para formar una persona de bien.

A mi hermano Paúl que siempre estuvo en mis peores momentos y que siempre supo apoyarme mas aun y mis peores momentos, jamas alejándose de mi y demostrándome que todo en la vida se puede lograr.

A toda mi familia que estuvo ahí apoyando incondicionalmente en mi proceso de titulación.

A mi pareja y amigos que estuvieron ahí conmigo dándome ánimos y supieron apoyarme con mi proceso profesional.

Brayan E. Gavilanes M.

AGRADECIMIENTO

Agradecido primeramente con Dios por permitirme cumplir uno de mis principales sueños como lo es profesionalizarme.

A mis padres por ayudarme a cumplir una meta más en mi vida siempre inculcando valores que me convirtieron en una persona de bien para la sociedad.

A la carrera de Ingeniería Mecánica y a sus docentes que supieron brindarme todos sus conocimientos y su apoyo incondicional el cual me sirvió de mucho para llegar hacer el profesional que soy.

A mi docente tutor Ing. Juan Paredes que fue una guía a lo largo de mi trabajo de titulación brindándome apoyo moral y a su vez su conocimiento para la conclusión de la misma.

Brayan E. Gavilanes M.

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.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xviii
RESUMEN	xxi
ABSTRACT.....	xxii
CAPITULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Fundamentación teórica	4
1.3.1. Materiales compuestos	4
1.3.2. Clasificación de materiales compuestos	5
1.3.3. Componentes de los materiales compuestos	6
1.3.4. Fibras naturales	10
1.3.5. Fibra de Chambira.....	12
1.3.6. Infusión de resina al vacío	16
1.3.7. Proceso de fabricación de los materiales compuestos (matriz polimérica)	18
1.3.8. Factores al momento de fabricar un composite.....	19

1.3.9.	Ensayos para análisis de la caracterización del material compuesto	19
1.3.10.	Diseño de experimentos	23
1.3.11.	Verificación de la hipótesis	25
CAPITULO II	27
METODOLOGÍA	27
2.1.	Diagrama de flujo del trabajo experimental.....	27
2.2.	Materiales.....	29
2.3.	Métodos.....	31
2.3.1.	Nivel o tipo de investigación	31
2.3.2.	Población y muestra	32
2.3.3.	Hipótesis.....	36
2.4.	Operacionalización de variables	38
2.4.1.	Variable independiente: Material compuesto elaborado por la infusión de resina al vacío	38
2.4.2.	Variable dependiente: Propiedades mecánicas	39
2.5.	Adquisición de materia prima.....	40
2.6.	Determinación de las propiedades físicas de la fibra	40
2.6.1.	Determinación de la cantidad de matriz en función del peso de la fibra	44
2.6.2.	Determinación de la densidad calculada y medida del material compuesto...45	
2.6.3.	Preparación de la fibra y tejido	48
2.6.4.	Proceso para la elaboración de probetas	49
2.6.5.	Acondicionamiento de planchas	52
2.6.6.	Proceso de curado y corte de probetas	53
2.7.	Parámetros para el ensayo de materiales	54
2.7.1.	Tracción.....	54
2.7.2.	Flexión	57
2.7.3.	Impacto.....	58
CAPITULO III	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59

3.1. Interpretación y tabulación de los resultados.....	59
3.1.1. Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción.	59
3.1.2. Fichas de recolección de datos de probetas a flexión.....	103
3.1.3. Fichas de recolección de datos de probetas a impacto.	146
3.2. Análisis y discusión de los resultados.	176
3.2.1. Análisis del ensayo a tracción	178
3.2.1.1. Esfuerzo Máximo (MPa)	178
Análisis De Igualdad De Varianzas.....	179
3.2.1.2. Carga Máxima (MPa).....	184
Análisis de igualdad de varianza.	185
Análisis de Varianza	186
3.2.1.3. Módulo de elasticidad (MPa)	190
Análisis de igualdad de varianza.	191
Análisis de Varianza	192
3.2.1.4. Elongación (%).	196
Análisis de igualdad de varianza.	197
Análisis de Varianza	198
3.2.2. Análisis del ensayo a flexión.....	202
3.2.2.1. Esfuerzo Máximo (MPa)	202
Análisis de igualdad de varianza.	203
Análisis de Varianza	204
3.2.2.2. Carga máxima a flexión (N).....	208
Análisis de igualdad de varianza.	209
Análisis de Varianza	210
3.2.2.3. Módulo de elasticidad a flexión (MPa).....	214
Análisis de igualdad de varianza.	215
Análisis de Varianza	216
3.2.2.4. Deflexión (mm).....	220
Análisis de igualdad de varianza.	221

Análisis de Varianza	222
3.2.3 Ensayo de impacto	226
3.2.3.1. Energía de fallo (J)	226
Análisis de igualdad de varianza	227
Análisis de Varianza	228
CAPITULO IV	233
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	233
CONCLUSIONES.	233
RECOMENDACIONES.	235
BIBLIOGRAFÍA	236
ANEXOS	242
Anexo 1:.....	242
Anexo 2:.....	244
Anexo 3:.....	245
Anexo 4:.....	246

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de un material compuesto [9].....	5
Figura 2: Materiales compuestos reforzados con fibras [10].....	6
Figura 3. Material compuesto con estructura 'sándwich' [10].....	6
Figura 4: Componentes de los materiales compuestos [5].....	7
Figura 5: Estructura de una fibra natural de origen vegetal [2].	10
Figura 6: Clasificación de las fibras naturales [4].....	11
Figura 7: Planta de Astrocaryum Chambira [13].	13
Figura 8: Zonas de crecimiento del Astrocaryum Chambira en Ecuador [13].	13
Figura 9: Calculo de la densidad de la fibra de chambira sin tejer	14
Figura 10: Representación de un material compuesto por elementos finitos (simulación) [19].....	16
Figura 11: Ilustración del arreglo de la Infusión de Resina al Vacío [20].	17
Figura 12: Medidas para el diseño de las probetas ASTM D3039/D3039M-08 [29].	20
Figura 13: Configuración de carga a flexión en tres puntos [26].....	21
Figura 14: Máquina para ensayo de impacto	22
Figura 15: Vista espacial de la superficie de respuesta (segundo orden) [38]	24
Figura 16: Calculo de la densidad de la fibra de chambira sin tejer	41
Figura 17: Calculo de la densidad de la fibra de chambira tejida	41
Figura 18: Fibra de carbono vs fibra de Chambira [4].....	43
Figura 19: distribución de probetas en material compuesto. [4]	44
Figura 19: Máquina Universal para ensayo a tracción.....	54
Figura 20: Máquina de Ensayo a Flexión	57
Figura 21: Máquina de Ensayo de impacto.....	58
Figura 22: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	179

Figura 23: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	179
Figura 24: Gráfica normal de efectos estandarizados para el Sut.	180
Figura 25: Análisis de efectos principales para el Sut.	181
Figura 26: Análisis de interacción para el esfuerzo máximo a tracción (Sut).	182
Figura 27: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de las dos capas.	182
Figura 28: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	183
Figura 29: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	183
Figura 30: Análisis de optimización para el Sut.	184
Figura 31: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	185
Figura 32: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	185
Figura 33: Gráfica normal de efectos estandarizados para el Sut.	186
Figura 34: Análisis de efectos principales para el Sut.	187
Figura 35: Análisis de interacción para el esfuerzo máximo a tracción (Sut).	188
Figura 36: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de las dos capas.	188
Figura 37: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	189
Figura 38: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	189
Figura 40: Gráficas de residuos para el módulo de elasticidad a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	191
Figura 41: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	191

Figura 42: Gráfica normal de efectos estandarizados para el módulo de elasticidad a tracción.....	192
Figura 43: Análisis de efectos principales para el módulo de elasticidad a tracción.....	193
Figura 44: Análisis de interacción para el módulo de elasticidad a tracción (Sut)..	194
Figura 45: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de las dos capas.	194
Figura 46: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.....	195
Figura 47: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.....	195
Figura 48: Análisis de optimización para el módulo de elasticidad.....	196
Figura 49: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	197
Figura 50: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.....	197
Figura 51: Gráfica normal de efectos estandarizados para la elongación.....	198
Figura 52: Análisis de efectos principales para la elongación.....	199
Figura 53: Análisis de interacción para la elongación.....	200
Figura 54: Gráfica de superficie de respuesta para la elongación en relación con la orientación de las dos capas.	200
Figura 55: Gráfica de superficie de respuesta para la elongación en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	201
Figura 56: Gráfica de superficie de respuesta para la elongación en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	201
Figura 57: Análisis de optimización para la elongación.	202
Figura 58: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a flexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	203

Figura 59: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el esfuerzo máximo a flexión.	203
Figura 60: Gráfica normal de efectos estandarizados para el esfuerzo máximo a flexión.	204
Figura 61: Análisis de efectos principales para el esfuerzo máximo a flexión.	205
Figura 62: Análisis de interacción para el esfuerzo máximo a flexión.	206
Figura 63: Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo a flexión en relación con la orientación de las dos capas.	206
Figura 64: Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo a flexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	207
Figura 65: Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo a flexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	207
Figura 66: Análisis de optimización para el esfuerzo máximo a flexión.	208
Figura 67: Gráficas de residuos para la carga máxima a flexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.	209
Figura 68: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la carga máxima a flexión.	209
Figura 69: Gráfica normal de efectos estandarizados para ella carga máxima a flexión.	210
Figura 70: Análisis de efectos principales para la carga máxima a flexión.	211
Figura 71: Análisis de interacción para la carga máxima a flexión.	212
Figura 72: Gráfica de superficie de respuesta para la carga máxima a flexión en relación con la orientación de las dos capas.	212
Figura 73: Gráfica de superficie de respuesta para la carga máxima a flexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	213
Figura 74: Gráfica de superficie de respuesta para la carga máxima a flexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	213
Figura 76: Análisis de optimización para la carga máxima a flexión.	214

Figura 77: Gráficas de residuos para el módulo de elasticidad a flexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.....	215
Figura 78: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el módulo de elasticidad a flexión.....	215
Figura 79: Gráfica normal de efectos estandarizados para el módulo de elasticidad a flexión.	216
Figura 80: Análisis de efectos principales para el módulo de elasticidad a flexión.	217
Figura 81: Análisis de interacción para el módulo de elasticidad a flexión.....	218
Figura 82: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad a flexión en relación con la orientación de las dos capas.....	218
Figura 83: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad a flexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	219
Figura 84: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad a flexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	219
Figura 85: Análisis de optimización para el módulo de elasticidad a flexión.	220
Figura 86: Gráficas de residuos para la deflexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.	221
Figura 87: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la deflexión.....	221
Figura 88: Gráfica normal de efectos estandarizados para la deflexión.	222
Figura 89: Análisis de efectos principales para la deflexión.....	223
Figura 90: Análisis de interacción para la deflexión.....	224
Figura 91: Gráfica de superficie de respuesta para la deflexión en relación con la orientación de las dos capas.	224
Figura 92: Gráfica de superficie de respuesta para la deflexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	225
Figura 93: Gráfica de superficie de respuesta para la deflexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	225

Figura 94: Análisis de optimización para la deflexión.....	226
Figura 95: Gráficas de residuos para la energía de fallo a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.	227
Figura 96: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la energía de fallo.	228
Figura 97: Gráfica normal de efectos estandarizados para la energía de fallo.....	228
Figura 98: Análisis de efectos principales para la energía de fallo.....	229
Figura 99: Análisis de interacción para la energía de fallo.....	230
Figura 100: Gráfica de superficie de respuesta para la energía de fallo en relación con la orientación de las dos capas.	230
Figura 101: Gráfica de superficie de respuesta para la energía de fallo en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.	231
Figura 102: Gráfica de superficie de respuesta para la energía de fallo en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.	231
Figura 103: Análisis de optimización para la energía de fallo.....	232

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades de principales matrices poliméricas [4].....	9
Tabla 2: Densidad para fibras de Chambira sin procesar.....	15
Tabla 3: Materiales utilizados	29
Tabla 4: Tipos de Factores de entrada y niveles	33
Tabla 5: Matriz de diseño experimental.....	34
Tabla 6: Combinaciones Base para ejecutar los ensayos mecánicos en el material compuesto (RE+FCH).....	35
Tabla 7: Variable dependiente: material compuesto elaborado por la infusión de resina al vacío.....	38
Tabla 8: Variable independiente: Propiedades mecánicas	39
Tabla 9: densidad de la fibra sin tejer de chambira.....	42
Tabla 10: Densidad de la Fibra tejida de Chambira.....	42
Tabla 11: Cantidades de resina y endurecedor.....	45
Tabla 12: Densidades de materiales para la fabricación del material compuesto.....	46
Tabla 13: Valores de densidad calculadas.	47
Tabla 14: procedimiento para preparación y tejido de fibra	48
Tabla 15: Procedimiento para la elaboración de probetas.	49
Tabla 16: Acondicionamiento de las planchas del material compuesto	52
Tabla 17: Procedimiento para el curado y corte de probetas	53
Tabla 18: Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a tracción	59
Tabla 19: Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a tracción	61
Tabla 20: Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a tracción	63
Tabla 21: Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a tracción	67
Tabla 22: Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a tracción	69
Tabla 23: Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a tracción	72
Tabla 24: Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a tracción	74
Tabla 25: Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a tracción	77
Tabla 26: Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a tracción	80
Tabla 27: Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a tracción	83
Tabla 28: Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a tracción	85
Tabla 29: Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a tracción	89
Tabla 30: Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a tracción	92
Tabla 31: Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a tracción	95

Tabla 32: Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a tracción	98
Tabla 33: Ficha técnica del material compuesto, caso 0 a tracción	101
Tabla 34: Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a flexión.....	104
Tabla 35: Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a flexión.....	106
Tabla 36: Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a flexión.....	109
Tabla 37: Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a flexión.....	112
Tabla 38: Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a flexión.....	115
Tabla 39: Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a flexión.....	118
Tabla 40: Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a flexión.....	120
Tabla 41: Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a flexión.....	123
Tabla 42: Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a flexión.....	126
Tabla 43: Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a flexión.....	129
Tabla 44: Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a flexión.....	132
Tabla 45: Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a flexión.....	135
Tabla 46: Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a flexión.....	138
Tabla 47: Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a flexión.....	140
Tabla 48: Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a flexión.....	143
Tabla 49: Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a impacto.	146
Tabla 50: Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a impacto	149
Tabla 51: Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a impacto	151
Tabla 52: Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a impacto	153
Tabla 53: Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a impacto	155
Tabla 54: Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a impacto	157
Tabla 55: Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a impacto.	159
Tabla 56: Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a impacto.	161
Tabla 57: Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a impacto.	163
Tabla 58: Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a impacto.	165
Tabla 59: Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a impacto.	167
Tabla 60: Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a impacto.	169
Tabla 61: Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a impacto.	171
Tabla 62: Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a impacto.	173
Tabla 63: Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a impacto.	175
Tabla 64: Resultado De Ensayos De Tracción, Flexión E Impacto.	177
Tabla 65: Análisis de ANOVA para el Sut en esfuerzo de tracción	180

Tabla 66: Optimización del Sut.....	184
Tabla 67: Análisis de ANOVA para el Sut en esfuerzo de tracción	186
Tabla 68: Optimización de la carga máxima.....	190
Tabla 18. Análisis de ANOVA para el módulo de elasticidad a tracción.....	192
Tabla 70: Optimización del módulo de elasticidad.....	196
Tabla 71: Análisis de ANOVA para la elongación.....	198
Tabla 72: Optimización del módulo de elasticidad.....	202
Tabla 73: Análisis de ANOVA para el esfuerzo de máximo a flexión.....	204
Tabla 74: Optimización del Sut.....	208
Tabla 75. Análisis de ANOVA para la carga máxima a flexión.....	210
Tabla 76. Optimización de la carga máxima a flexión.....	214
Tabla 77. Análisis de ANOVA para el módulo de elasticidad a flexión	216
Tabla 78. Optimización del módulo de elasticidad a flexión.....	220
Tabla 79. Análisis de ANOVA para la deflexión	222
Tabla 80. Optimización de la deflexión.	226
Tabla 81: Análisis de ANOVA para la energía de fallo.....	228
Tabla 82: Optimización de la energía de fallo.	232

RESUMEN

La importancia del descubrimiento de nuevos materiales basados en fibras naturales ayuda mucho a la contribución de propiedades muchas veces amigables con el medio ambiente, así como para la industria carrocera se efectividad al momento de realizar los accesorios.

Por lo que la finalidad que tiene dicha investigación es investigar y analizar la propiedades mecánicas que se puedan obtener de los materiales a utilizar partiendo de una tomade datos cuantitativos en el caso de las propiedades físicas y mecánicas del material de refuerzo como del material de la resina, a su vez se procedió mediante el proceso vacuum bagging por infusión a unir ambos componentes dándonos como resultado un nuevo material ya caracterizado pasando a la etapa de análisis mecánico la cual se realizó mediante las normas de ENSAYO DE TRACCIÓN_ASTM D3039, FLEXION_ASTM D7264, e IMPACTO_ASTM D52628-10, posteriormente los resultados obtenidos fueron analizados mediante una análisis matemático de minitab en el cual se obtuvo una caracterización principal que el material ya establecido anteriormente puede arrojar resultados favorables mediante una configuración de orientación resultados bajo norma estandarizada que a futuro servirá para el sector industrial como referencia.

PALABRAS CLAVES: Ensayo de traccion, Ensayo de flexion, Ensayo de impacto, ASTM D7264, ASTM D3039, ASTM D52628-10, Vacumm Baggin.

ABSTRACT

The importance of the discovery of new materials based on natural fibers greatly contributes to the contribution of properties that are often friendly to the environment, as well as for the bodywork industry to be effective when making accessories.

Therefore, the purpose of this research is to investigate and analyze the mechanical properties that can be obtained from the materials to be used based on quantitative data collection in the case of the physical and mechanical properties of the reinforcement material as well as the material of the resin, in turn we proceeded through the vacuum bagging process by infusion to join both components, giving us as a result a new material already characterized, passing to the mechanical analysis stage which was carried out by the standards of TENSILE TEST_ASTM D3039, FLEXION_ASTM D7264, and IMPACTO_ASTM D52628-10, later the results obtained were analyzed by means of a mathematical analysis of minitab in which a main characterization was obtained that the material already established previously can yield favorable results through a results orientation configuration under a standardized norm that in the future will serve for the industrial sector as a reference.

KEY WORDS: Tensile test, Flexural test, Impact test, ASTM D7264, ASTM D3039, ASTM D52628-10, Vacumm Baggin.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

En el trabajo realizado por Iza Trujillo Gabriela en la Universidad Técnica de Ambato, de la carrera de Ingeniería Mecánica con el tema: ‘CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA VEGETAL (ALGODÓN) Y FIBRA NATURAL DE STIPA ICHU (PASTO DE PARAMO) CON SECADO NATURAL Y PRECOCIDO PARA DETERMINAR PROPIEDADES MECÁNICAS EN LA FABRICACIÓN DE ELEMENTOS LIVIANOS DE ALTA RESISTENCIA’, en donde se contempla la fabricación de un material compuesto a base de dos fibras naturales, algodón y pasto de páramo con matriz de resina epoxi para la obtención de la combinación óptima y las propiedades mecánicas del material, obteniendo que el mejor caso para la fabricación del material es con un proceso de secado de fibra de pasto de páramo precocido con 25 días de curado con una orientación de fibra de 90° en la primera capa y -90° en la segunda capa con una fracción volumétrica de 30% de refuerzo y -70% de matriz, en donde el material presenta mejores resultados para el ensayo de tracción con limpieza de NaOH de la fibra [1].

Según Vilañez Pablo en su trabajo de investigación realizada en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE con el tema: ‘CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN MATERIAL COMPUESTO FABRICADO CON MATRIZ DE RESINA EPÓXICA Y REFUERZO DE FIBRA NATURAL DE TOTORA’, concluyó que la combinación óptima de fabricación de material compuesto consta de un 40% de fibras de Totorá como refuerzo y un 60% de resina con tratamiento mercerizado al 2% de concentración de Hidróxido de Sodio, el cual presentó las mejores propiedades mecánicas de soporte a esfuerzos máximos (50,17 MPa) y deformación unitaria (0,050mm/mm) en ensayos de tracción, gracias al aumento de la adherencia de las fibras de Totorá por el tratamiento de limpieza dado [2].

En referencia al trabajo experimental de López Wagner y Silva Cristina desarrollado en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE bajo el tema: ‘BIOMIMESIS DE LA ESTRUCTURA DE LA CHONTA (BACTRIS GASIPAES) PARA EL DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO UTILIZANDO FIBRAS MICROMÉTRICAS OBTENIDAS MEDIANTE ELECTROSPINNING’, en interés a nuestro tema, planteó determinar el método adecuado para la extracción de fibras de chonta, sin afectar sus propiedades mecánicas y determinar el esfuerzo de fluencia del material compuesto, concluyendo que el método más adecuado para la extracción de las fibras de chonta es el método mecánico por cizallamiento, ya que no hay factores externos que modifiquen sus propiedades mecánicas y el esfuerzo de fluencia obtenido del material compuesto es de 29,15 MPa, en base a cálculos hay una diferencia de 1,17% entre el valor calculado y el valor real del material compuesto para el esfuerzo de fluencia [3].

En el trabajo experimental de Plasencia Jhonny, desarrollado en la Universidad Técnica de Ambato con el tema: “OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM) Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”, cuyo objetivo fue optimizar el material compuesto formado por resina epoxi reforzado con fibra de Chambira para aprovechar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto, en donde se concluyó que la combinación óptima del material compuesto es al combinar una orientación de fibra de $-35,9^\circ$ de material refuerzo en su primera capa y de 45° en su segunda capa y una temperatura de 60°C , obteniendo un esfuerzo máximo de tracción de 20,57 MPa un módulo de elasticidad de 6,4 MPa y una deflexión de 299,8 mm como datos principales [4].

Finalmente, según el trabajo experimental realizado por Cunalata César en la Universidad Técnica de Ambato con el tema: ‘ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA, REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ’ en donde concluye que la

configuración óptima simultánea del material compuesto híbrido es 0° de orientación de fibra de abacá, 1,2 mm de espesor de fibra de vidrio y una temperatura de 55,8°C para el curado y de los cuales se obtuvieron unas propiedades mecánicas de 181,5 MPa de esfuerzo máximo de tracción, 11663,7 MPa de módulo de elasticidad a la tracción, 1,89% de elongación 163,6 MPa de esfuerzo máximo de flexión 5988,7 MPa de módulo de elasticidad de flexión y una energía media de fallo de 1,85 J, en donde el suministro de presión debe ser de al menos 3 horas para solidificar la resina [5].

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de chambira (*Astrocaryum*) utilizando la metodología de infusión al vacío.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de conformado del material compuesto (factores y niveles) temperatura de curado y orientación de refuerzo de la fibra de chambira.
- Emplear un diseño de experimentos bajo la metodología de infusión al vacío para obtener la mejor configuración de casos y encontrar las propiedades mecánicas.
- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto acorde los ensayos de flexión, tracción e impacto mediante normativa ATM3039, Flexión ASTM D7264, Impacto D5628.
- Optimizar individual y globalmente las propiedades del material mediante software.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Materiales compuestos

En la actualidad la ingeniería de los materiales constituye un papel muy importante dentro del área de diseño y construcción en ingeniería, debido a que se busca crear nuevos materiales con características específicas, que buscan la relación óptima de característica y estructura de diseño, teniendo como principal consideración la disposición y orientación de sus componentes con la finalidad de reemplazar maderas, cerámicas o metales con nuevos materiales para diferentes tipos de aplicaciones [6].

Un material compuesto se define como la combinación de dos elementos o componentes de distinta naturaleza que sean insolubles entre sí y de diferente estructura, por lo que se pueden diferenciar con medios físicos, este tipo de materiales están formado por dos o más componentes constituidos por una matriz y por un refuerzo o fibra, los mismos que presentan características mecánicas, químicas y físicas distintas a las que presentaban como componentes individuales, el refuerzo puede ser con fibras naturales de origen vegetal lo que le permite ser diseñado según la necesidad a cumplir, las fibras pueden ser largas, cortas dispersas o distribuidas uniformemente [7].

La matriz representa el mayor porcentaje del material compuesto, tiene como función servir de aglutinante, es decir que permita fijar las fibras en el orden o disposición geométrica diseñado, transmite los esfuerzos hacia la fibra y sirve de protección a medios externos, los refuerzos o fibras son el complemento del material compuesto, tiene como finalidad incrementar las características mecánicas y físicas de la matriz, dándole mayor rigidez y resistencia mejorando las propiedades del material [8].

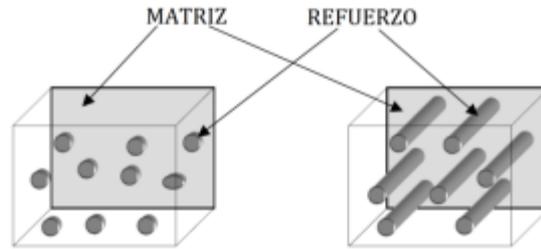


Figura 1: Esquema de un material compuesto [9].

1.3.2. Clasificación de materiales compuestos

La clasificación de los materiales compuestos está en función a sus componentes, es decir a la matriz que se emplee o a la fibra o material de refuerzo que se utilice, según la matriz los materiales compuestos se pueden clasificar en:

- Materiales compuestos de matriz metálicas (MMC): este tipo de materiales presentan una gran resistencia a altas temperaturas, puesto que están reforzadas con partículas de cerámica o con fibras de origen metálico, además de poseer bajo peso [5] [10].
- Materiales compuestos con matriz cerámica (CMC): presentan como principales características gran resistencia a altas temperaturas sin modificar sus propiedades, con conductividad térmica y eléctrica muy bajas [5] [10].
- Materiales con matriz polimérica (PMC): se caracteriza por tener una matriz polimérica con fibras de refuerzo para mejorar sus propiedades mecánicas, gracias a sus propiedades físicas pueden ser fabricadas en casi cualquier forma, por lo que son muy utilizadas actualmente en el diseño, son muy resistentes a la corrosión [10].

Además, los materiales compuestos se pueden clasificar según la forma del refuerzo que posea, teniendo la siguiente clasificación:

- Reforzados por partículas: se emplean nanopartículas como refuerzo endurecidas por dispersión, las partículas ayudan a evitar deformaciones en las superficies del material y fomentan un endurecimiento acentuado, pueden ser partículas largas con orientación aleatoria o preferente [4] [5] [10].

- Reforzados con fibras: materiales con fibras tienden a mejorar su resistencia a la fatiga, teniendo como principal ventaja sobre los demás materiales compuestos su relación peso resistencia, siendo los más utilizados puesto que se obtienen materiales más resistentes y ligeros. En la conformación de este tipo de materiales compuestos se debe tener en cuenta aspectos como la cantidad de capas, orientación, longitud y diámetro de la fibra [5] [10].

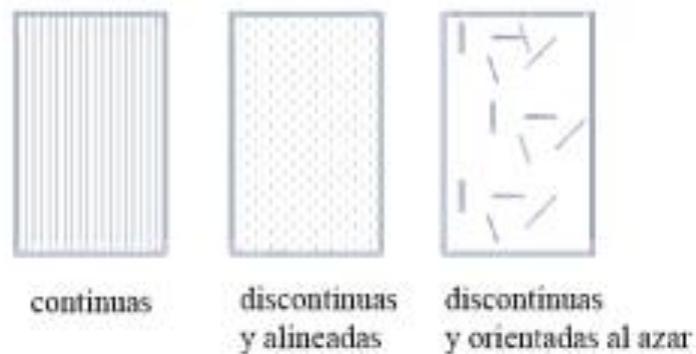


Figura 2: Materiales compuestos reforzados con fibras [10].

- Compuestos estructurales: este tipo de materiales dependen de la geometría del diseño de los elementos que los componen, se clasifican en estructuras sándwich, compuestos laminares y no laminares [10].

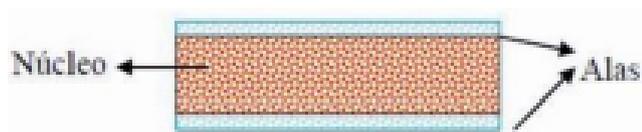


Figura 3. Material compuesto con estructura 'sándwich' [10].

1.3.3. Componentes de los materiales compuestos

Los materiales compuestos se componen por dos fases claramente diferenciadas, la fase primera o matriz y la fase secundaria conocida como fibras o también conocidas como refuerzo. La matriz es la que se encarga de ser el soporte del material, dándole

las propiedades químicas, físicas y de transmitir los esfuerzos del material a las fibras o refuerzos. El refuerzo o fibras son las encargadas de brindar las propiedades mecánicas al material [11].

La matriz suele ser metálica o no metálica, dentro de las no metálicas entran las matrices poliméricas que son las que permiten fabricar materiales más resistentes y ligeros que es uno de los requerimientos en el diseño, reducir costos y pesa mientras se aumenta su resistencia, en las matrices poliméricas las más comunes utilizadas son las resinas poliéster y epoxi, en el presente trabajo experimental se realiza el análisis de un material compuesto con una matriz con resina epoxi [4].

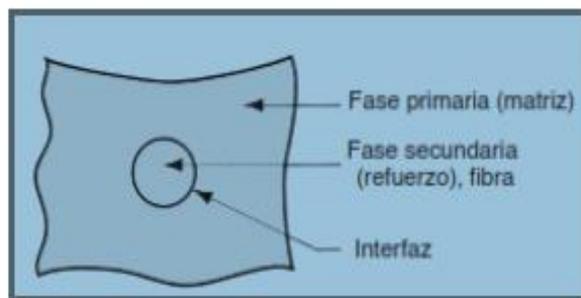


Figura 4: Componentes de los materiales compuestos [5].

1.3.3.1. Matrices poliméricas

En el área de ingeniería de materiales, una matriz polimérica se caracteriza por estar conformado por moléculas que forman cadenas por enlaces simples. Se conoce como la fase continua de un material compuesto, a la matriz en donde el refuerzo se ‘impregna’, la cual debe brindar las siguientes características: otorgar cohesión y adherencia al material, establecer las propiedades químicas, físicas y transmitir las cargas que sean aplicadas sobre el material compuesto. Se utilizan en aplicaciones industriales en las que se necesite baja densidad, alto desempeño a temperatura del entorno, y de fácil conformado [4] [5] [10].

Un material compuesto comúnmente es sometido a cargas de compresión, en donde la matriz soporta todo el esfuerzo ejercido por la carga y de tracción, en donde la matriz transfiere la carga a las fibras o partículas de soporte [4].

Las matrices poliméricas se clasifican en termoestables, termoplásticas y elastómeras.

- Termoestables: este tipo de matrices tienen como principal característica que no pueden fluir con altas temperaturas o ser remoldada, debido que ante el incremento de la temperatura se genera una degradación química en sus moléculas entrecruzadas conocida como carbonización, a este grupo pertenecen las resinas epóxicas que serán empleadas en nuestro estudio [1] [4].
- Termoplásticas: tiene como principal característica que cuando se calientan, comienzan a relajarse o ablandarse y, asumiendo que la temperatura alta es constante, el polímero comienza a fluir, sin embargo, cuando la temperatura desciende, el polímero vuelve a su estado inicial convirtiéndose en un material muy viscoso para luego cementar y finalmente solidificar [5].
- Elastómeros: este tipo de polímero tiene como característica principal que puede ser deformado a temperatura ambiente, debido a su gran libertad para el movimiento molecular y con la capacidad de regresar a su posición inicial una vez que ya no tenga influencia de cargas de extensión, en palabras generales presenta una apariencia como elástica a temperatura ambiental y son infusibles e insolubles [1].

Para el presente estudio nos centraremos en las matrices poliméricas termoestables, dentro de las cuales podemos resaltar las resinas epoxi, poliéster, vinil éster, etc. La resina epoxi es la que se ha seleccionado para nuestro trabajo experimental.

La resina epoxi tiene enlaces cruzados, presenta mejores características físicas y químicas que la resina poliéster y es muy utilizada en la construcción, entre las cualidades principales tenemos: resistencia al agua, ácidos, bases y disolventes, buena adhesión a otros materiales tiene una temperatura de deformación bajo carga de 120 a 180°, no son inflamables y tienen buenas características eléctricas [1].

A continuación, se muestra las principales características de matrices poliméricas utilizadas en el área de diseño y construcción.

Tabla 1: Propiedades de principales matrices poliméricas [4].

Característica	Matriz				
	Poliéster	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Vinil éster	Resina Poliimida
Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	1.17 – 1.26	1.17– 1.25	1.25 - 1.3	1.17 – 1.25	1.27 – 1.42
Alargamiento (%)	< 3	< 6 – 8	< 3	< 3.5 – 7	6 – 10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temperatura ambiente < 180°	Temperatura ambiente <170°	150 - 190	Temperatura ambiente < 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80 – 160	80 – 130	100 –150	100 – 150	260
Propiedades reológicas	Muy buenas				Según fabricante
Calor de reacción	6 – 10	1 – 3	0.5 – 1.5	0.1 – 1	0.5 – 0.7

1.3.3.2. Material de refuerzo

La fase discontinua, refuerzo o fibra es en la que se añade a la matriz un material de soporte o refuerzo del material compuesto a fabricarse, sirve para aumentar las propiedades mecánicas como la resistencia, la rigidez, resistencia a la temperatura y a la abrasión [4].

Para el refuerzo o soporte del material compuesto se pueden emplear partículas, fibras o elementos estructurales como se detalla en la clasificación de materiales compuestos, con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas [4].

1.3.4. Fibras naturales

En la actualidad las fibras naturales están reemplazando a la fibra de vidrio en la elaboración de materiales compuestos, debido a su menor costo, baja densidad características mecánicas adecuadas para ciertos trabajos industriales y especialmente la sostenibilidad y la biodegradabilidad [2].

Una desventaja que se presenta ante la utilización de fibras naturales en la creación de fibras naturales es poca adhesión a ciertas matrices poliméricas por su naturaleza hidrófila propia de las fibras naturales, debido a que tienen un origen celulósico. Las propiedades mecánicas de las fibras naturales están dadas por la estructura química, el nivel de celulosa, la polimerización, orientación de las fibras y su cristalinidad. En cierta parte algunos de estos aspectos se pueden controlar por la metodología de extracción de las fibras, en fibras de origen vegetal se considera el estado de la planta, la parte de la planta de la que se las extraen y la ubicación. Las paredes celulares de una fibra vegetal varía en su composición de celulosa, lignina y la orientación de microfibrillas de celulosa [2].

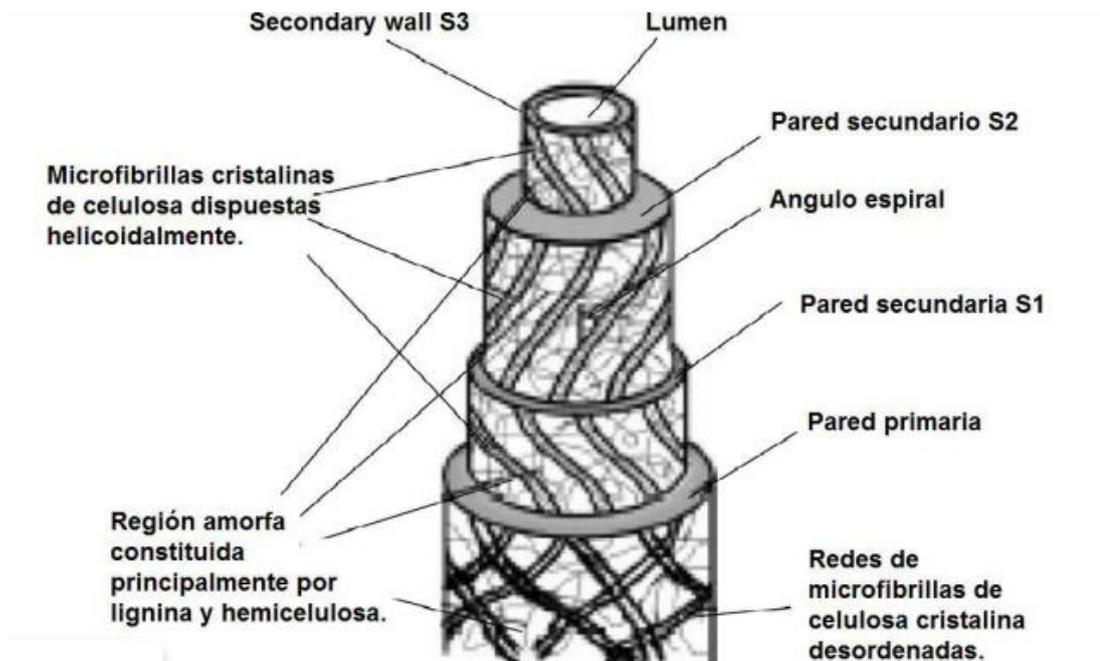


Figura 5: Estructura de una fibra natural de origen vegetal [2].

1.3.4.1. Clasificación de las fibras naturales.

Las fibras naturales se clasifican según su origen como se muestra a continuación:

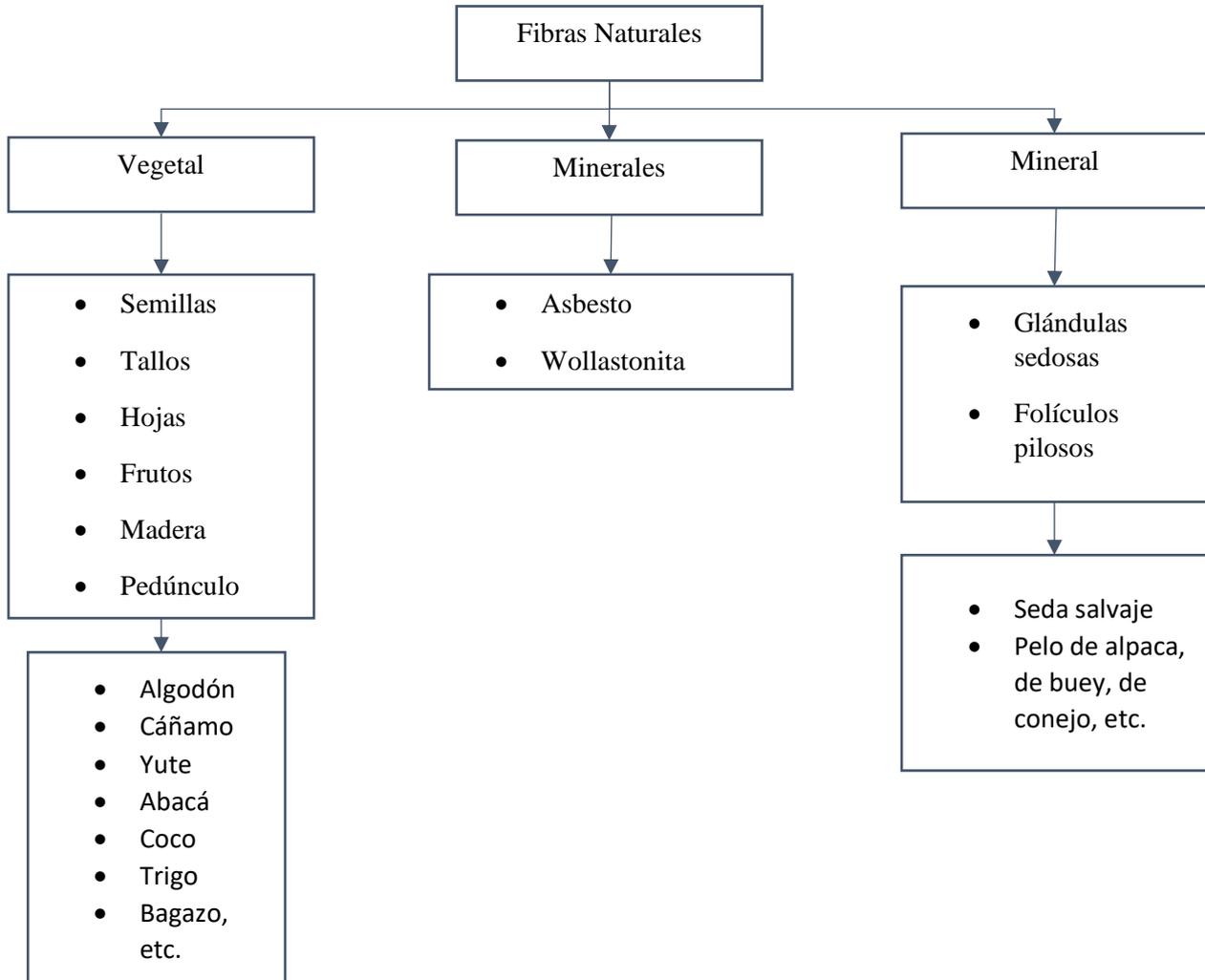


Figura 6: Clasificación de las fibras naturales [4].

1.3.4.2. Composición y tejidos de las fibras naturales

Las fibras naturales de origen vegetal tienen en su composición porciones de celulosa, hemicelulosa, pectinas, ceras, lignina y otras sustancias solubles en agua. La celulosa es la sustancia que brinda las propiedades mecánicas a las fibras en especial a la resistencia a la tracción y a la flexión, mientras que la lignina da la característica de impermeabilidad a las fibras, en función a estas consideraciones algunos de los aspectos que afectan la composición de la fibra son el procesamiento de la planta y la edad de la misma, la celulosa tiene como principal característica que son de origen celulósico, es decir de un polímero de glucano hidrófilo, este tipo de materiales

compuestos constituidos con fibras vegetales toma el nombre de lignocelulósicas, en donde sus propiedades mecánicas dependerán del porcentaje de celulosa y de lignina que tengan [12].

1.3.5. Fibra de Chambira

La fibra de Chambira pertenece al grupo de fibras naturales de origen vegetal vasculares celulósicas, de la familia *Astrocaryum Chambira* (Arecaceae), tradicionalmente se la encuentra en palmeras nativas propias de las regiones de la Amazonia, generalmente se encuentra en las cuencas de las regiones amazónicas de América del Sur, en Ecuador se encuentran 4 especies de palmas de *Astrocaryum* principalmente de la subfamilia *Aculeatum* y *Vulgare*, las cuales tradicionalmente se emplean en la confección artesanal de sombreros, hamacas, bolsos, redes de pescar y todo tipo de textiles fibrosos. También se encuentra la especie de *Astrocaryum Standleyanum* la cual se emplean en tejidos de hamacas y cestos artesanales [4] [13].

La *Astrocaryum Chambira* en Ecuador es reconocida como recurso no forestal domesticado para su protección, debido a que es considerada como principal recurso para la producción de fibra natural de origen vegetal de la amazonia especialmente en las etnias de los Borá, Cofán, Huaorani, Secoyas, etc. Las mismas que los utilizan como recursos textiles y de tejidos para instrumentos cotidianos [4] [13].

1.3.5.1. Producción de la Chambira en el Ecuador

Las especies de *Astrocaryum* presentes en Ecuador son las *A. Chambira*, *A. Jauari*, *A. Perangustatum* y *A. Standleyanum* presentes en Iquitos, Pozuzo y Puerto Quito [4].

La *Astrocaryum Chambira* es una planta de tipo arborescente con un tallo que puede llegar a los 30 metros, con un diámetro de promedio entre 25 a 45 cm, con recubrimiento en todo su tallo de espinas de un color amarillo, en su copa puede encontrarse una corona constituida por 9 a 16 hojas erguidas de hasta 5 metros de

largo, en su madurez posee hasta 500 frutos ovoides de 7 cm y de color amarillo en cuando están maduros [13].



Figura 7: Planta de Astrocaryum Chambira [13].

La mayor de producción se encuentra en los bosques de tierra firme de máximo 350 msnm y con leve presencia en mayores altitudes hasta los 600 msnm (metros sobre el nivel del mar), principalmente en el Parque Nacional Yasuní. En la siguiente figura se representa las zonas de producción de Chambira [4] [13].

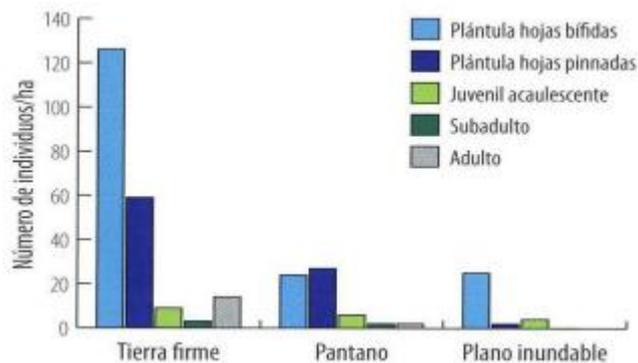


Figura 8: Zonas de crecimiento del Astrocaryum Chambira en Ecuador [13].

La extracción de Chambira se la realiza de manera artesanal, con la ayuda de herramientas manuales como machetes unidos a palos de bambú, con la finalidad de cortar la corona en la parte final de la planta, se colocan y transportan de manera aleatoria. El proceso de extracción de la fibra empieza con el desprendimiento de la

corteza externa o epidermis de los foliolos, se procede a extraer las fibras y se cocinan durante 30 a 60 minutos, se dejan secar al sol, una vez secas se proceden a hilar y a trenzar con el fin de obtener fibras de 20 a 30 cm. Como dato adicional se informa que en provincias de Napo y Pastaza se consumen 225 kg anualmente de chambira en artesanías [4] [13].

1.3.5.2. Características físicas

La fibra de *Astrocaryum* de Chambira presentan como principal característica una composición de 93.9% de celulosa y un 4.2% de lignina, lo que le da mayor resistencia a la tracción, espesor y densidad de fibra en comparación a los otros tipos de *Astrocaryum*. Las fibras comerciales de Chambira tienen una coloración blanquecina debido a los procesos de secado y curado que reciben para su posterior conformación, por el proceso de extracción que se tiene las fibras tiene una forma alargada aplanada a la vez con un espesor promedio de 0,19 mm, presenta células redondas en las paredes externas [4].



Figura 9: Calculo de la densidad de la fibra de chambira sin tejer

La densidad calculada para fibras de Chambira sin procesar, con el método gravimétrico se detalla a continuación:

Tabla 2: Densidad para fibras de Chambira sin procesar.

Densidad de fibra de chambira sin procesar						
Muestra	Masa (g)	Volumen (cm^3)			Densidad $(\frac{gr}{cm^3})$	
		Inicial	Final	ΔV		
1	3	150	155	5	0.6	
2	4	150	156.5	6.5	0.62	
3	8	150	162.5	12.5	0.64	
Promedio					0.62	

1.3.5.3. Propiedades mecánicas

La fibra natural de chambira posee características similares con otras fibras naturales. En cuanto a las propiedades mecánicas de las fibras naturales son dependientes de su composición química, los métodos de extracción, el suelo en el que crece y la condición climática [15].

Las fibras naturales tienen algunos defectos comunes que pueden ser la heterogeneidad en el crecimiento de la fibra, las ramificaciones, fracturas en la extracción y las rugosidades en la superficie. De tal manera que la presencia de estos defectos y el tamaño disminuyen las propiedades mecánicas [16].

Por sus similitudes características entre las fibras naturales, los compuestos elaborados con estas fibras tienen propiedades mecánicas más bajas que los compuestos que contienen fibras sintéticas. Por lo mencionado es recomendable elaborar biocompuestos con resistencia a tracción inferiores a otros compuestos, además se puede utilizar en procesos con temperaturas no superiores a los 200°C ya que es sensible a temperaturas superiores [17].

Para la determinación de las propiedades mecánicas de fibras naturales hay que tener en cuenta que, aunque al ser similares en su constitución e igual comportamiento en

algunas propiedades, estas pueden tener diferentes valores de resistencia ya sea a la tracción, flexión, impacto, etc., por su estado de alineación entre las moléculas [18].

1.3.5.4. Aplicaciones en la industria

Las aplicaciones de la fibra Chambira en la industria radica en la necesidad para reemplazar materiales que son derivados principalmente de recursos no renovables, por lo cual se selecciona esta fibra de carácter natural proveniente de la planta cumare (*Astrocaryum chambira*). Al ser comparada con otros compuestos de carácter natural presentando características similares. En la aplicación industrial es combinada la fibra de Chambira con bioepoxy para las manijas de los vehículos que son compuestos con elementos finitos [19].

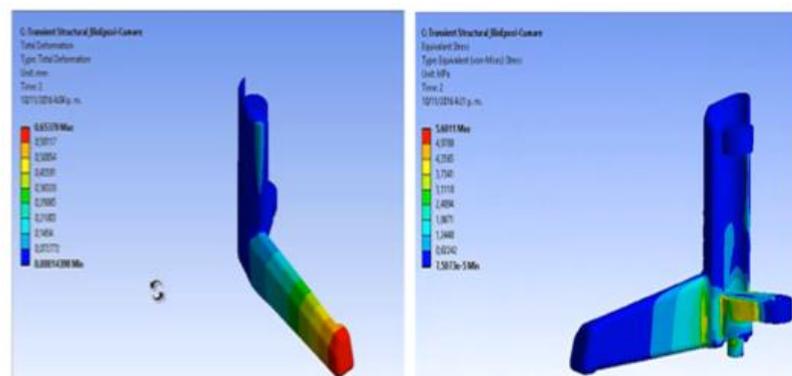


Figura 10: Representación de un material compuesto por elementos finitos (simulación) [19].

1.3.6. Infusión de resina al vacío

El proceso de modelo por infusión de resina al vacío radica en impregnar una preforma seca en un modelo rígido, bajo el medio de distribución y la bolsa de vacío. Mediante la impregnación, la resina fluye en el medio de distribución y después en la preforma, la cual hay ocasiones en la que puede deformarse por la flexibilidad de la bolsa de vacío [19].

Para iniciar el proceso se abre el primer punto de entrada para la resina, que es succionada desde el contenedor, impregnando la preforma y pasar la resina por las

fibras del material de refuerzo debido a la diferencia que hay en la presión, proceso que continua hasta que la preforma se sature y todos los poros estén llenos de resina) [20].

Flujo de Resina

La resina fluye mediante el medio de distribución y luego en la preforma, los cuales se consideran como medios porosos, de tal manera que el flujo se rige mediante la ley de Darcy descrita por la siguiente expresión: [21].

$$\operatorname{div} \left(\frac{1}{\mu} \bar{K} \bar{\nabla} p \right) = 0 \quad \text{Ec. 1.1}$$

Bolsa de Vacío

En la colocación de la bolsa de vacío, la preforma se cubre por una bolsa de vacío y para hacerlo hermético se coloca cinta para el sellado. Entonces el aire en la preforma es extraído y la presión entre la preforma es especificado en el nivel de vacío y el aire que se encuentra a presión atmosférica hace que la preforma se comprima. Finalmente, una vez alcanzado el nivel de vacío, se verifica que el sistema no tenga alguna fuga [20].

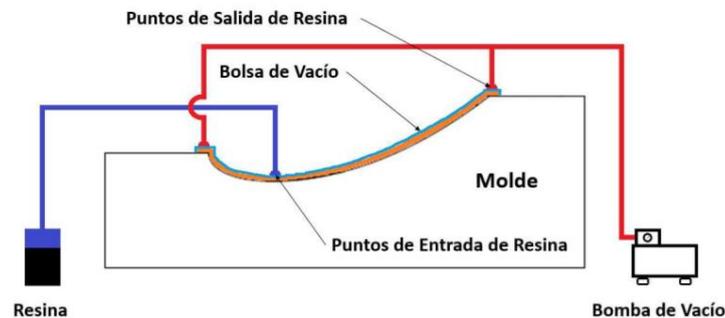


Figura 11: Ilustración del arreglo de la Infusión de Resina al Vacío [20].

1.3.7. Proceso de fabricación de los materiales compuestos (matriz polimérica)

Un material compuesto se define como la combinación de materiales constituidos de dos o más componentes dando lugar a nuevas propiedades específicas para cada material compuesto [22].

Los materiales compuestos de matriz polimérica son materiales que tienen buenas propiedades mecánicas, resistentes a los agentes químicos y la corrosión, cuya forma puede ser moldeada, estos materiales están constituidos por un polímero y fibra de refuerzo. En cuanto a las matrices de resinas termoestables, fenólicas, epoxi y poliuretano, las matrices cumplen con las siguientes funciones:

- Fijan las fibras según la geometría que se desea.
- Protege las fibras de los esfuerzos de la compresión
- Protege a las fibras de los agentes externos [22]

Por otra parte, el refuerzo que se utiliza más es la fibra de vidrio, gracias a sus características, entre las cuales las más destacadas son:

- Buenas propiedades dieléctricas
- Buena estabilidad dimensional
- Tiene fácil procesamiento
- Buenas propiedades isotrópicas [23]

El proceso de fabricación hay que seguir tres etapas:

- En la etapa de precalentamiento se establece las fibras y las matrices en la orientación sobre el modelo que este fabricado antes ya aplicado la cera desmoldante, todo en función del espesor calculado.
- En la etapa de modelo se coloca la tapa del molde cerrada a presión (presión de moldeo) con la finalidad que la matriz (parte líquida) cubra el material de refuerzo.

- Posteriormente para la fase de enfriamiento se tendrá en cuenta el tipo de matriz que será utilizada de este proceso donde la característica principal para que funcione esta etapa será mantener la presión.
- Finalmente se continuará retirando el molde, el cual debe ser de material rígido para que se mantenga la forma sin modificar su geometría con las presentes reacciones químicas que conforman el compuesto. [24]

1.3.8. Factores al momento de fabricar un composite

En la fabricación de un composite hay que tener en cuenta ciertos factores que permiten elaborar un composite (un compuesto de resina y una fibra de refuerzo), con el fin de que las características fundamentales son en función de la orientación de la fibra y el porcentaje [25]. Para ello los factores a considerar son los siguientes:

Temperatura de secado

Las resinas termofijas necesitan un proceso de curado, que consiste en el encadenamiento transversal para el polímero en el cambio de estado, pasando de líquido a un estado endurecido o sólido, teniendo en cuenta la temperatura, la presión y el tiempo. En ocasiones se necesita un tiempo prolongado para tener un curado total, por lo cual en algunos casos se suministra calor en un horno que suministra las temperaturas controladas [25].

Orientación

Cuando la fibra se orienta en dirección igual a la carga se puede obtener un mayor rendimiento del esfuerzo de tracción [25].

1.3.9. Ensayos para análisis de la caracterización del material compuesto

Las propiedades mecánicas de los materiales compuestos se evalúan mediante ensayos, que consiste en hacer un número determinado de probetas del material y luego realizar las pruebas que caractericen su comportamiento. Este tipo de procedimiento para la caracterización mecánica de los composites se basa en normativas desarrollada

por entidades con la sociedad americana para ensayos y materiales (ASTM), las cuales se fundamentan en ensayos de tracción, flexión, impacto [26].

1.3.9.1. Ensayo a tracción

Este ensayo es uno de los primeros para considerar la caracterización de un material compuesto, su procedimiento es deformar una probeta específica, por normativa, hasta que sufra una ruptura a través de una fuerza axial que aumenta gradualmente a lo largo de eje de la probeta ya mencionada, se realiza en una máquina universal de ensayos [27]. ASTM D3039/D3039M-08, es la norma que cuenta con las especificaciones técnicas para realizar de una manera adecuada este ensayo en materiales compuestos, los valores de salida que se obtienen con ayuda de dicha norma para este ensayo son [28]:

- Esfuerzo máximo de tracción: Indica la carga máxima que tiene la probeta dividida por la sección inicial [27].
- Módulo de elasticidad: relación entre tensión y deformación en la zona específica de comportamiento de forma proporcional [27].
- Elongación: alargamiento plástico máximo que alcanza la probeta ensayada [27].

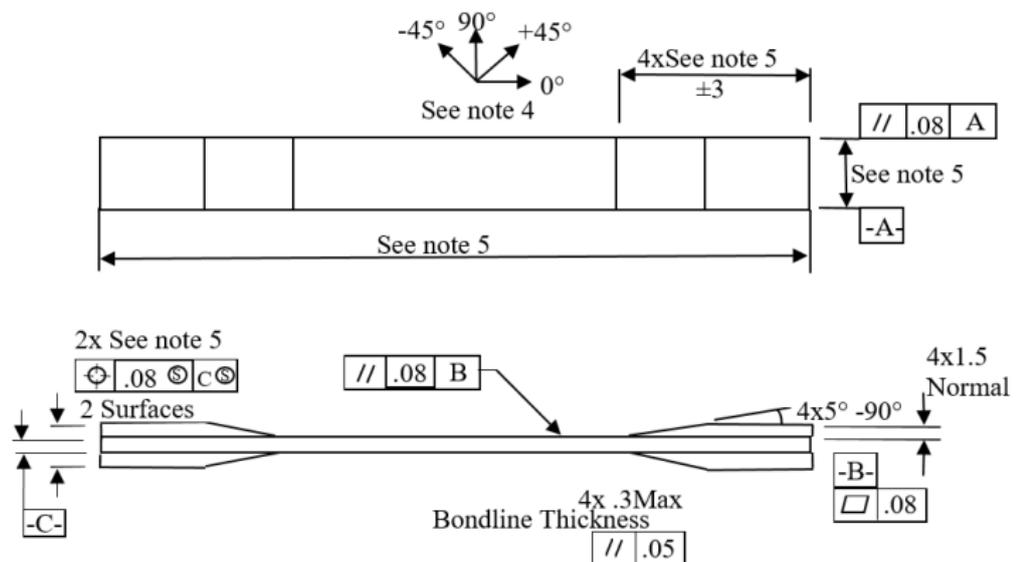


Figura 12: Medidas para el diseño de las probetas ASTM D3039/D3039M-08 [29].

Cabe añadir que la norma recomienda por no mínimo que se ejecuten cinco especímenes por cada factor de prueba, sin embargo, se puede utilizar un software específico que ayude a que no se ensayen tantas muestras, con la utilización de un diseño de experimentos, obteniendo así un resultado válido [29].

1.3.9.2. Ensayo de flexión

Este tipo de ensayo consiste en determinar la rigidez a la flexión y la propiedad de resistencia que tienen los compuestos con matriz polimérica, dicho ensayo se basa en la norma D7264/D7264M-07 [30]. Habitualmente en el ensayo de flexión se determina la primera fisura, la resistencia flexo-tensión y la resistencia máxima, debido a la adición de fibra de acero el incremento de la resistencia a la primera fisura es mínimo, ya que las propiedades dependen de la matriz y en poco de la cantidad de fibras, el tamaño y su forma [26] [31].

El equipo que se requiere para realizar el ensayo, son al menos cinco probetas según la condición del ensayo, aunque hay casos en los que se puede obtener resultados favorables con menos probetas. El tamaño o las dimensiones de las probetas y las ecuaciones para los respectivos cálculos de los valores de las propiedades de flexión, se encuentran especificadas en la normativa ASTM [31].

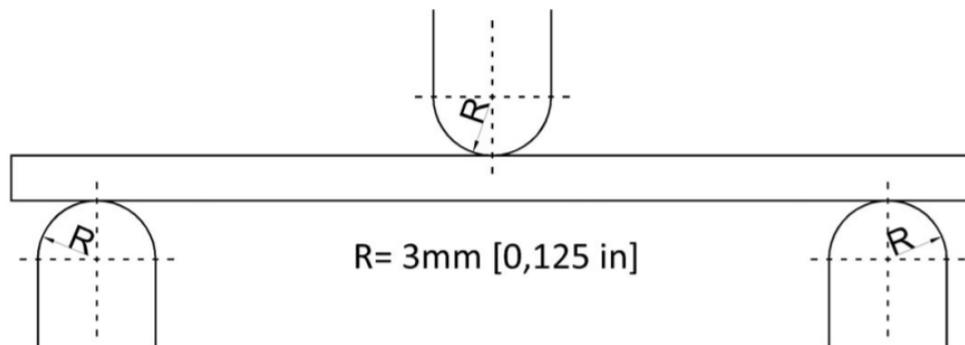


Figura 13: Configuración de carga a flexión en tres puntos [26].

1.3.9.3. Ensayo de impacto

El ensayo se realiza según las especificaciones descritas en la norma ASTM D5628 [32]. Con dicho método se puede determinar la energía de falla del material cuando se muestra fisuras al dejar caer el dardo en la probeta. En otras palabras, este método determina las características del material al someter a una fuerza de choque, de tal manera que se evalúa la firmeza de los materiales al igual que establece la fragilidad y la energía absorbida a la ruptura [26].

En el procedimiento en la máquina del ensayo se colocan las probetas y se deja caer el dardo, teniendo en cuenta que no rebote en la probeta. Una vez realizado el proceso se retira la probeta y se verifica si existen daño o no [26].



Figura 14: Máquina para ensayo de impacto

1.3.10. Diseño de experimentos

El diseño de experimentos se basa en una técnica que consta de realizar una serie de experimentos induciéndolos a cambios específicos en las variables de un proceso, con el fin de identificar la causa del cambio en las respuestas de salida. Con esta herramienta se puede lograr mejorar el rendimiento de los procesos, al igual que reducir los costos [34]. En el campo de la industria puede ser posible tener una cantidad considerable de información que ayuda a optimizar los costes y mejorar la eficiencia en la producción. Los diseños experimentales aplicados a la ingeniería pueden ser: el diseño aleatorio completo, diseño de factoriales, Taguchi, entre otros [35].

1.3.10.1. Método de superficie de respuesta (MSR)

El método de superficie de respuesta, conocido como MSR, es una técnica estadística de modelamiento, utilizada para la evaluación de los efectos simultáneos de diferentes variables en los procesos [36], optimiza la variable de interés, vinculando las técnicas matemáticas y estadísticas para analizar la influencia de una variable en otra. Esta técnica abarca los siguientes puntos [35]:

- Elige un diseño experimental que mida adecuadamente el comportamiento del estudio de interés [35].
- Determina el modelo que describe la actuación de los datos que se obtiene en el diseño experimental, verificando si el modelo es el adecuado) [35].
- Con el modelo adecuado se busca los niveles combinados de los factores de entrada que generan la respuesta [35].

El MSR utiliza tres fases esenciales que son: cribado, la búsqueda de primer orden y la búsqueda de segundo orden.

Los modelos de primer orden están expresados por [37]:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \varepsilon$$

Por otro lado, los modelos de segundo orden son establecidos por el diseño Box-Behnken y el diseño central compuesto [37]. Se expresan mediante:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} * x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} * x_j * x_i + \varepsilon \quad \text{Ec. 1.3}$$

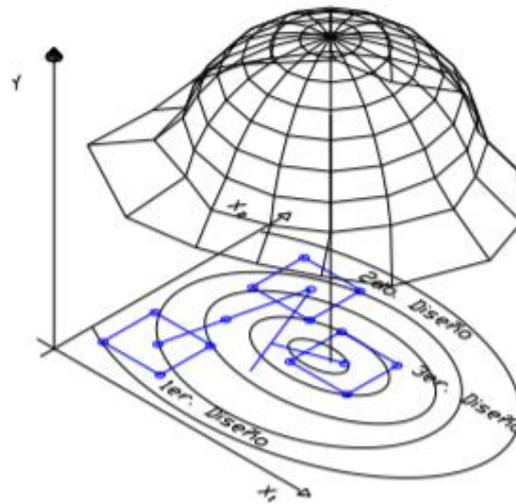


Figura 15: Vista espacial de la superficie de respuesta (segundo orden) [38]

- El diseño de Box-Behnken se aplica cuando tres factores de análisis sean cuantitativos, aunque no son contados con variables categóricas y es más económicos que el diseño central compuesto.
- En cuanto al diseño central compuesto es ajustado a un modelo complejo cuadrático, con la característica que tiene tratamiento factorial $2k$, también cuenta con 5 niveles por cada factor, utilizado para un plan de diseño que requiere un experimento secuencial, con factores cualitativos y cuantitativos. Este diseño consta de tres puntos fundamentales, el punto de proporción factorial, puntos de porción axial y puntos centrales.

1.3.11. Verificación de la hipótesis

Es la actividad que, mediante datos determinados de la observación, el ensayo, la experimentación, la muestra representativa, etc., comprueba la validez de la hipótesis planteada [39]. La aprobación o no de la hipótesis viene expresada por:

H0: Hipótesis nula

H1: Hipótesis alternativa (afirmativa) [35]

Para rechazar la hipótesis hay que considerar la significancia predefinida α , que por lo general tiene un valor de $\alpha = 0,05$ o $0,01$. Por otra parte, la significancia (P-valor), es el área que se encuentra bajo la distribución de referencia. Sin embargo, los criterios para rechazar o aceptar la hipótesis, el P-valor debe cumplir conociendo el nivel de significancia α es del 5% [35].

$$P \geq \alpha, \text{ aceptar } H_0 \quad \text{o} \quad P \leq \alpha, \text{ aceptar } H_1$$

1.3.11.1. Transformación de datos

Existe la necesidad de transformar los datos, debido a que los valores no cumplan con los parámetros funcionales para dichos análisis. Para la transformación de los datos se utiliza. La transformación de los datos se puede realizar utilizando Box-Cox, donde el valor Y (valor original) se transforma en W (valor de transformación) [27].

1.3.11.2. Optimización de respuestas mediante función de deseabilidad

La función de deseabilidad principalmente es utilizada para optimizar las variables en los procesos, identifica los valores que sean exactos de las variables que optimizan la respuesta, siendo complementaria al diseño Simplex-Centroide [40].

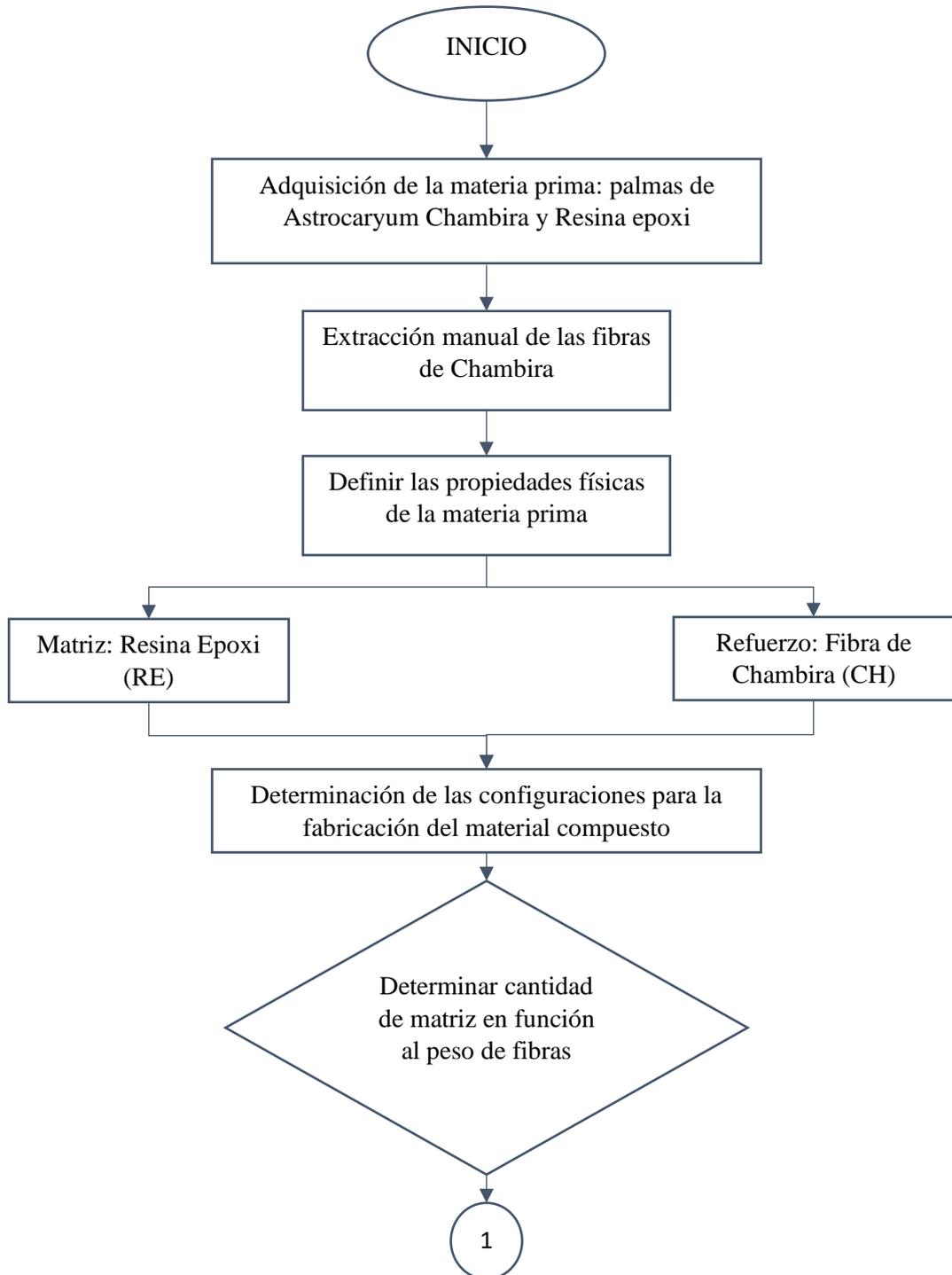
Esta herramienta evita los niveles no aceptables del factor o de los factores, lo que transforma una medida adimensional ordinaria d_i , $0 \leq d_i \leq 1$, donde 0 indica que la respuesta es indeseable y 1 indica una respuesta deseable que se define mediante la siguiente expresión:

$$DG = \sqrt[m]{d_1 * d_2 * \dots * d_m} = (d_1 * d_2 * \dots * d_m)^{1/m}$$

Ec. 1.4

CAPITULO II METODOLOGÍA

2.1. Diagrama de flujo del trabajo experimental



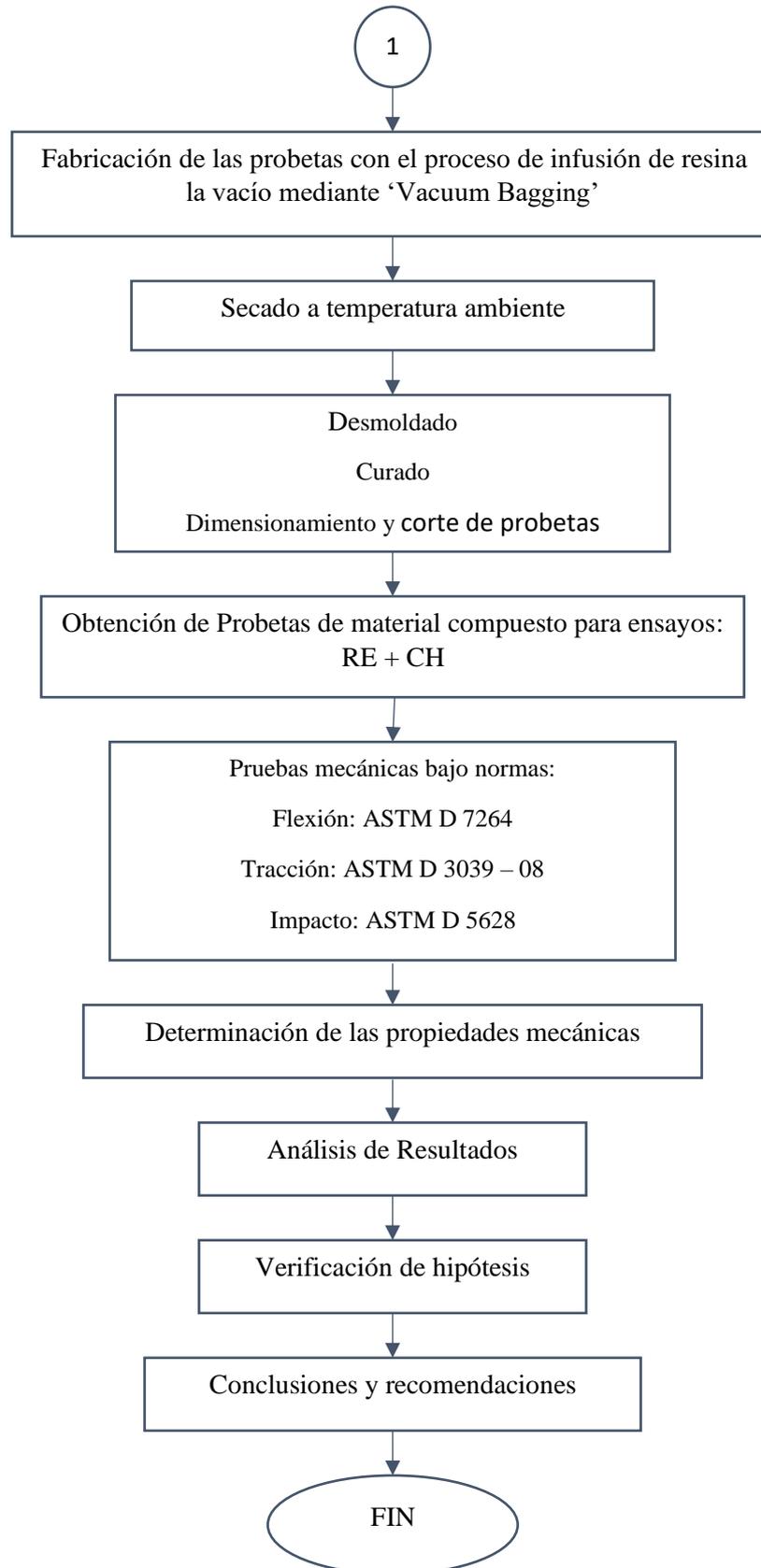
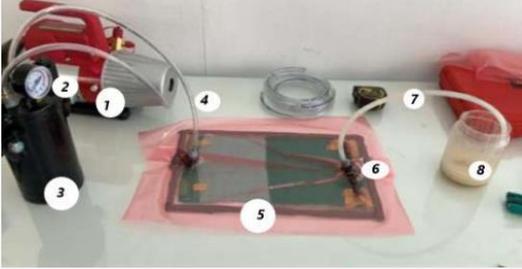


Figura 16: Diagrama de flujo del trabajo experimental [Autor]

2.2. Materiales

En la elaboración del presenta trabajo experimental se utilizan los siguientes materiales.

Tabla 3: Materiales utilizados

Material	Detalle	Imagen
Resina Epoxi (RE)	<p>Marca: Aeropoxi</p> <p>Resina PR2032</p> <p>Endurecedor PH3660</p> $\rho = 1.16 \frac{g}{cm^3}$	
Fibra de Chambira	<p>Fibra tejida de Chambira extraída de la palma de Astrocaryum de manera manual con proceso de secado y curado.</p>	
Sistema Vacuum Bagging	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bomba de vacío 2. Vacuómetro 3. Trampa de resina 4. Manguera de salida 5. Material compuesto 6. Válvula de vacío 7. Manguera de entrada 8. Recipiente de entrada [41] 	

<p>Bomba de vacío</p>	<p>Marca QEQUALITY Modelo QVP-600 Potencia 0.75 HP Caudal $4.8 \frac{pie^3}{min}$</p>	
<p>Cinta sellante</p>	<p>Masilla de cierre multiusos. Resistencia a 210°C</p>	
<p>Balanza digital</p>	<p>Empleada para el cálculo de propiedades físicas de y masa de las probetas fabricadas.</p>	
<p>Equipo de protección personal</p>	<p>Enfocado a reducir riesgos en los procesos de experimentación de los materiales compuestos, mandil, guantes, zapatos punta de acero, casco, etc.</p>	

2.3. Métodos

2.3.1. Nivel o tipo de investigación

En el desarrollo del presente trabajo experimental se basa a los siguientes tipos de investigación.

2.3.1.1. Exploratoria

Se desarrolló bajo el método exploratorio en el diseño y elaboración de un nuevo material compuesto con una matriz polimérica de Resina Epoxi (RE) con material refuerzo con fibras de la palma de *Astrocaryum Chambira*, mediante el proceso de infusión al vacío teniendo en cuenta la orientación de las fibras y la temperatura de curado con la finalidad de buscar la combinación óptima con mejores propiedades mecánicas para poder demostrar su validez para una posible aplicación industrial del material.

2.3.1.2. Descriptiva

Este nivel investigativo es de suma importancia puesto que sirve para describir las propiedades mecánicas obtenidas después de ensayar las probetas de material compuesto a las pruebas de tracción, flexión e impacto, también permite detallar la conducta del material a las diferentes composiciones propuestas con las variables de orientación y temperatura de curado planteadas.

2.3.1.3. Bibliográfica

El nivel bibliográfico nos permite recolectar información, datos, imágenes y todo tipo de antecedente investigativo en tesis, revistas, artículos científicos, libros entre otros, en trabajos con temáticas relacionados al presente de materiales compuestos en base a Resina Epoxi y Fibra de *Chambira*, los cuales permiten plantear las variables para el desarrollo del trabajo experimental.

2.3.1.4. Experimental

Este nivel investigativo se encarga del análisis de los resultados obtenidos en la fabricación del material compuesto en la combinación de una más variables planteadas, además de las pruebas mecánicas a las que serán sometidas para obtener un modelo y combinación óptima para la composición del material.

2.3.2. Población y muestra

2.3.2.1. Población

La fabricación de probetas será utiliza como población del presente trabajo experimental, estas serán ensayadas para determinar sus propiedades mecánicas. Las probetas, ya mencionadas, están conformadas de una matriz polimérica de resina Epoxi, como refuerzo la fibra de Astrocaryum Chambira y elaboradas por la infusión de resina al vacío, la fracción volumétrica de las partes del material compuesto a fabricar serán 70% y 30% de matriz y refuerzo respectivamente, los porcentajes se obtuvieron según el mejor rendimiento en cuanto a las propiedades mecánicas obtenidas en investigaciones anteriores. Es de vital importancia aclarar que la elaboración de las probetas será mediante infusión de resina al vacío, y la superficie será de 150x210, así como también el espesor será fijado de acuerdo con el número de capas y cantidad de matriz.

2.3.2.2. Muestra

En este trabajo experimental la muestra estimada se basa en la aplicación del diseño experimental (DOE), orientado al Método de Superficie de Respuesta de Box-Behnken elcual permitirá analizar la influencia de la resistencia mecánica en el material compuesto.

La matriz de diseño experimental mediante el método de superficie de respuesta está creada tomando en consideración 3 factores de entrada categóricos y 2 niveles (Orientación de la capa 1 a -45° , la orientación de la capa 2 a $+45^\circ$ y la temperatura de curado en el horno de 60°C y 120°C), respectivamente, como se presenta a continuación la siguiente tabla.

Tabla 4: Tipos de Factores de entrada y niveles

Tipo de factores	Factores	Niveles	
Categoricos o cuantitativos	Orientación de la capa 1 (OC1)	Bajo	-45°
		Medio	0°
		Alto	45°
	Orientación de la capa 2 (OC2)	Bajo	-45°
		Medio	0°
		Alto	45°
	Temperatura de curado en el Horno (Tem. Curado)	Bajo	60°C
		Medio	90°
		Alto	120°C

Fuente: Autor

Cabe recalcar, que para crear el diseño experimental se consideran aplicar 3 réplicas, mismos que determinarán el número total de corridas para el análisis experimental.

Resultado del modelo aplicado por MSR

Para obtener el número total de corridas experimentales generado por método de superficie de respuesta, se optó por el diseño de Box-Behnken por la existencia únicamente de factores categóricos o cuantitativos, dando como resultado un total de 45 corridas experimentales, cabe aclarar que para realizar el análisis experimental de los datos es importante aleatorizar los mismos esto, con la finalidad de considerar la eliminación de la variabilidad por factores que no se pueden controlar o no se presentan. Por lo tanto, se ejecutarán 45 corridas o ensayos experimentales por cada ensayo de: tracción, flexión e impacto, además, 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, como se presenta en la tabla.

Tabla 5: Matriz de diseño experimental

Orden Estadístico	Orden Corrida	Tipo Punto	Bloques	OC1 (°)	OC2 (°)	Temp. Curado (°C)
9	1	2	1	0	-45	60
21	2	2	1	45	0	60
44	3	0	1	0	0	90
45	4	0	1	0	0	90
7	5	2	1	-45	0	120
26	6	2	1	0	-45	120
8	7	2	1	45	0	120
32	8	2	1	45	-45	90
11	9	2	1	0	-45	120
19	10	2	1	45	45	90
37	11	2	1	-45	0	120
29	12	0	1	0	0	90
33	13	2	1	-45	45	90
16	14	2	1	-45	-45	90
30	15	0	1	0	0	90
25	16	2	1	0	45	60
23	17	2	1	45	0	120
35	18	2	1	-45	0	60
17	19	2	1	45	-45	90
36	20	2	1	45	0	60
22	21	2	1	-45	0	120
10	22	2	1	0	45	60
5	23	2	1	-45	0	60
28	24	0	1	0	0	90
43	25	0	1	0	0	90
12	26	2	1	0	45	120
27	27	2	1	0	45	120
1	28	2	1	-45	-45	90
18	29	2	1	-45	45	90
34	30	2	1	45	45	90
3	31	2	1	-45	45	90
38	32	2	1	45	0	120
15	33	0	1	0	0	90
2	34	2	1	45	-45	90
39	35	2	1	0	-45	60
41	36	2	1	0	-45	120
20	37	2	1	-45	0	60

4	38	2	1	45	45	90
13	39	0	1	0	0	90
40	40	2	1	0	45	60
6	41	2	1	45	0	60
42	42	2	1	0	45	120
24	43	2	1	0	-45	60
14	44	0	1	0	0	90
31	45	2	1	-45	-45	90

Fuente: Autor

La tabla muestra las combinaciones posibles generadas por el MSR estas están determinadas en 15 combinaciones, se puede observar que en realidad se especifica 13 combinaciones base y 2 puntos centrales.

Tabla 6: Combinaciones Base para ejecutar los ensayos mecánicos en el material compuesto (RE+FCH)

Combinación	Orientación de las capas (°)		Temperatura de Curado (°C)	Tipo de Ensayo	Cantidad de probetas	Total
	Capa 1	Capa 2				
1	0	-45	60	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
2	-45	0	60	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
3	45	0	60	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
4	0	45	60	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
5	-45	-45	90	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
6	45	-45	90	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
7	0	0	90	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
				Tracción	3	

8	0	0	90	Flexión	3	9
				Impacto	3	
9	0	0	90	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
10	-45	45	90	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
11	45	45	90	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
12	0	-45	120	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
13	-45	0	120	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
14	45	0	120	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
15	0	45	120	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				Impacto	3	
Total						135

Cabe recalcar que adicionalmente se ejecutarán 2 réplicas adicionales en puntos elegidos al azar, con el propósito de comparar la dispersión de datos para saber si las réplicas no están muy separadas.

2.3.3. Hipótesis

La optimización MSR del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira, elaborado por la infusión de resina al vacío permitirá optimizar las propiedades mecánicas.

2.3.3.1. Variable independiente

La optimización MSR del material compuesto elaborado por la infusión de resina al vacío.

2.3.3.2. Variable dependiente

Propiedades mecánicas

2.3.3.3. Término de relación

Permitirá

2.4. Operacionalización de variables

2.4.1. Variable independiente: Material compuesto elaborado por la infusión de resina al vacío

Tabla 7: Variable dependiente: material compuesto elaborado por la infusión de resina al vacío

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Herramientas
Material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de chambira	Material compuesto	Orientación de las capas de la fibra tejida	Bajo: -45° Medio: 0° Alto: 45°	Referencias bibliográficas Normas ASTM Software estadístico: MSR
		Temperatura de curado	Bajo: 60° Medio: 90° Alto: 120°	Conformado al vacío del compuesto mediante infusión al vacío. Horno de curado
	Optimización	Infusión al vacío	Combinaciones	Software estadístico

2.4.2. Variable dependiente: Propiedades mecánicas

Tabla 8: Variable independiente: Propiedades mecánicas

Concepto	Categoría	Dimensiones	Indicadores	Ítem	Herramientas
La caracterización de los materiales es una manera de obtener las características concretas en un material compuesto ya sean físicas, químicas y mecánicas, esta última se rige bajo normas 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 Maquina universal de impacto con caída de dardo Norma ASTM D5628	
	Optimización	Infusión al vacío	Valor – p	0 – 1	Software estadístico
			Coefficiente de determinación	0% - 100%	

2.5. Adquisición de materia prima

La palma de *Astrocaryum* Chambira se la encuentra en las zonas norte de la amazonia ecuatoriana en sus partes tropicales, siendo la provincia de Pastaza una de las principales provincias en la que se comercializa sus fibras, la adquisición fue de fibra gruesa y la obtención de fibra delgada se lo realizó mediante un proceso de tejido en un centro artesanal en la parroquia de Salasaca.

Los materiales utilizados como matriz Resina Epoxi Aeropoxi PR2032 y el endurecedor PH3660 se adquirió en SIMA AUTOMOTRIZ.

En la elaboración del material compuesto con el método de infusión de resina al vacío se necesita bolsas de vacío 'Vacuum Bagging', las mismas que se encuentran en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

2.6. Determinación de las propiedades físicas de la fibra

En la fabricación de un nuevo material compuesto es de suma importancia el cálculo o determinación de sus propiedades físicas especialmente de su densidad, al ser un trabajo experimental el cálculo de la densidad se lo realiza mediante el método gravitatorio, el cual utiliza la relación existente entre su masa y su volumen, valores que se pueden determinar en las probetas a realizarse mediante mediciones y la aplicación de la siguiente fórmula

$$\rho = \frac{m}{v} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad} \left(\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right)$$

$$m = \text{masa} (\text{gr})$$

$$v = \text{volumen} (\text{cm}^3)$$

En fuentes bibliográficas previas se obtiene valores de densidad para materiales compuestos con fibra de Chambira con valores entre 0.87 a 1.247 $\frac{gr}{cm^3}$ con la utilización del método gravitatorio, lo que nos sirve como un punto de referencia para el valor que se calcula.

En el proceso de cálculo de densidad de la fibra de Chambira se utilizaron instrumentos de laboratorio como vaso de precipitación de 250 ml, probeta de 250 ml y una balanza digital. El análisis se lo realiza para biras sin tejer y fibras tejidas, en donde se utilizó un volumen constante de 190 ml y teniendo como valor variable la masa de la fibra para visualizar la variación de volumen. En las tablas 9 y 10 se visualiza los cálculos de densidad de fibra sin tejer y tejida.



Figura 16: Calculo de la densidad de la fibra de chambira sin tejer



Figura 17: Calculo de la densidad de la fibra de chambira tejida

Tabla 9: densidad de la fibra sin tejer de chambira

Densidad de la Fibra sin tejer de Chambira					
Muestra	Masa (gr)	Volumen cm^3		Variación	Densidad $(\frac{gr}{cm^3})$
		Inicial	Final		
1	3	150	155	5	0.6
2	4	150	156.5	6.5	0.62
3	8	150	162.5	12.5	0.64
Promedio					0.62

Tabla 10: Densidad de la Fibra tejida de Chambira

Densidad de la Fibra tejida de Chambira					
Muestra	Masa (gr)	Volumen cm^3		Variación	Densidad $(\frac{gr}{cm^3})$
		Inicial	Final		
1	11.5	190	200	10	1.15
2	12.48	190	202	12	1.04
3	11	190	200	10	1.1
Densidad promedio $(\frac{g}{cm^3})$					1.0966

La densidad obtenida con el método gravitatorio es de $0.62\frac{g}{cm^3}$ en la fibra sin tejer, en la fibra tejida con algodón se obtuvo una pequeña variación que se evidencio con un valor de densidad de $1.0966\frac{g}{cm^3}$, de los mismos que se obtiene un valor promedio de $0.8533\frac{g}{cm^3}$ que se utilizará en los siguientes cálculos.

Fracción volumétrica

En la estratificación del material compuesto conformado por Resina Epoxi (RE) y Fibra de Chambira (CH) se toma en cuenta como referencia trabajos experimentales previos con temáticas similares al planteado, en donde se considera como la combinación óptima 60% matriz y un 40% de material soporte o refuerzo, en el

presente trabajo se utiliza 2 capas de refuerzo, las cuales correspondo el 15% por cada capa.

Cálculo volumétrico

Las especificaciones dadas por las normas ASTM indican que para pruebas de flexión, tracción e impacto deben realizarse un mínimo de 5 probetas, tomando en cuenta las dimensiones de probetas establecidas el área de trabajo que se considera consta de las siguientes dimensiones: largo 320 mm, ancho 150 mm y un espesor de 3 mm. En la determinación del número de probetas se toma en cuenta las combinaciones realizadas con el método MSR presentadas con anterioridad en la tabla 6, en la consideración del espesor se toma en cuenta el trabajo previo realizado por el Ing. Juan Paredes, en el que se considera el espesor del tejido de la fibra, en el que se trabaja con un trozo de material compuesto de 19.3x5.5 cm de fibra de vidrio, en donde se compara el peso de fibra de carbono con la de fibra de Chambira, en donde se toma un haz de la fibra en la que hay 4 hilos de fibra los mismos que se tejieron resultando un espesor de 1 mm y dando de resultado un peso de 4.25 g.



Figura 18: Fibra de carbono vs fibra de Chambira [4].

El volumen total que se requiere de material compuesto está en base a la distribución de las probetas que se muestran a continuación, teniendo en cuenta una separación de 3 mm entre cada probeta.

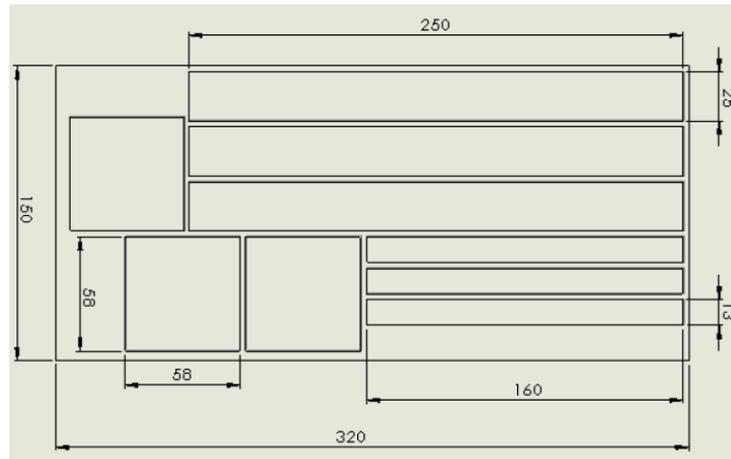


Figura 19: distribución de probetas en material compuesto. [4]

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

En la conformación del material compuesto las cantidades el peso de cada componente es indispensable para calcular las cantidades de resina y de endurecedor que se necesita, para el cálculo utilizamos las siguientes fórmulas [4].

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

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

Donde:

C.R. = Cantidad de resina (g)

C.E. = Cantidad de endurecedor (g)

P.F. = Peso de la fibra (g) [4]

En base a las ecuaciones planteadas se obtiene el peso de la fibra, la cantidad de resina y la cantidad de endurecedor, las mismas que se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 11: Cantidades de resina y endurecedor.

Combinación	Refuerzo	Orientación en capas (°)		Temperatura de curado (°)	Peso de fibra (g)	Cantidad de resina (g)	Cantidad de endurecedor (g)
		Capa 1	Capa 2				
1	CH	0	-45	60	35	27,5590551	7,44094488
2	CH	-45	0	60	35	27,5590551	7,44094488
3	CH	45	0	60	36	28,3464567	7,65354331
4	CH	0	45	60	35	27,5590551	7,44094488
5	CH	-45	-45	90	36	28,3464567	7,65354331
6	CH	45	-45	90	37	29,1338583	7,86614173
7	CH	0	0	90	35	27,5590551	7,44094488
8	CH	0	0	90	35	27,5590551	7,44094488
9	CH	0	0	90	36	28,3464567	7,65354331
10	CH	-45	45	90	38	29,9212598	8,07874016
11	CH	45	45	90	35	27,5590551	7,44094488
12	CH	0	-45	120	36	28,3464567	7,65354331
13	CH	-45	0	120	38	29,9212598	8,07874016
14	CH	45	0	120	37	29,1338583	7,86614173
15	CH	0	45	120	35	27,5590551	7,44094488

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

Para determinar la densidad calculada lo realizamos mediante la siguiente ecuación:

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

Donde:

$$\rho_c = \text{Densidad calculada del material compuesto} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$f_f = \text{Fracción volumétrica de la fibra (\%)}$$

$$\rho_f = \text{Densidad de la fibra} \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

$$f_R = \text{Fracción volumétrica de la resina (\%)}$$

$$\rho_R = \text{Densidad de la resina} \left(\frac{g}{cm^3} \right) [4]$$

Para el cálculo de la densidad del material compuesto necesitamos los valores de densidad de Resina Epoxi EP y de la fibra de Chambira CH las cuales se detallan en la tabla de a continuación.

Tabla 12: Densidades de materiales para la fabricación del material compuesto.

Densidad	Unidades $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$
Resina Epoxi	1.16
Fibra de Chambira	1.035

Fuente: [Autor]

Además, de los valores ya expuestos se necesita de la fracción volumétrica de la resina epoxi y de la fibra de Chambira con la fórmula de a continuación:

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

Donde:

$P_c =$ Peso calculado del material compuesto (g)

$P_f =$ Peso de la fibra de Chambira (g)

$P_R =$ Peso de la Resina (g) [4]

Para el cálculo de la fracción volumétrica de la fibra de chambira y resina epoxi, lo realizamos mediante las siguientes ecuaciones:

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

$$f_f = \frac{P_R * 100\%}{P_c} \quad \text{Ec. 2.7}$$

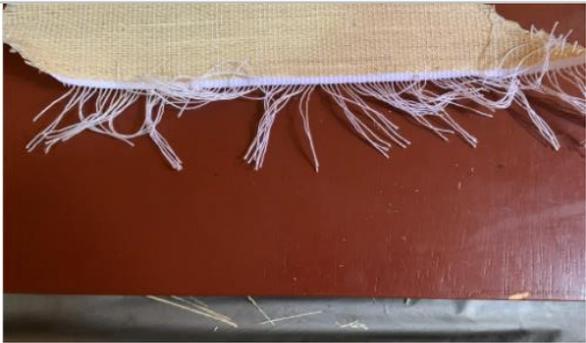
Los valores de densidades para las combinaciones previamente establecidas se presentan en la tabla 13, los valores calculados anteriormente nos ayudan a determinar los valores detallados a continuación:

Tabla 13: Valores de densidad calculadas.

Combinación	Refuerzo	Orientación en capas (°)		Temperatura de curado (°)	Peso de fibra (g)	Cantidad de resina (g)	Cantidad de endurecedor (g)	Densidad Calculada ($\frac{g}{cm^3}$)
		Capa 1	Capa 2					
1	CH	0	-45	60	35	27,5590551	7,44094488	1.09
2	CH	-45	0	60	35	27,5590551	7,44094488	1.09
3	CH	45	0	60	36	28,3464567	7,65354331	1.09
4	CH	0	45	60	35	27,5590551	7,44094488	1.09
5	CH	-45	-45	90	36	28,3464567	7,65354331	1.09
6	CH	45	-45	90	37	29,1338583	7,86614173	1.09
7	CH	0	0	90	35	27,5590551	7,44094488	1.09
8	CH	0	0	90	35	27,5590551	7,44094488	1.09
9	CH	0	0	90	36	28,3464567	7,65354331	1.09
10	CH	-45	45	90	38	29,9212598	8,07874016	1.09
11	CH	45	45	90	35	27,5590551	7,44094488	1.09
12	CH	0	-45	120	36	28,3464567	7,65354331	1.09
13	CH	-45	0	120	38	29,9212598	8,07874016	1.09
14	CH	45	0	120	37	29,1338583	7,86614173	1.09
15	CH	0	45	120	35	27,5590551	7,44094488	1.09

2.6.3. Preparación de la fibra y tejido

Tabla 14: procedimiento para preparación y tejido de fibra

N°	Actividad	Figura
1	Cantidad de fibra de <i>Astrocaryum</i> Chambira a utilizar en la fabricación de material compuesto	
2	Haz de fibra de Chambira	
3	Desfibrilado en 4 hilos	
4	Pre tejido con 4 hilos y 1 pasada	

5	Tejido con 4 hilos y 1 pasada	
6	Tejido referencia de 5.5 x 19.5 cm	

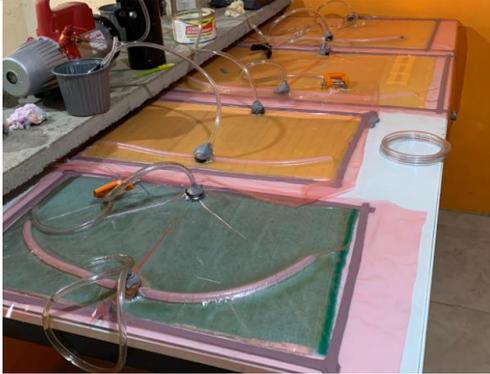
Fuente: [Autor]

2.6.4. Proceso para la elaboración de probetas

Tabla 15: Procedimiento para la elaboración de probetas.

N°	Actividad	Descripción	Figura
1	Señalización de las dimensiones de la placa en la fibra de chambira	Se puede trabajar con placas de 25 x 30 cm, de las cuales se pueden realizar cortes del tamaño de probeta especificado.	

2	Pesaje de las capas de fibra de chambira	Se necesita tener un control del peso de las capas de las fibras de chambira.	
3	Preparación de la resina	Se prepara la resina con el endurecedor con las cantidades establecidas con anterioridad.	
4	Colocación de la fibra de chambira en el molde	Se coloca las fibras de chambira en el molde con las inclinaciones establecidas.	

5	Colocación del sistema de infusión de resina al vacío	Se coloca el sistema de Vacuum Bagging para la infusión de resina al vacío.	
6	Colocación de la resina + catalizador.	Se coloca la manguera de entrada en el recipiente donde se encuentra la resina preparada con el catalizador.	
7	Encendido de bomba del sistema de infusión la vacío	Impulsa a la resina a que recorra todo el laminado de la fibra para la formación del material compuesto.	
8	Extracción de la placa de material compuesto.	Se retira los materiales del Vacuum Bagging y se procede a retirar el material compuesto.	

Fuente: [Autor]

2.6.5. Acondicionamiento de planchas

Tabla 16: Acondicionamiento de las planchas del material compuesto

Probetas para curado de 60 ° C	
	
Probetas para curado de 90 ° C	
	
Probetas para curado de 120 ° C	
	

2.6.6. Proceso de curado y corte de probetas

Tabla 17: Procedimiento para el curado y corte de probetas

ítem	Actividad	Descripción	Ilustración
1	Sujeción de las probetas	Ubicar las diferentes planchas de material compuesto con pesos, con el objetivo de evitar pandeos debido al calor	
2	Pre curado de planchas	Curar previamente todas las probetas a una temperatura de 60°C y dejar enfriar, 2 horas y 24 horas con el horno apagado, respectivamente	
3	Curado a 60, 90 y 120 °C	Curar las probetas tomando en cuenta los diferentes parámetros que se planteó para la experimentación	

4	Corte de las probetas	Cortar las probetas a través del método laser CO2 (potencia: 80 watts)	
---	-----------------------	--	--

2.7. Parámetros para el ensayo de materiales

Los ensayos destructivos juegan un papel fundamental en esta parte del estudio, debido a que gracias a ellos se puede caracterizar un material mediante la evaluación de sus propiedades mecánicas. Dichos ensayos se explican a continuación:

2.7.1. Tracción

Ensayo que consiste en aplicar una fuerza axial de forma progresiva en el eje central de la probeta de material compuesto hasta provocar ruptura, como se explicó en el capítulo anterior los datos obtenidos son el esfuerzo máximo a la tracción, módulo de elasticidad, y porcentaje de elongación.



Figura 19: Máquina Universal para ensayo a tracción

MAQUINA UNIVERSAL D E ENSAYOS - WAW600B

MARCA: JTNAN LIANGONG TESTING TECHNOLOGY CO., LTD

SERIE: 7136 CERTIFICADO: LNM-F-2016500064D

CODIDENT: M2

<i>MAXCAPACITY:</i>	<i>600kn</i>
<i>Exactitud Grado:</i>	<i>1</i>
<i>Visualización:</i>	<i>Computer</i>
<i>Control:</i>	<i>Control Computarizado</i>
<i>Peso:</i>	<i>2500kn</i>

Propiedades obtenidas en el ensayo a tracción.

Las fórmulas para el cálculo de las propiedades mecánicas en este ensayo se detallan a continuación, obteniendo así resultados para resistencia, rigidez y ductilidad del material compuesto.

a) Resistencia a la tracción

Esfuerzo máximo

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

Donde:

σ : Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)

A: área de la sección transversal (m²)

P: Fuerza aplicada (N)

Deformación por tracción

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

Donde:

ϵ_i : Deformación máximo (u)

δ_i : desplazamiento del cabezal móvil (mm)

L_g : longitud calibrada (mm)

b) Propiedades elásticas

Módulo de Elasticidad o módulo de Young

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

Donde:

E : Módulo de elasticidad o módulo de young

σ : Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)

ϵ : elongación del material

c) Ductilidad

Porcentaje de deformación

$$\% \text{ de elongación} = \frac{l_f - l_0}{l_0}$$

Donde:

l_f : longitud final (mm)

l_0 : longitud inicial (mm)

2.7.2. Flexión

Para la realización de este ensayo se utiliza la norma ASTM D 7264 con el fin de determinar la rigidez a la flexión y las propiedades de resistencia, los resultados de este tipo de ensayo varía en cuanto a: la superficie de la probeta, espesor, condiciones medio ambientales y velocidad de aplicación de la fuerza



Figura 20: Máquina de Ensayo a Flexión

Fuente: Autor

Propiedades obtenidas

a) Resistencia a la flexión o módulo de ruptura

$$\sigma_{flexión} = \frac{3Pl}{2bh}$$

Donde:

σ : Esfuerzo máximo a la flexión (MPa)

P : fuerza aplicada (N)

L : espacio entre soporte (mm)

b : ancho de la probeta (mm) h : espesor de la probeta (mm)

2.7.3. Impacto

Por medio de la caída de dardos a través de un maquina estándar, este ensayo se utiliza para determinar la energía media de fallo, con ayuda de la norma ASTM 5628 esta prueba evalúa el fallo en función de la altura del dardo pues, si no se detecta el fallo a una altura planteada esta se debe elevar en cambio si presenta el fallo la altura se debe disminuir acorde a la determinación de la falla.



Figura 21: Máquina de Ensayo de impacto

Fuente: Autor

Para cuantificar la energía del fallo se utiliza la siguiente ecuación.

$$MEF = h * w * f$$

Donde:

MEF: energía máxima de ruptura h: altura máxima de altura (mm)

w: masa máxima de ruptura (g)

f: factor de conversion a Joules

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Interpretación y tabulación de los resultados.

Los valores que se pudieron constatar y recuperar de los ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto son los que se detallan a continuación, se las recopiló mediante tablas y graficas que se detallan a continuación.

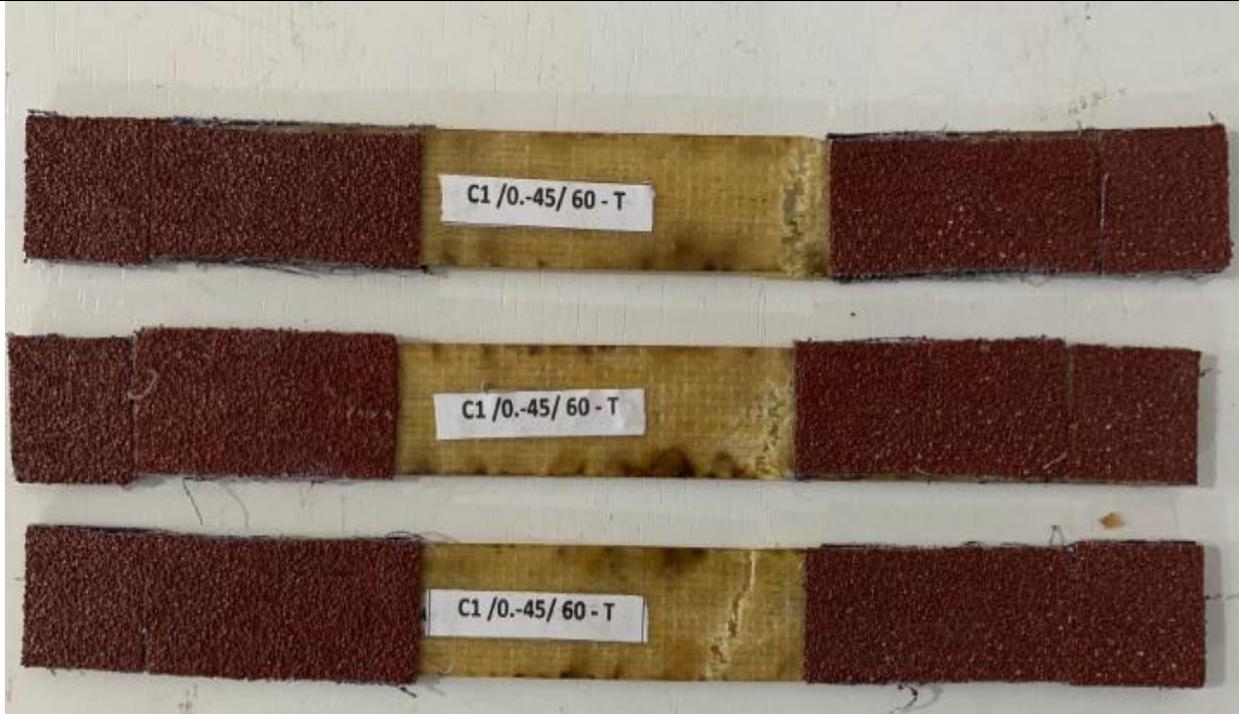
3.1.1. Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción.

Tabla 18: Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a tracción

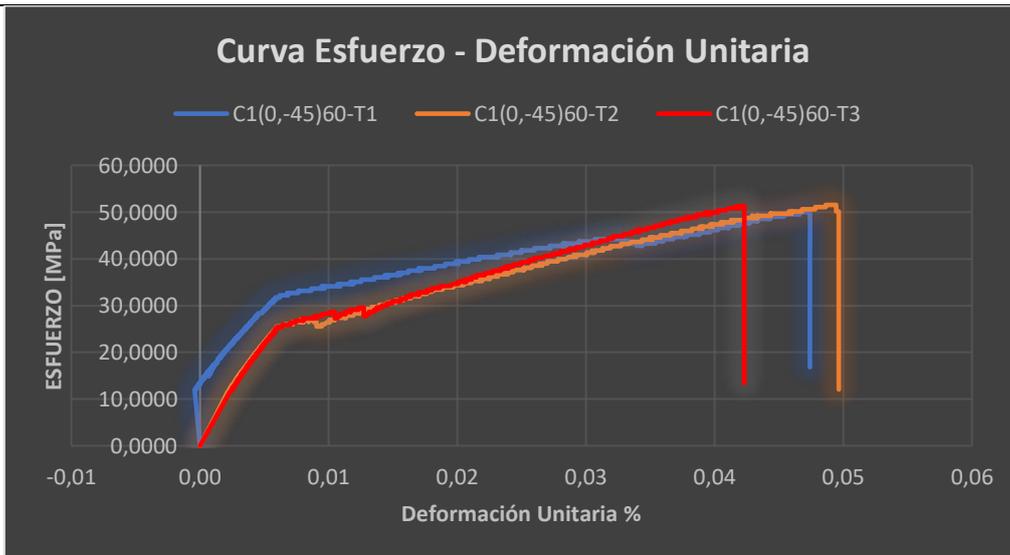
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS						
TRACCIÓN_ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C1/0.-45/60-T		
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por infusión	
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72	
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	2080	33	50	3340	0.58	LAT

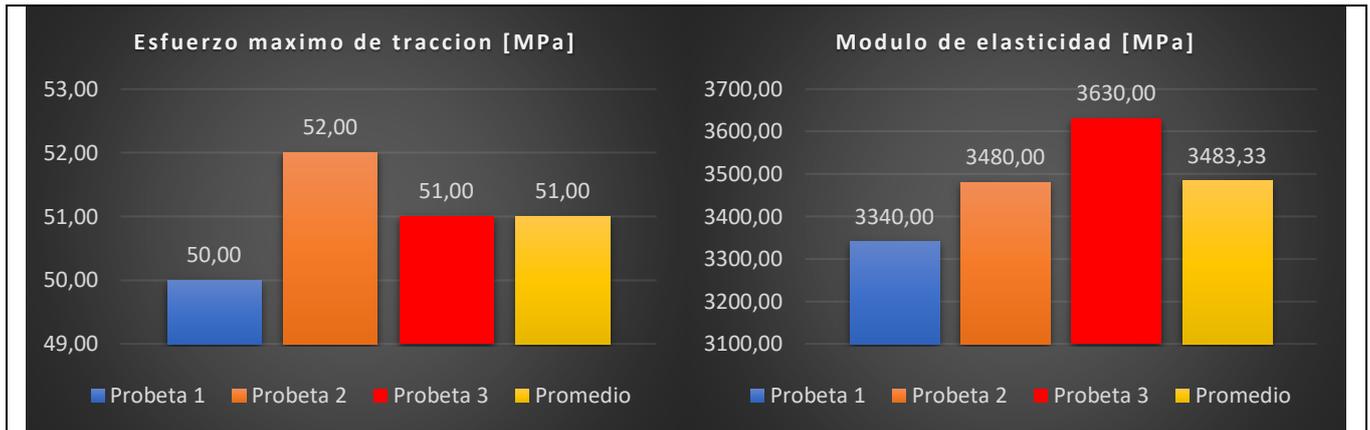
2		2220	27	52	3480	0.64	LAT
3		2220	27	51	3630	0.22	LAT
Promedio		2173.33	29	51	3483.33	0.48	

PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS





OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- En este caso las tres probetas presentan un fallo LAT que este se refiere a un tipo de fallo lateral cerca del agarre en la zona superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	51	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación:	0.48	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	3483.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	2173.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 19: Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a tracción

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS			
TRACCIÓN ASTM D3039			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C2/-45.0/60-T
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por infusión
Orientación de fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

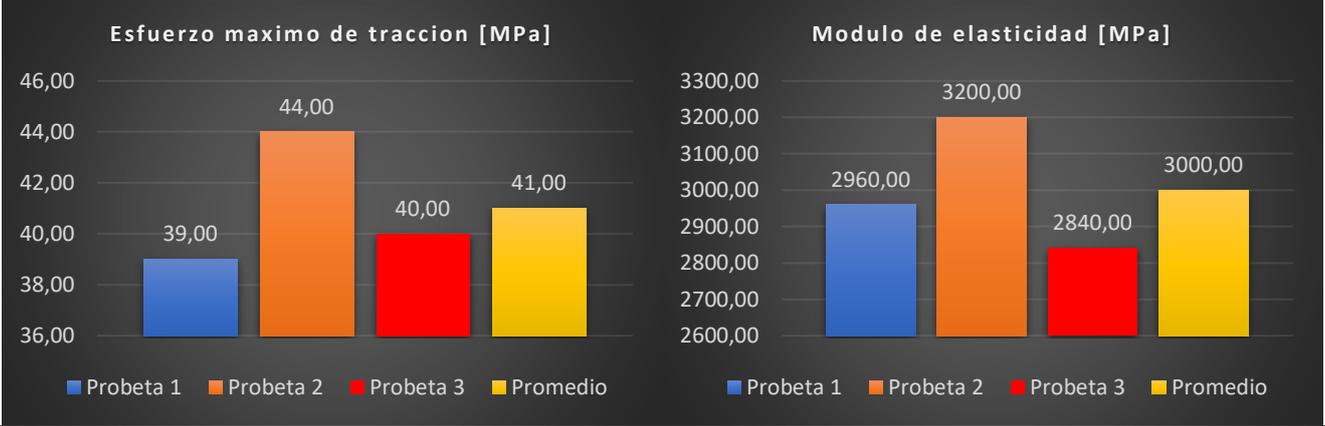
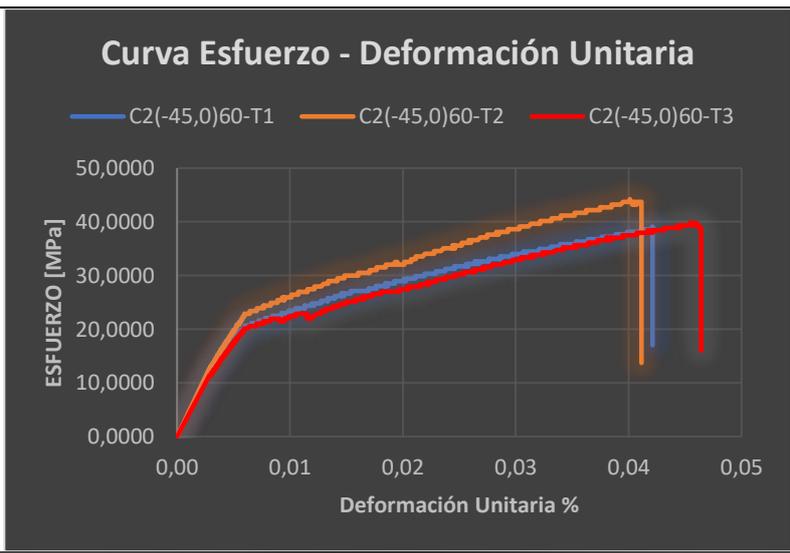
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1700	22	39	2960	1.48	AGM1
2	1740	25	44	3200	0.18	AGM1
3	1740	22	40	2840	1	AGM1
Promedio	1726.66	23	41	3000	0.8866	

PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



OBSERVACION

- En este caso de igual manera las tres probetas presentan el mismo fallo el cual es AGM1 esto se refiere a que sufrieron un daño angular calibrado en la zona media de la probeta.
- Y como se puede observar en la gráfica de tabulación los valores no varían mucho entre si debido a su conformación.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	41	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	0.8866	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	3000	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1726.66	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 20: Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a tracción



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

TRACCIÓN_ASTM D3039

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C3/45.0/60-T
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por infusión
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

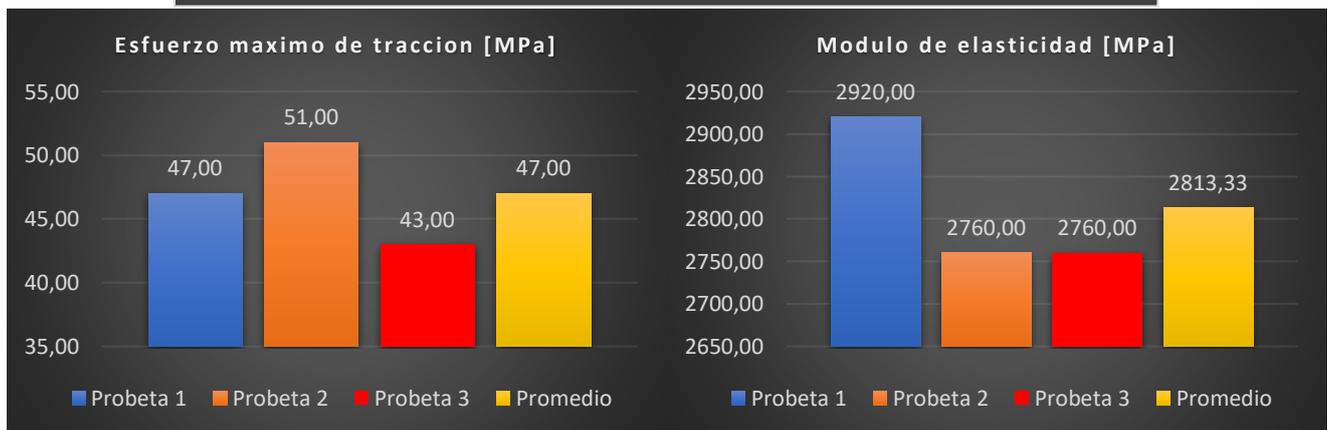
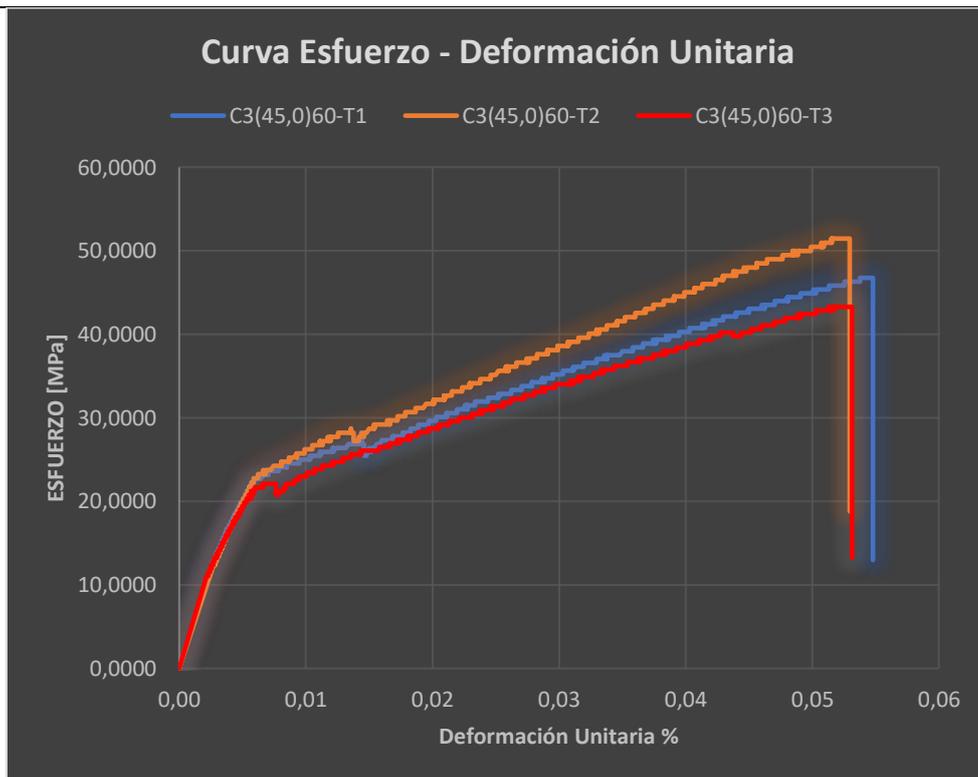
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	2020	24	47	2920	1.94	LGM
2	2080	26	51	2760	1.4	LGM
3	1960	22	43	2760	3.96	LGM
Promedio	2020	24	47	2813.33	2.43	

PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- Las probetas tienen un mismo tipo de fallo el cual es LGM el cual se refiere a que presentaron un fallo lateral calibrado en la zona media de la misma.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	47	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	2.43	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	2813.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	2020	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

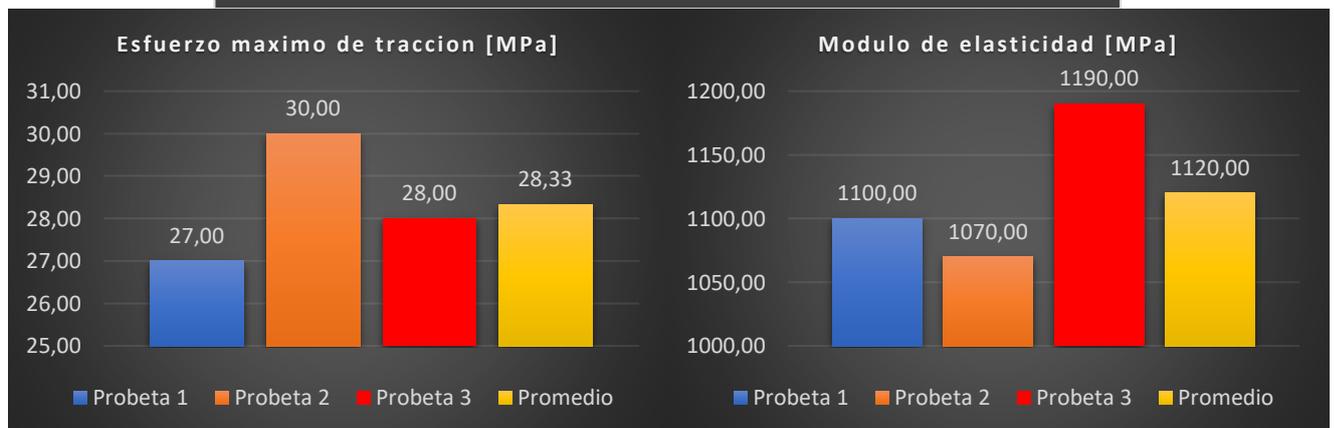
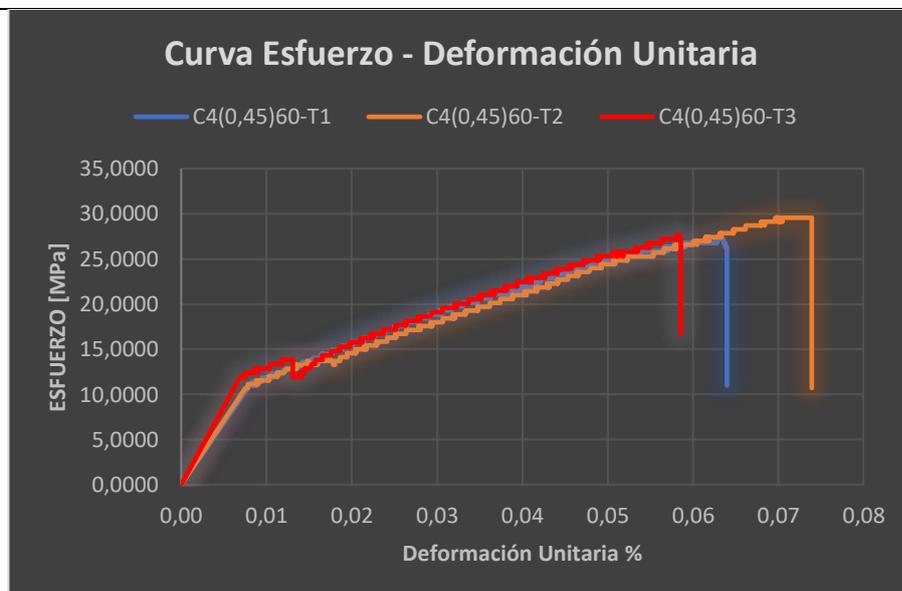
Fuente: Autor

Tabla 21: Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C4/0.45/60-T			
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión		
Orientación de fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72		
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	
1	1240	14	27	1100	2.84	AGM	
2	1380	15	30	1070	1.6	AGM	
3	1160	14	28	1190	1.22	AGM	
Promedio	1260	14.33	28.33	1120	2.74		
PROBETAS ENSAYADAS							



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- Así mismo en este caso las probetas presentan un fallo de tipo AGM las cuales son de manera angular calibrada en la zona media.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	28.33	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	2.74	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	1120	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1260	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 22: Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a tracción

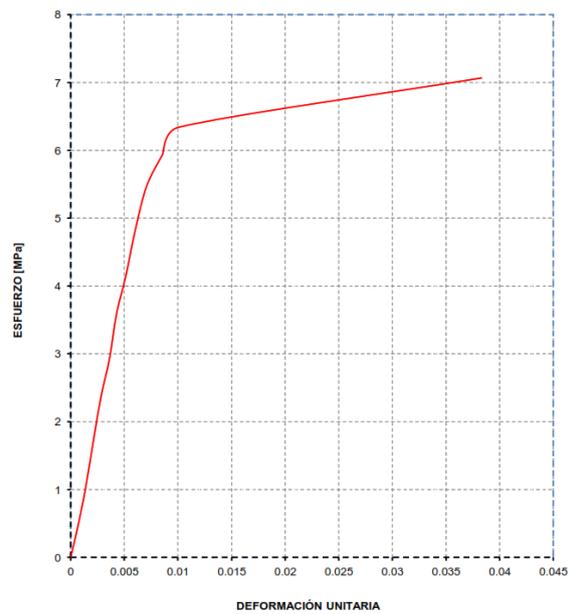
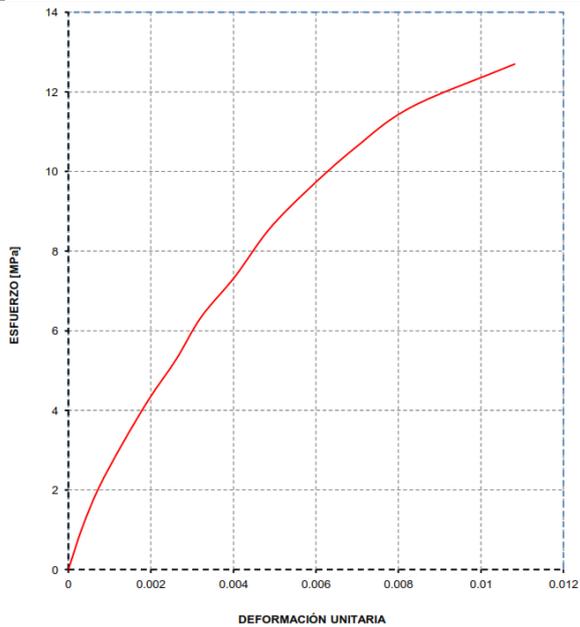
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
TRACCIÓN_ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C5/-45.-45/90-T		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					

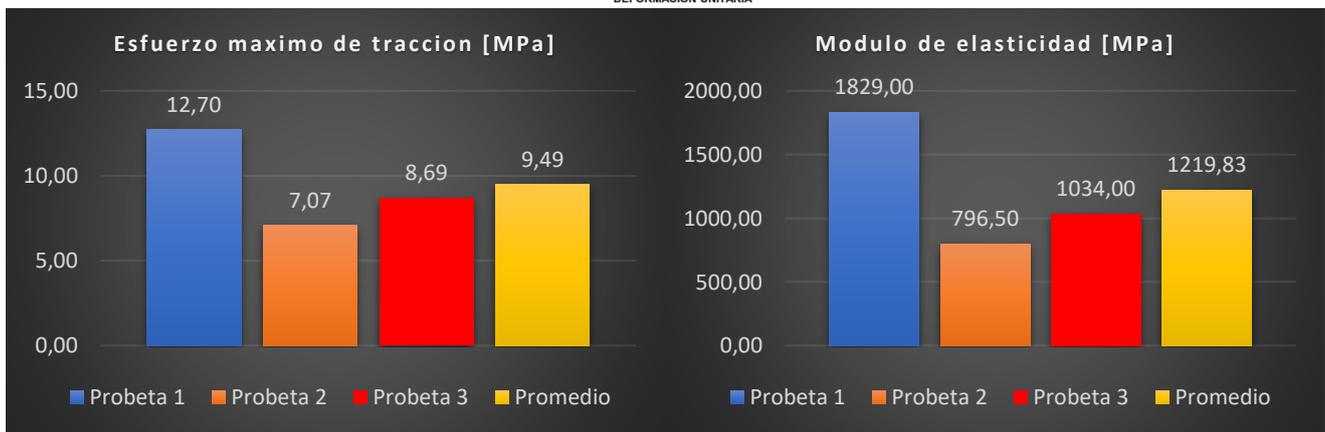
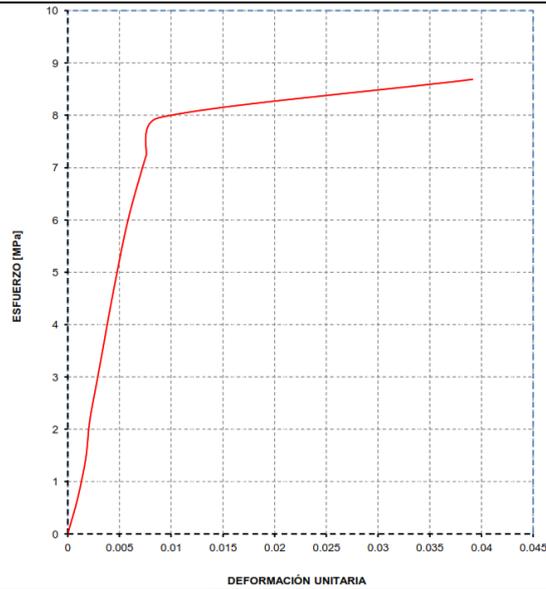
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	490	9.5	12.7	1829	1.5	LAT
2	340	6.4	7.07	196.5	3.68	LAT
3	380	8	8.69	1034	3.04	LAT
Promedio	403.33	7.96	9.48	1219.83	2.74	

PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS





OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- En este caso las tres probetas tuvieron un tipo de fallo LAT que se refiere a un daño lateral cercano al agarre superior exterior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	9.48	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	2.74	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	1219.83	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	403.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

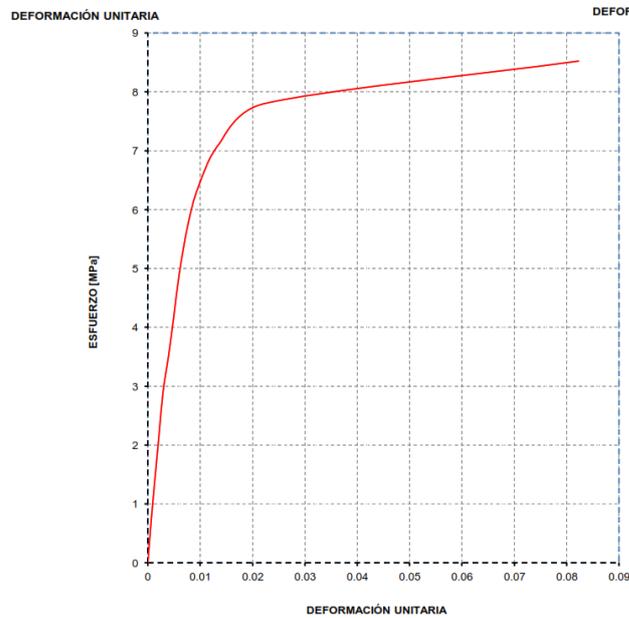
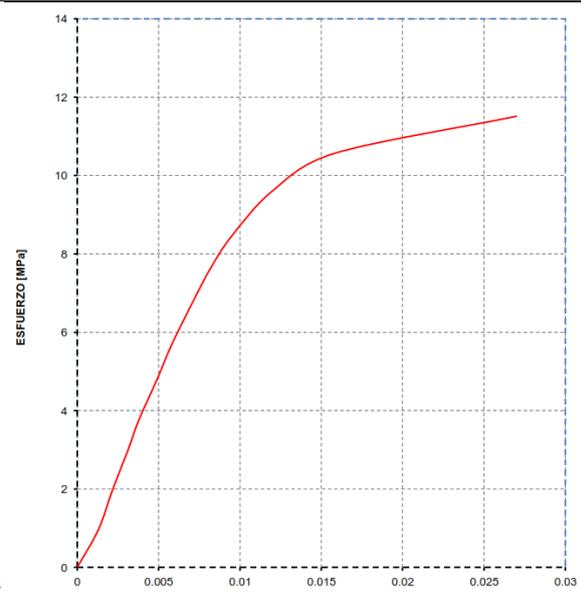
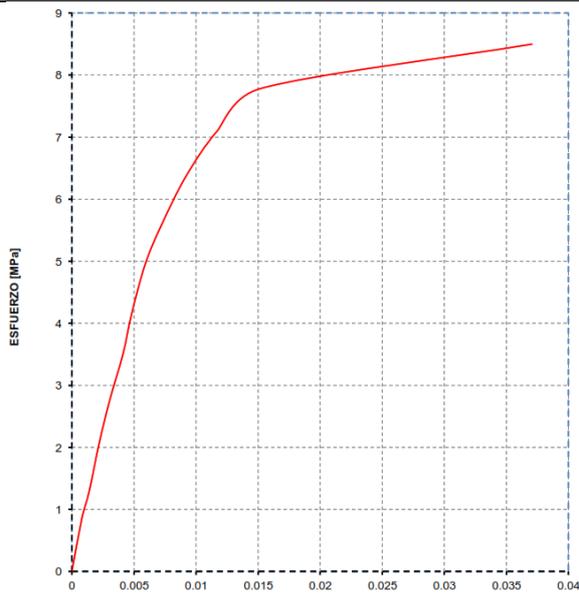
Fuente: Autor

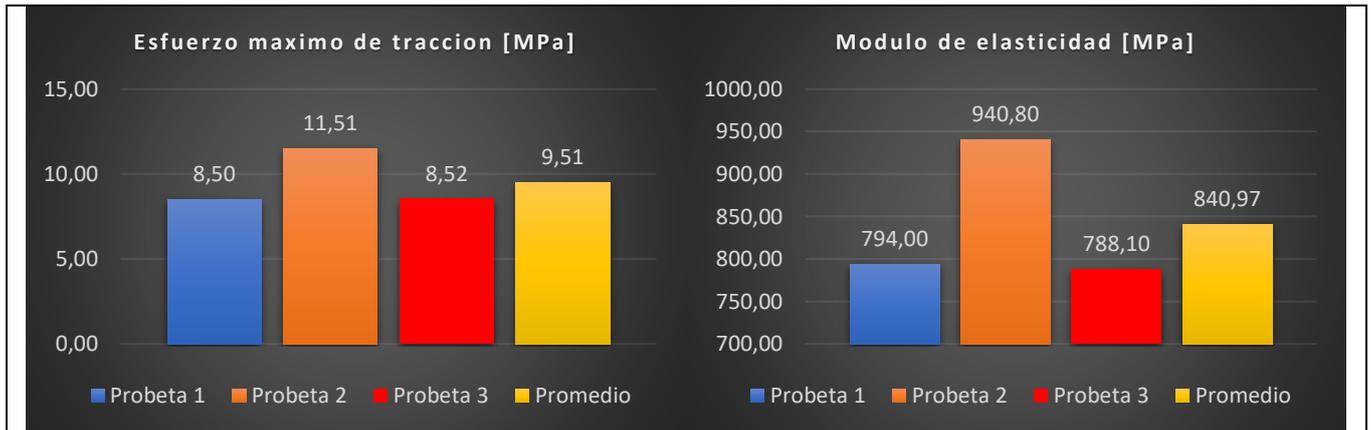
Tabla 23: Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a tracción

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:		Experimental		Codificación:		C6/45.-45/90-T	
Fecha de ejecución:		07/05/2022		Equipo:		Máquina Universal de Ensayos WAW600B	
Realizado por:		Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:		LenMay-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión		
Orientación de fibra:	45°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72		
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas		Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1		390	6.6	8.5	794	2.52	LAT
2		480	9.6	11.51	940.8	5.28	LAT
3		390	6.9	8.52	788.1	4.48	LAT
Promedio		420	7.7	9.51	840.966	4.093	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRAFICAS





OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- De igual manera en este caso las tres probetas tuvieron un tipo de fallo lateral en el agarre superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	9.51	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	4.093	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	840.966	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	420	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 24: Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a tracción

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS		
TRACCIÓN ASTM D3039			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C7/0.0 /90-T
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador
---------------	---

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

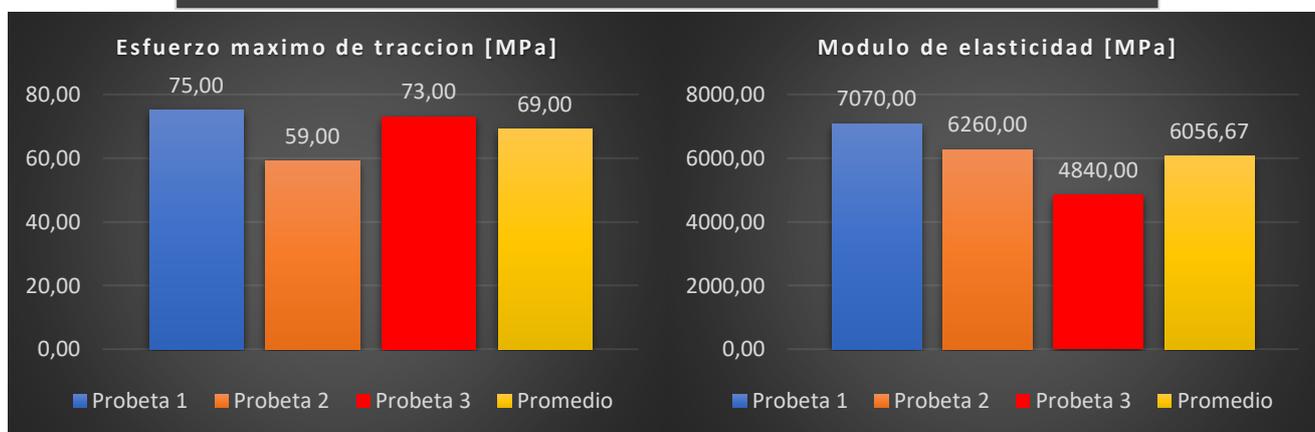
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	2560	41	75	7070	1.46	GAT
2	2080	41	59	6260	2.14	AGM2
3	2780	37	73	4840	4.42	AGM1
Promedio	2473.33	39.66	69	5065.66	2.673	

PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- La probeta 1 presenta un tipo de daño GAT el cual se produce en la zona de agarre interior en la zona superior, mientras que las otras 2 probetas restantes presentan un daño en la angular calibrada en la parte media.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	69	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	2.673	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	5065.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	2473.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

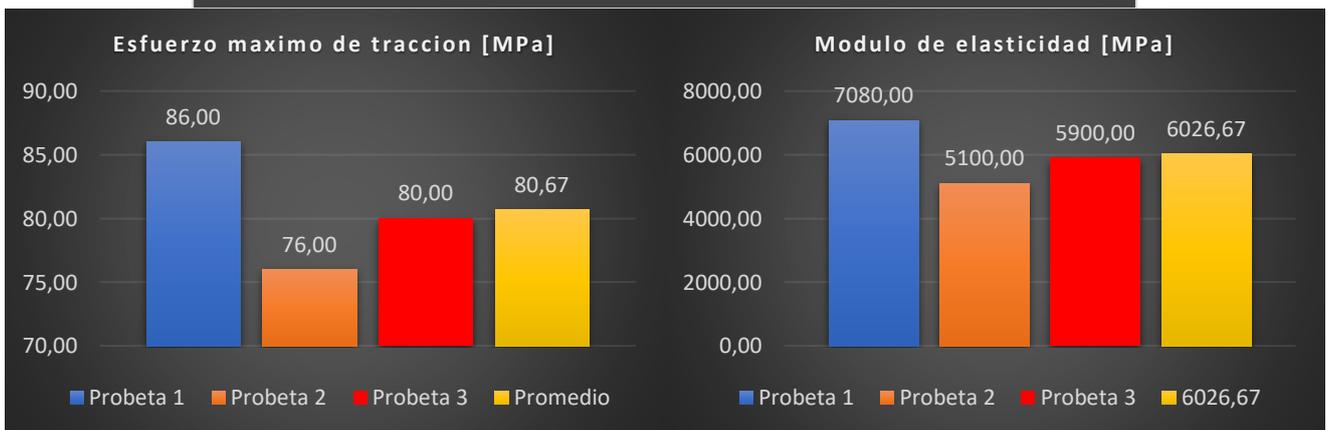
Fuente: Autor

Tabla 25: Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a tracción

 <p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> 						
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C8/0.0/90-T		
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMay-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión	
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72	
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	3120	48	86	7080	0.56	DGM
2	3040	38	76	5100	1.32	GAT
3	2920	41	80	5900	2.68	LGM
Promedio	3026.66	42.33	80.66	6026.66	1.52	
PROBETAS ENSAYADAS						



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- En este caso la primera probeta presenta una delaminación del borde calibrada en la zona media, en la segunda probeta su tipo de fallo es en la zona del agarre superior y por último la probeta tres presenta un daño en la zona lateral del agarre superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	80.66	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	1.52	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	6026.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	3026.66	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

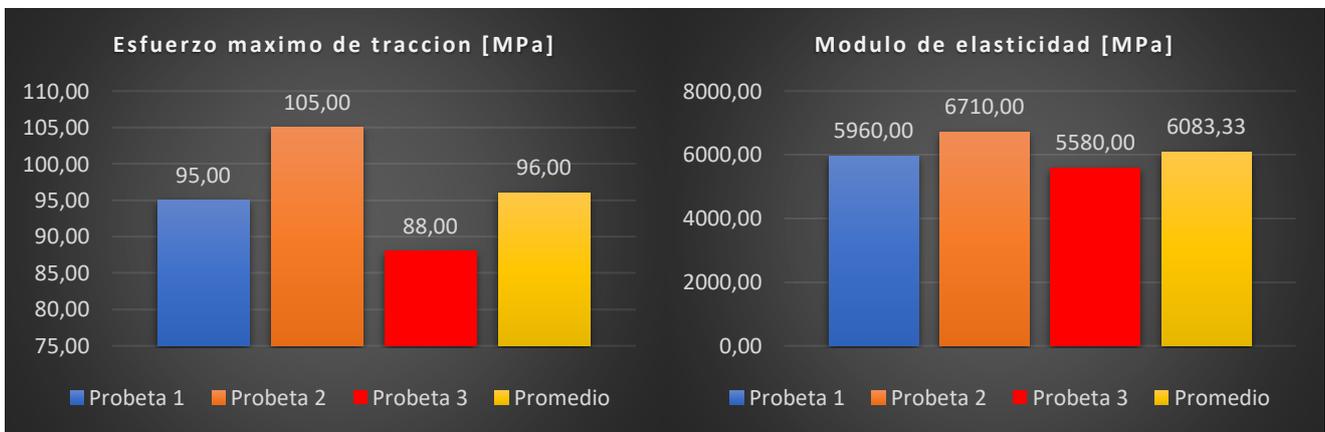
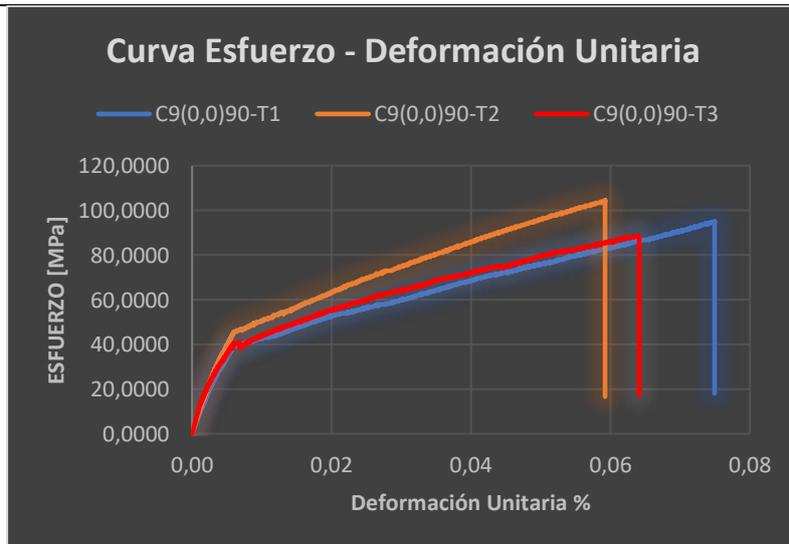
Fuente: Autor

Tabla 26: Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a tracción

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C9/0.0/90-T		
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMay-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión	
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72	
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	3880	48	95	5690	1.88	LGM
2	3380	53	105	6710	1.9	AGM1
3	3280	45	88	5580	1.84	LGM
Promedio	3513.33	48.66	96	6083.33	1.8733	
PROBETAS ENSAYADAS						



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- La probeta 1 y 3 presentan un tipo de fallo LGM el cual trata de que sufrió un fallo en la zona lateral calibrada en el punto medio.

Valores promedio

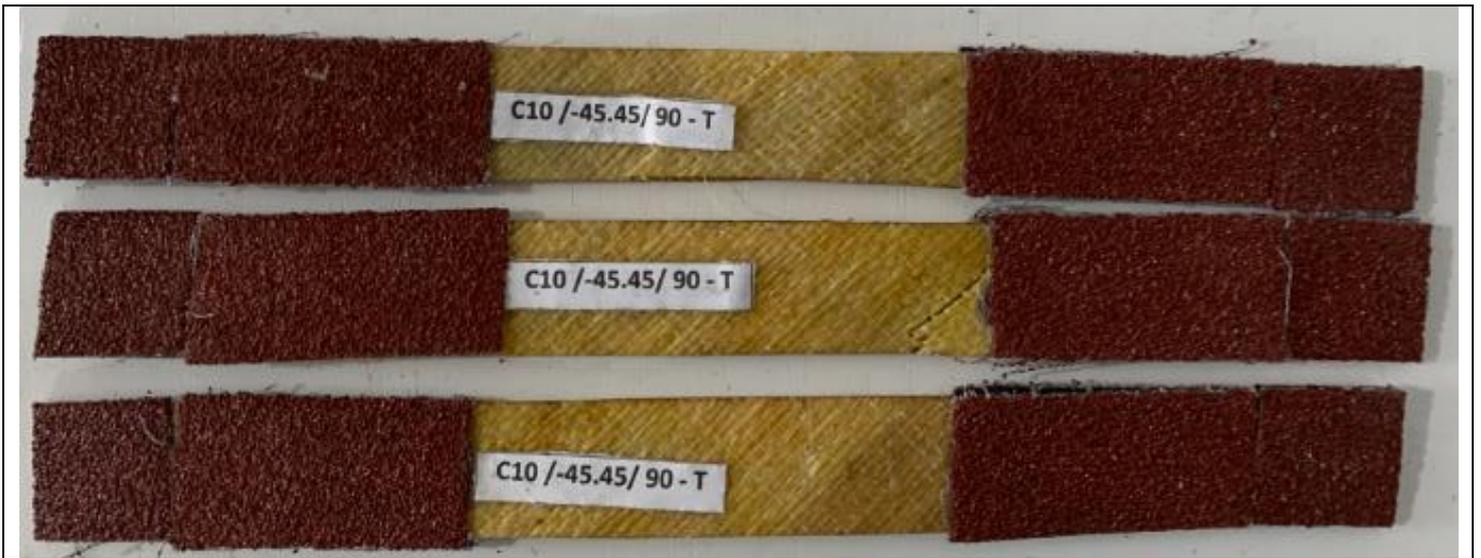
Aprobación y validación

Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	96	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	1.873	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	6083.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	3513.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

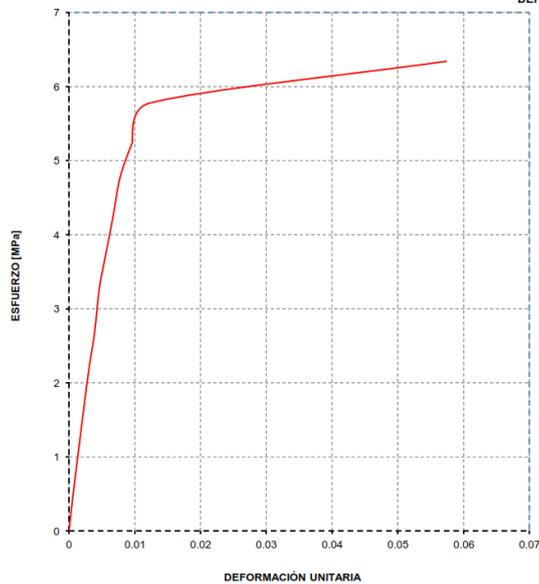
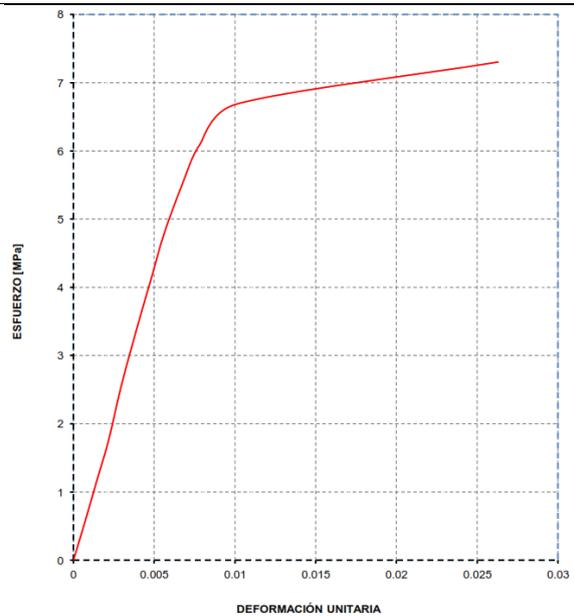
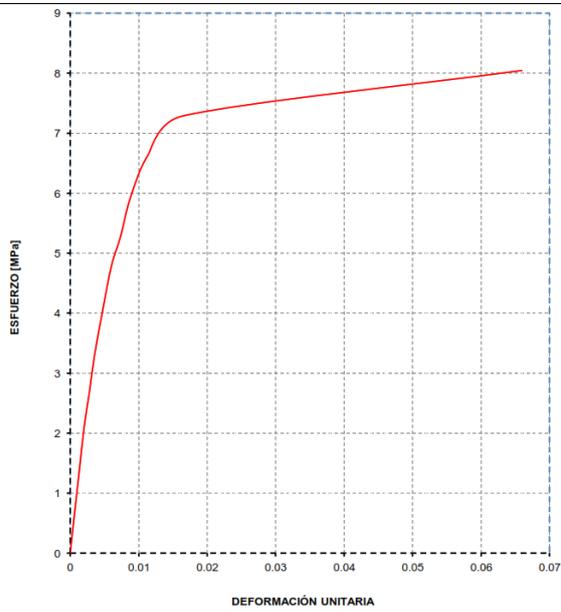
Fuente: Autor

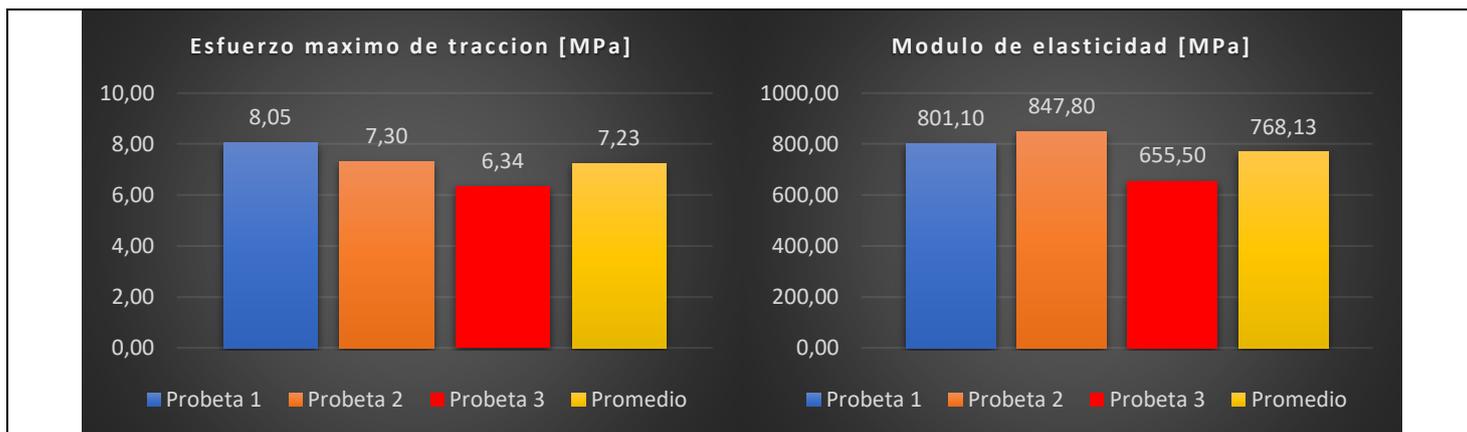
Tabla 27: Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a tracción

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C10/-45.45/90-T		
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión	
Orientación de fibra:	-45°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72	
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	370	5.6	8.05	801.1	3.36	GAT
2	330	6.6	7.3	847.8	4.27	GAT
3	360	5.6	6.34	655.5	1.31	SGM
Promedio	353.33	5.93	7.23	768.13	2.98	
PROBETAS ENSAYADAS						



GRAFICAS





OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- Las 2 primeras probetas presentan un tipo de fallo GAT el cual se trata de un tipo de fallo en el agarre superior mientras que la tercera probeta presenta una falla tipo SGM el cual es una larga división calibrada en la zona media.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	7.23	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	2.98	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	768.13	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	353.33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 28: Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a tracción

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS			
TRACCIÓN ASTM D3039			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C11/45.45/90-T
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B

Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

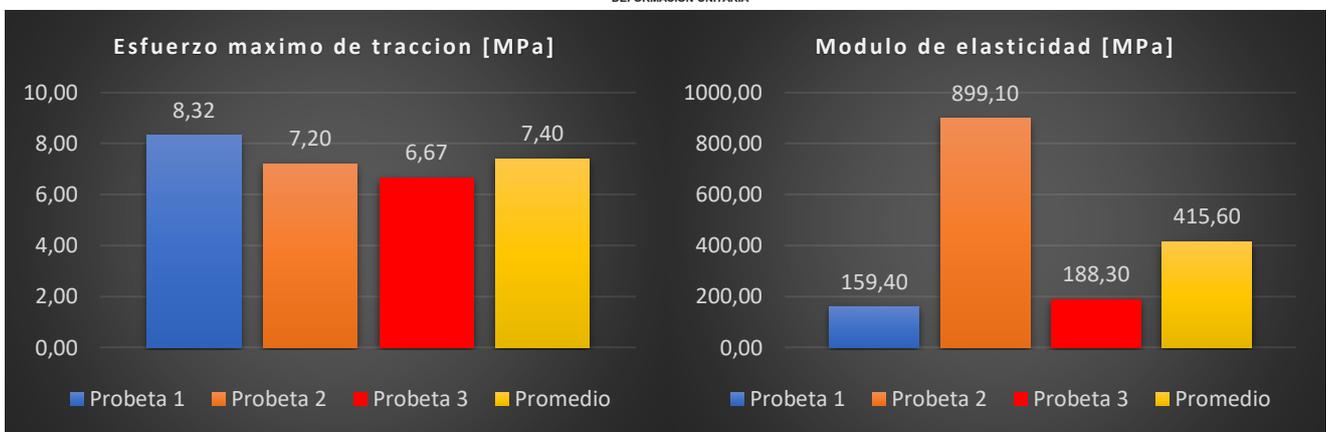
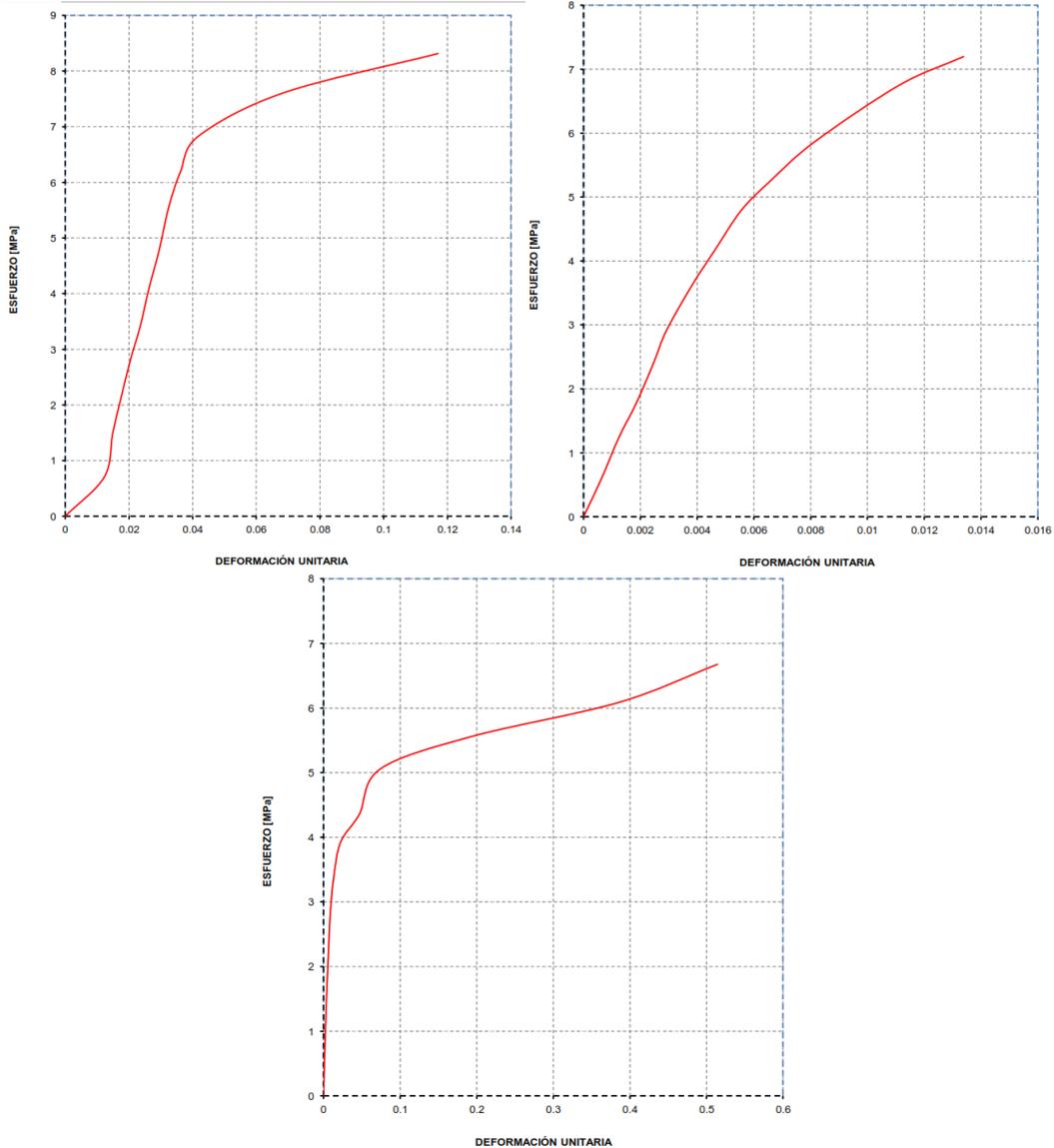
RESULTADOS

N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	360	7	8.32	159.4	3.84	LAT
2	330	5.7	7.2	899.1	1.72	LAT
3	300	4.10	6.67	188.3	10.04	LAT
Promedio	330	5.6	7.396	415.6	5.2	

PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- Las tres probetas muestran un tipo de fallo LAT esto quiere decir que se produce un fallo en la zona lateral del agarre superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	7.396	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	5.2	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	415.6	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	330	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

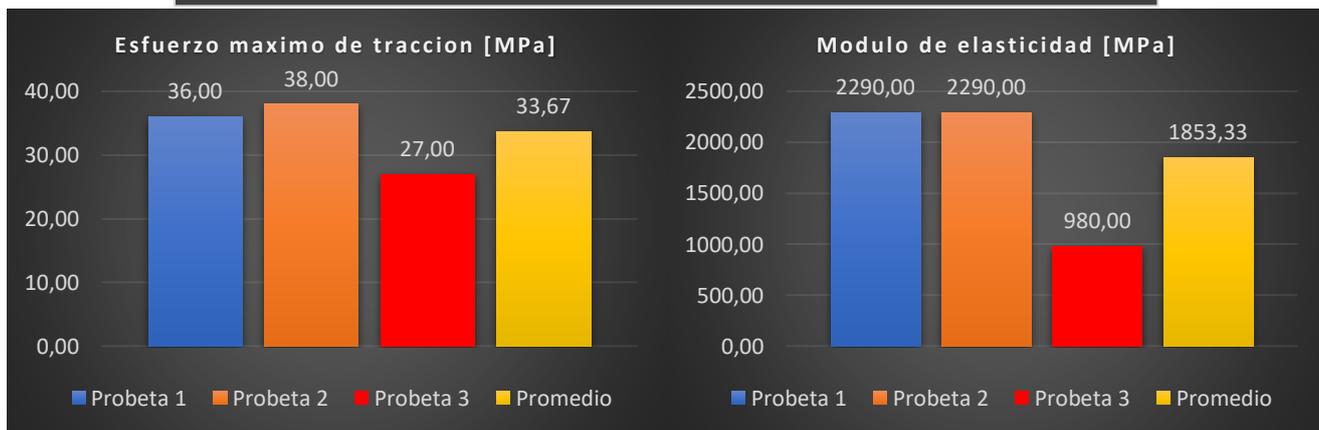
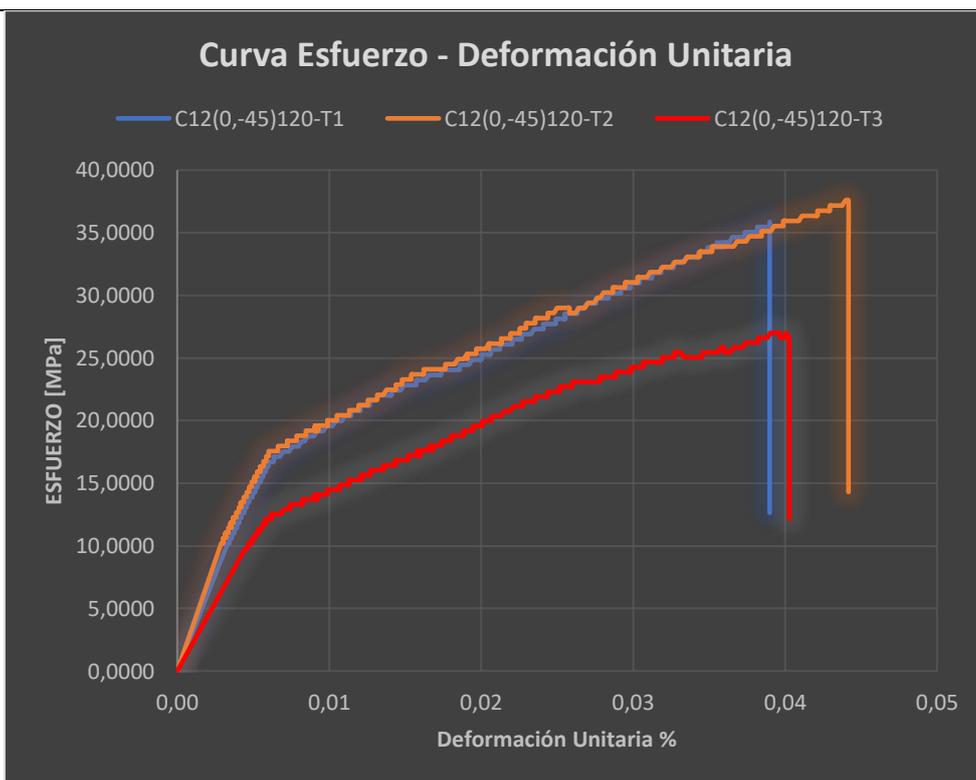
Fuente: Autor

Tabla 29: Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a tracción

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:		Experimental		Codificación:		C12/0.-45/120-T	
Fecha de ejecución:		07/05/2022		Equipo:		Máquina Universal de Ensayos WAW600B	
Realizado por:		Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:		LenMay-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión		
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72		
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas		Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1		1760	19	36	2290	1.1	LGM
2		1840	19	38	2290	3.18	LGM
3		1380	15	27	980	1.56	LAT
Promedio		1660	17.66	33.66	1853.33	1.946	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- Las dos primeras probetas presentan un tipo de fallo LGM el cual se trata de un fallo lateral calibrado en la zona media mientras que la tercera probeta sufrió un tipo de fallo LAT el cual trata de un tipo de fallo lateral en el agarre superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	33.66	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	1.946	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	1853.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1660	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

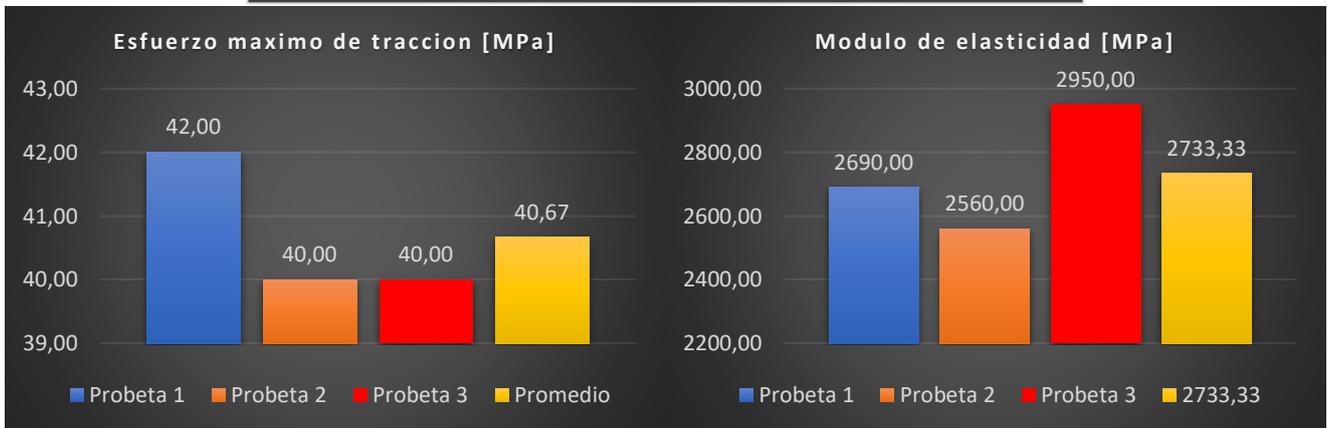
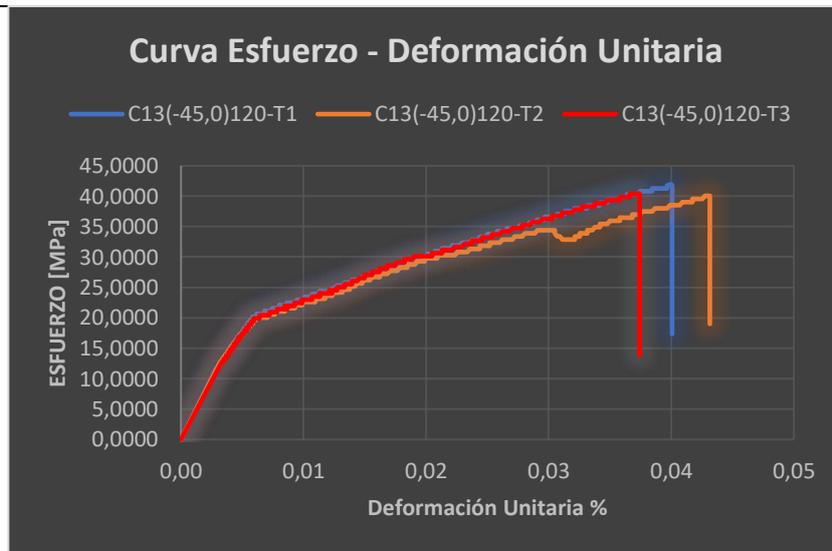
Fuente: Autor

Tabla 30: Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a tracción

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA							
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C13/-45.0/120-T			
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17		
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión		
Orientación de fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72		
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	
1	1780	22	42	2690	0.24	LIT	
2	1560	21	40	2560	0.32	LAT	
3	1580	21	40	2950	0.9	AGM	
Promedio	1640	21.33	40.66	2733.33	0.486		
PROBETAS ENSAYADAS							



GRAFICAS



OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- En la primera probeta se produce un tipo de fallo LIT el cual es un daño lateral dentro de la empuñadura en la zona superior

Valores promedio

Aprobación y validación

Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	40.66	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	0.486	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	2733.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1640	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

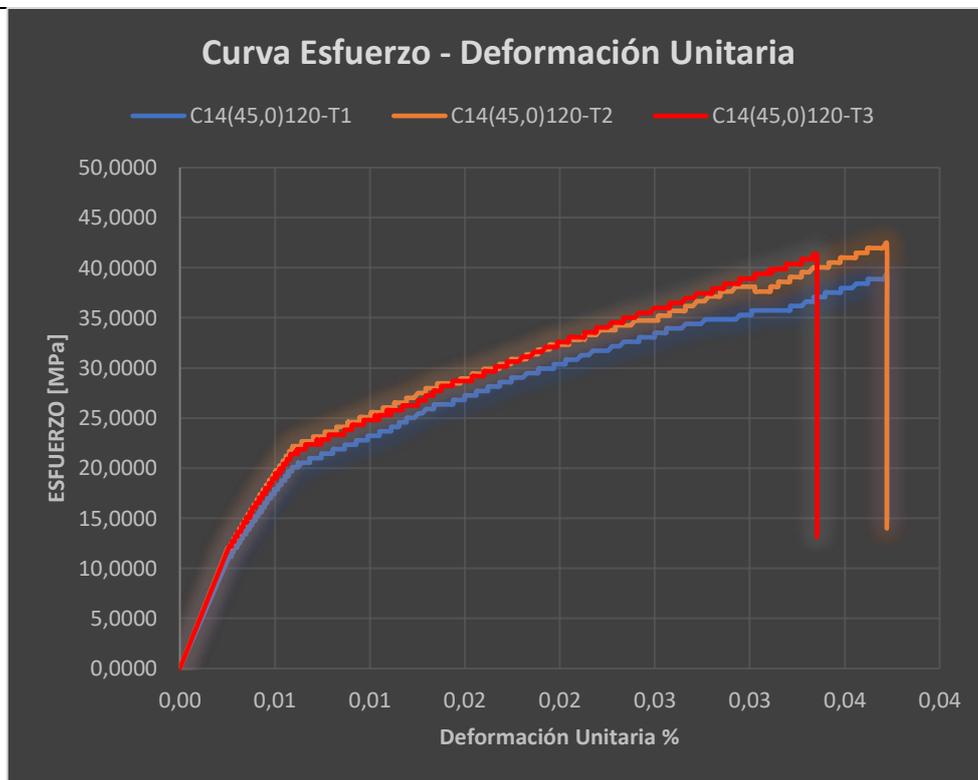
Fuente: Autor

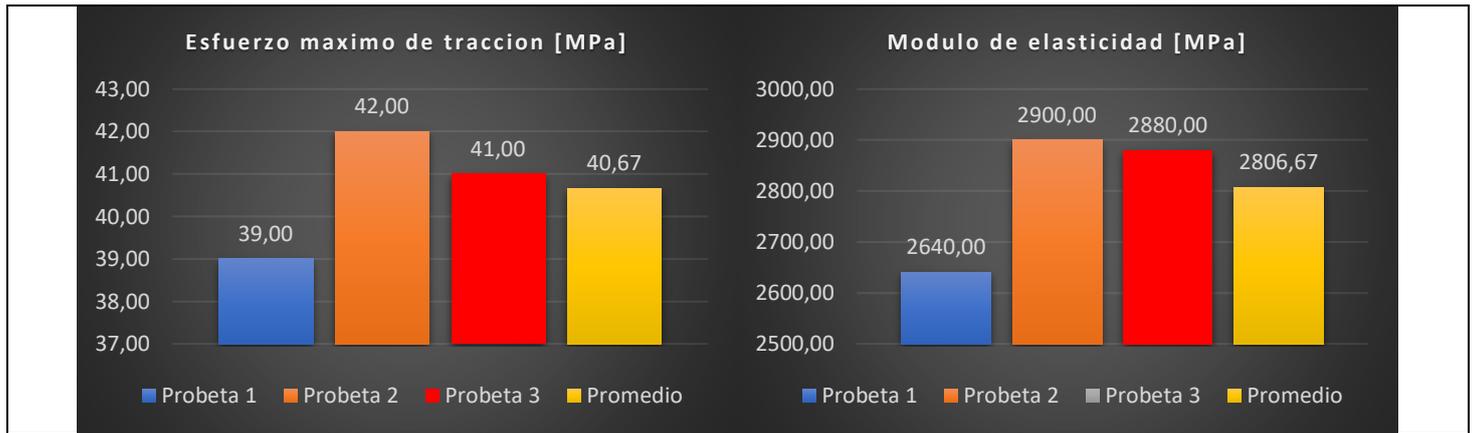
Tabla 31: Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a tracción

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:		Experimental		Codificación:		C14/45.0/90-T	
Fecha de ejecución:		07/05/2022		Equipo:		Máquina Universal de Ensayos WAW600B	
Realizado por:		Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:		LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:		Resina Epoxi	Norma:		ASTM D3039	Número de probetas: 3	
Marca:		Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):		250*25*e	Peso de la matriz (gr): 17	
Refuerzo:		Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):		120°	Estratificación: Por Infusión	
Orientación de fibra:		45°, 0°	Orden de capas:		FCH+FCH	Espesor promedio: 1.72	
Peso de la fibra (gr):		17.86	Velocidad de ensayo:		2mm/min	Tiempo de curado: 2h en horno	
RESULTADOS							
N° de probetas		Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1		1760	22	39	2640	1.48	LAT
2		1760	24	42	2900	0.22	LAT
3		1700	23	41	2880	1.3	LAT
Promedio		1740	23	40.66	2806.66	1	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRAFICAS





OBSERVACION

- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- En este caso las tres probetas de esta capa sufrieron un daño LAT el cual se trata de un tipo de fallo lateral en el agarre superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	40.66	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	1	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	2806.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1740	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

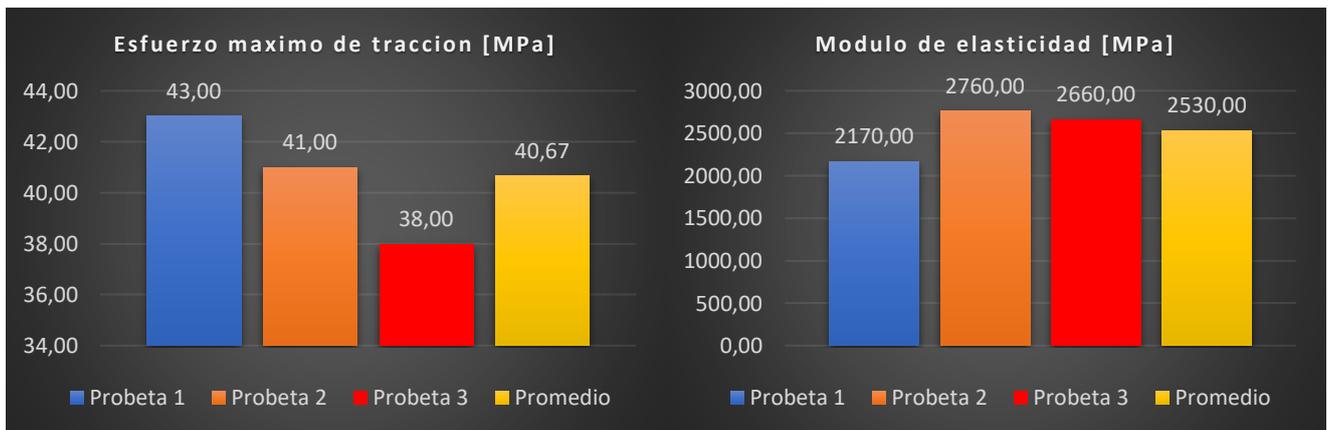
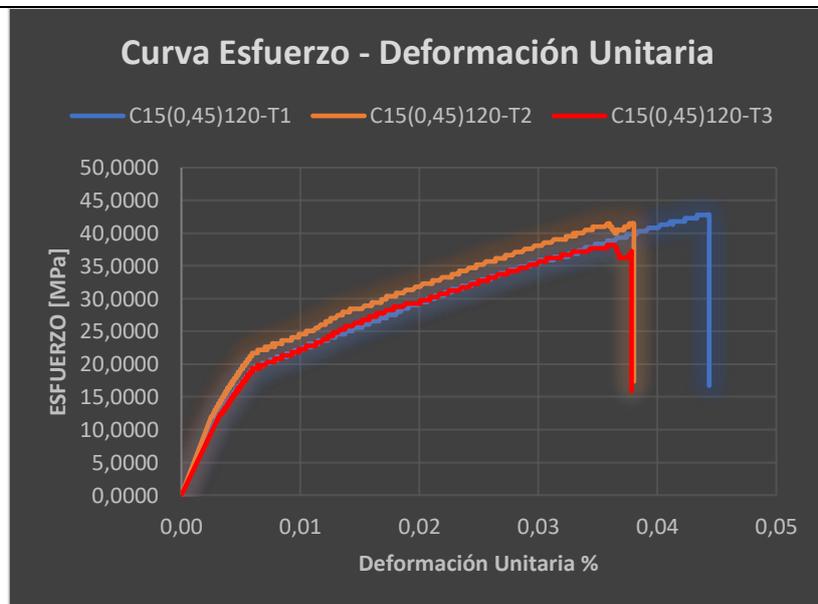
Fuente: Autor

Tabla 32: Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a tracción

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS				
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:		Experimental		Codificación: C15/0.45/120-T		
Fecha de ejecución:		07/05/2022		Equipo: Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:		Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por: Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:		LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	17	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión	
Orientación de fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.72	
Peso de la fibra (gr):	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1740	22	43	2170	0.86	LGM
2	1720	23	41	2760	2.54	LGM
3	1540	21	38	2660	1.42	LAT
Promedio	1666.66	22	40.66	2530	1.61	
PROBETAS ENSAYADAS						



GRAFICAS



OBSERVACION

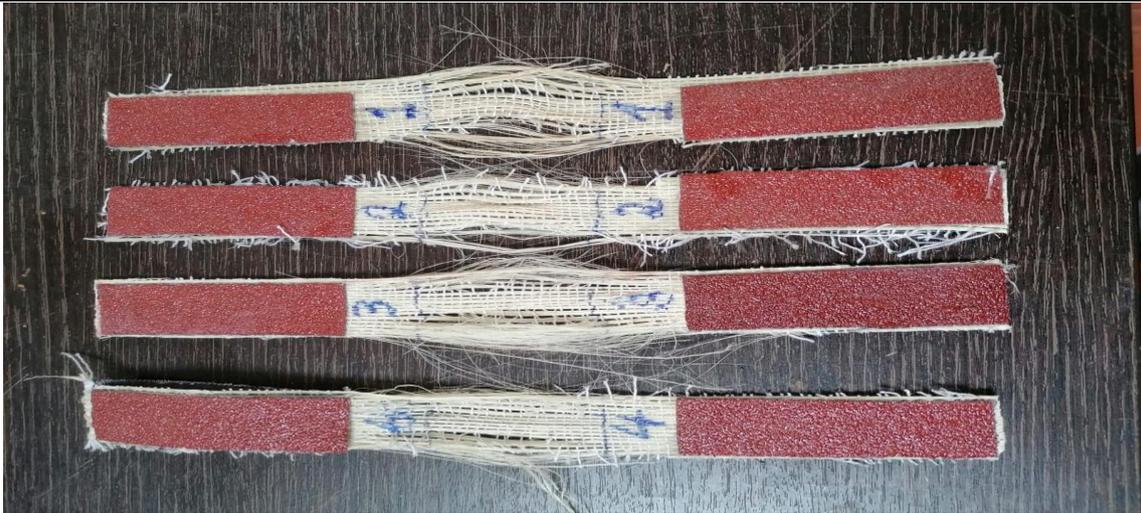
- El refuerzo conjuntamente con la matriz se acopla de una manera uniforme y a su vez brinda una mejor adherencia.
- El tipo de fallo que se produce en las dos primeras probetas es LGM el cual es un fallo en la parte lateral en la zona calibrada en la parte media de la misma, mientras que la tercera probeta presenta un fallo LAT el cual es un tipo de fallo lateral en el agarre superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	40.67	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	1.6	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	2530	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1666.66	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 33: Ficha técnica del material compuesto, caso 0 a tracción

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:		Experimental		Codificación:		C0/0/0-T	
Fecha de ejecución:		07/05/2022		Equipo:		Máquina Universal de Ensayos WAW600B	
Realizado por:		Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:		Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:		LenMay-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:		Ninguna		Norma:		ASTM D3039	
Marca:		Ninguna		Dimensiones (mm):		250*25*e	
Refuerzo:		Fibra de chambira		Temperatura de curad (°C):		0°	
Orientación de fibra:		0°		Orden de capas:		FCH	
Peso de la fibra (gr):		7.5		Velocidad de ensayo:		2mm/min	
				Estratificación:		Por Infusión	
				Espesor promedio:		1	
				Tiempo de curado:		2h en horno	
RESULTADOS							
N° de probetas		Carga máxima (N)		Esfuerzo de fluencia (MPa)		Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	
				Módulo de elasticidad (MPa)		% Elongación	
						Tipo de fallo evaluado	
1		1280		44		86	
2		1420		52		103	
3		1320		48		93	
4		1160		38		74	
Promedio		1295		45.5		89	
						3370	
						3620	
						3530	
						3170	
						2.90	
						3.48	
						1.48	
						1.3	
						2.29	
PROBETAS ENSAYADAS							



GRAFICAS

Curva Esfuerzo - Deformación Unitaria



Esfuerzo maximo (MPa)



Modulo de Elasticidad (MPa)



OBSERVACION

- La fibra de chambira brinda excelentes propiedades al momento de ensayarla en tracción esto sucede a que las fibras se encuentran a 0° por lo que permite una mayor resistencia.
- Como se puede ver que las 4 probetas ensayadas presentan un tipo de fallo DGM el cual trata de la delaminación en los bordes de la zona calibrada en el punto medio.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	89	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
% Elongación (%):	2.29	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	3422.5	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	1295	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

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

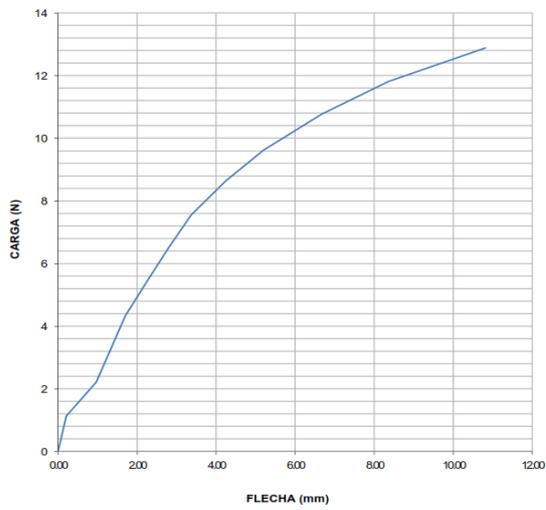
Tabla 34: Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a flexión

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
FLEXION_ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C1/0.-45/60-F		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMay-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	12.88	32.47	10.81	1040	BSM
2	14.62	33.26	9.79	1140	BSM
3	17.33	38.53	9.22	1450	BSM
Promedio	14.94	34.75	9.94	1210	
PROBETAS ENSAYADAS					

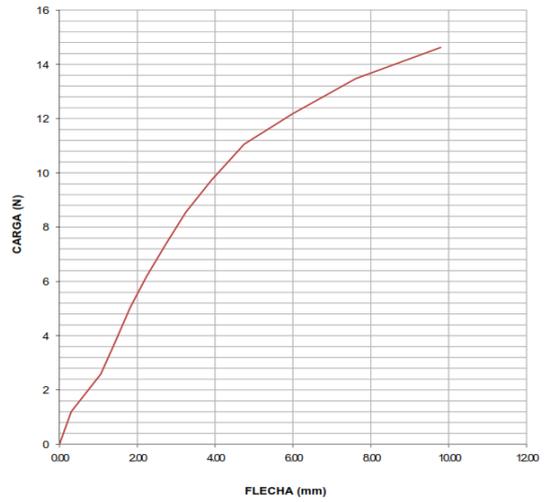


GRAFICAS

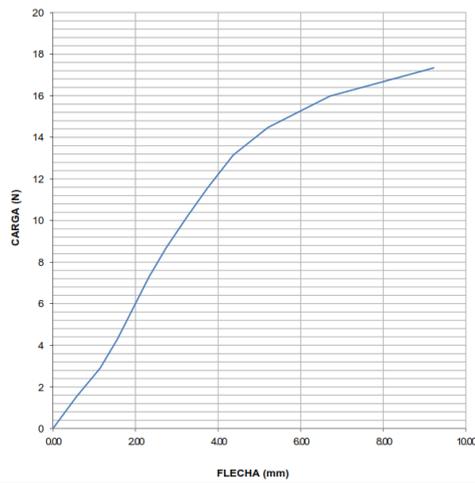
MUESTRA N°:1
 DESIGNACIÓN: C1/0.-45/60-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22

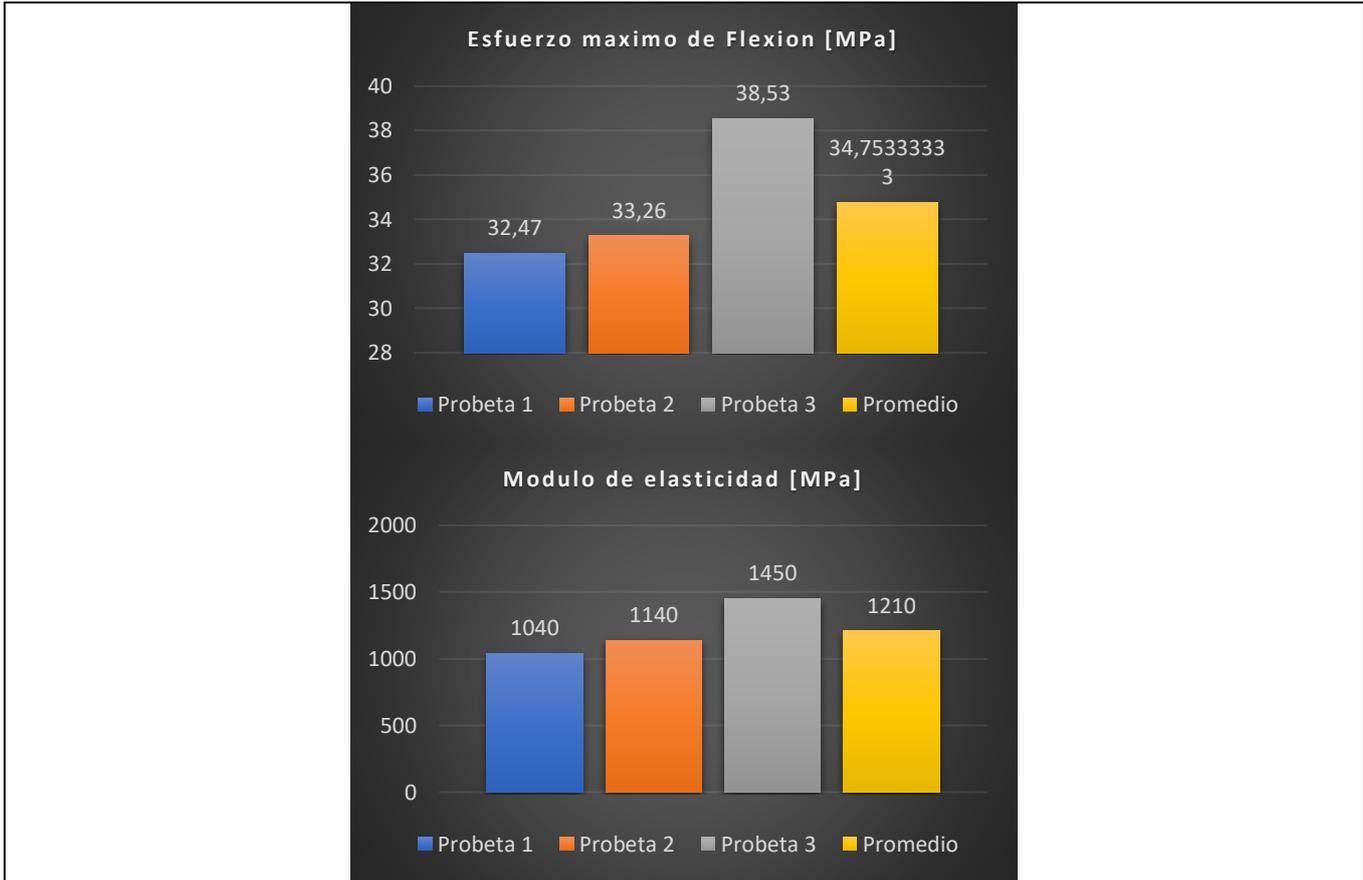


MUESTRA N°:2
 DESIGNACIÓN: C1/0.-45/60-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:3
 DESIGNACIÓN: C1/0.-45/60-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22





OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	34.753	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	9.94	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	1210	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	14.943	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 35: Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a flexión

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

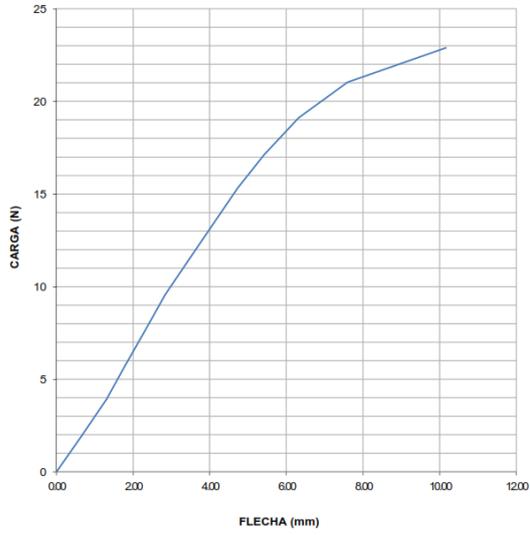
FLEXION_ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C2/-45.0/60-F	
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B	
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probetas	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de falla
Probeta 1	22.89	52.12	10.16	1910	BSM
Probeta 2	24.55	55.24	9.66	2460	BSM
Probeta 3	19.66	40.72	9.83	1990	BSM
Promedio	22.34	49.36	9.88	2120	
PROBETAS ENSAYADAS					
					

GRAFICAS

MUESTRA N°:4

DESIGNACIÓN: C2-45.0/60-F

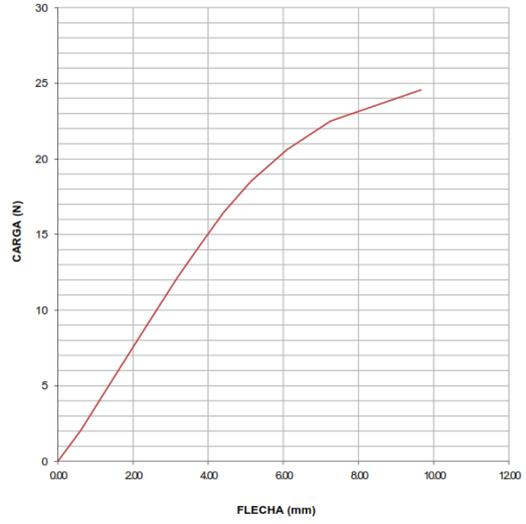
FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:5

DESIGNACIÓN: C2-45.0/60-F

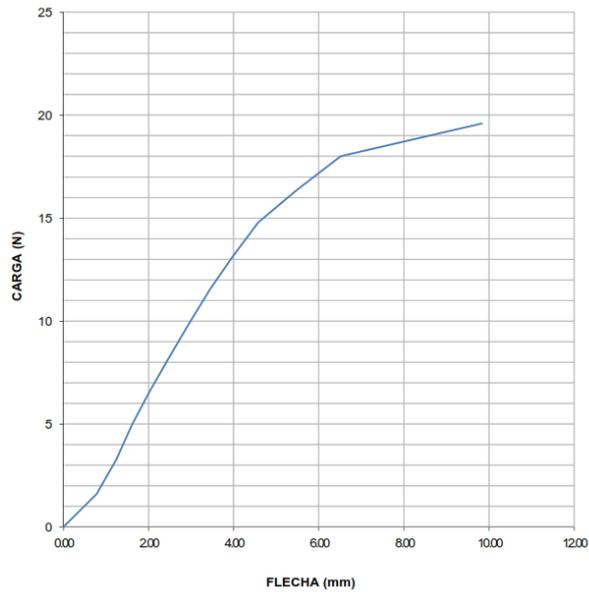
FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22

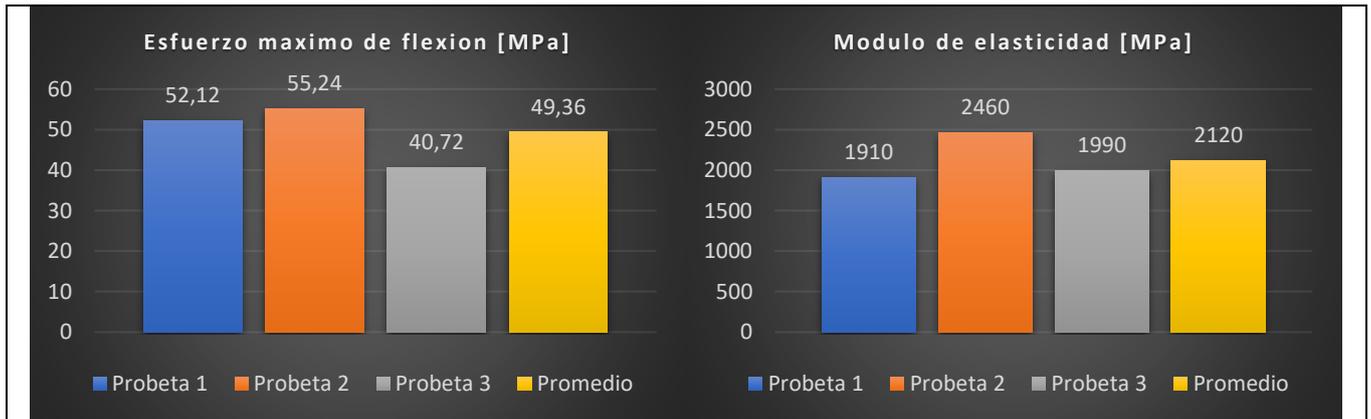


MUESTRA N°:6

DESIGNACIÓN: C2-45.0/60-F

FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22





OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	49.36	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	9.88	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	2120	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	22.34	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 36: Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a flexión

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
FLEXION ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C3/45.0/60-F		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

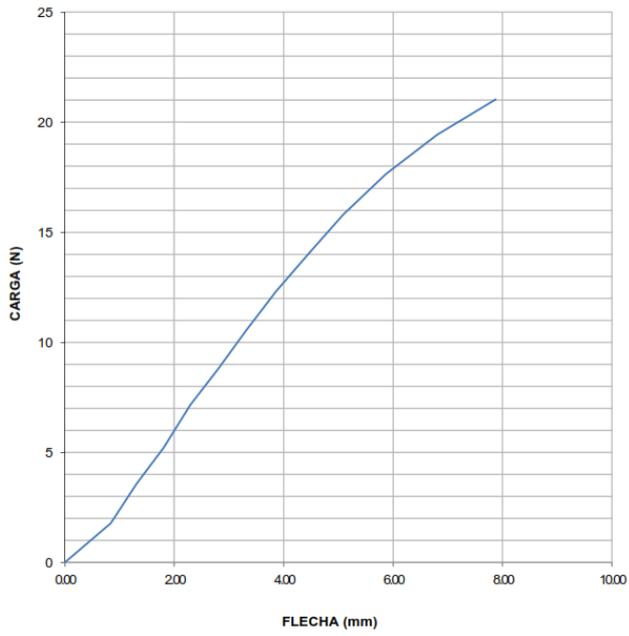
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	21.04	50.07	7.88	2510	BSM
Probeta 2	12.82	29.9	5.55	995	BSM
Probeta 3	23.8	45.31	8.85	1720	BSM
Promedio	19.22	41.76	7.42	1741.66	

PROBETAS ENSAYADAS

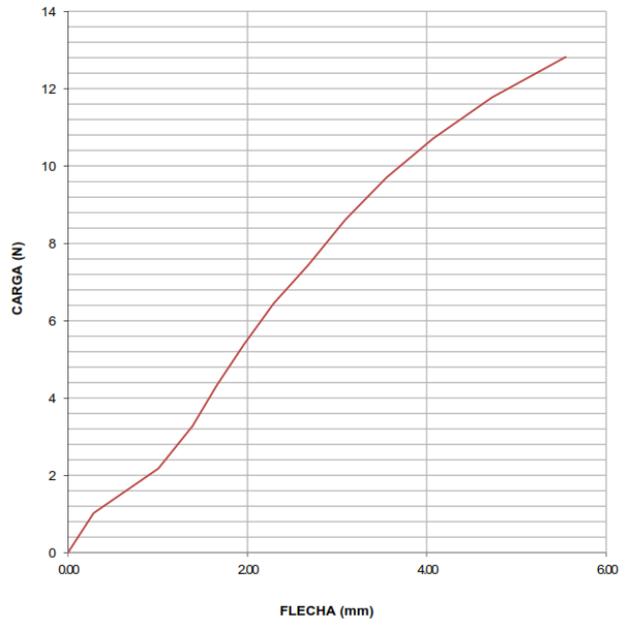


GRAFICAS

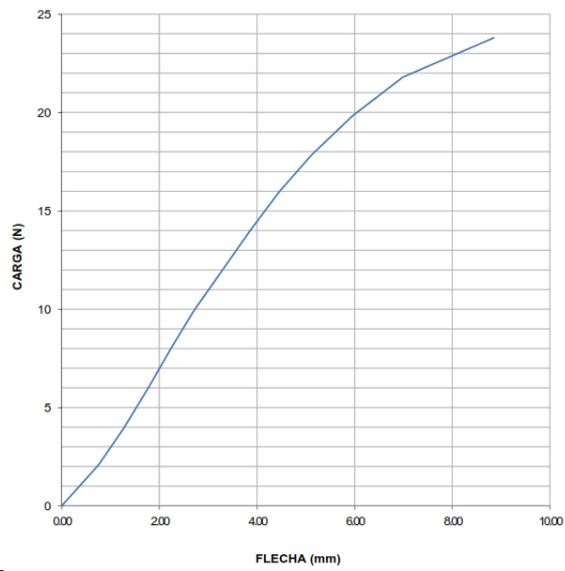
MUESTRA N°:7
DESIGNACIÓN:C3/45.0/60-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22

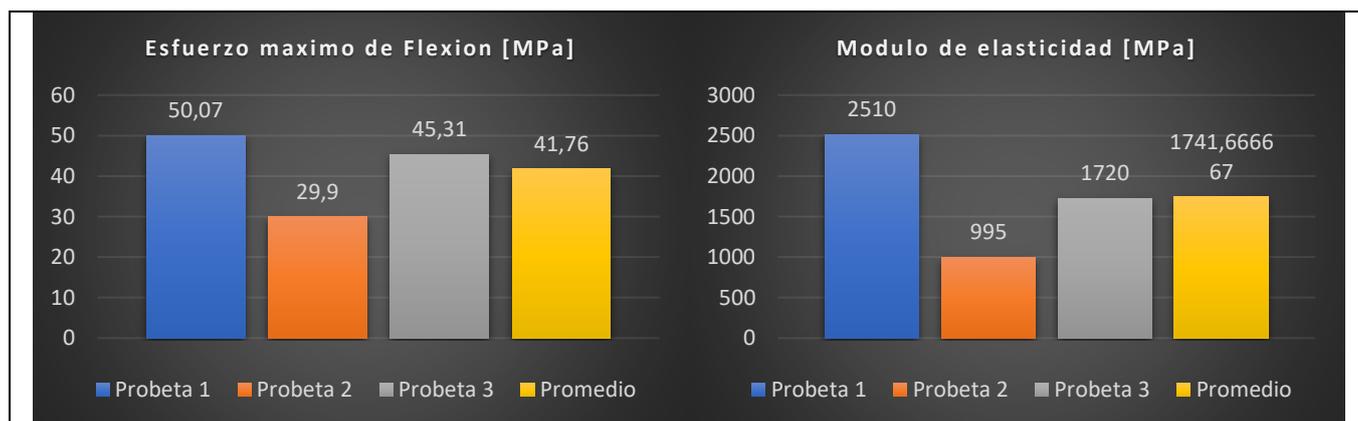


MUESTRA N°:8
DESIGNACIÓN:C3/45.0/60-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



MUESTRA N°:9
DESIGNACIÓN:C3/45.0/60-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22





OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	41.76	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	7.42	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	1741.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	19.22	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 37: Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a flexión

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
FELXION_ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C4/0.45/60-F		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

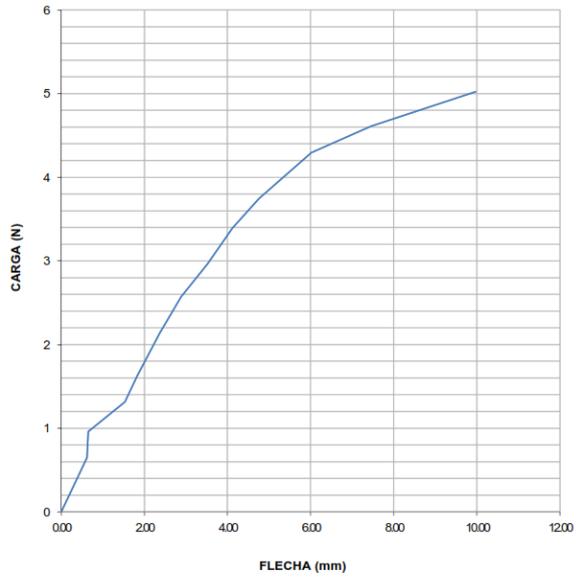
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	5.02	10.67	9.97	5730	BSM
Probeta 2	4.75	10.77	9.45	4170	BSM
Probeta 3	6.16	14.12	10.75	770	BSM
Promedio	5.31	11.85	10.05	3556.66	

PROBETAS ENSAYADAS

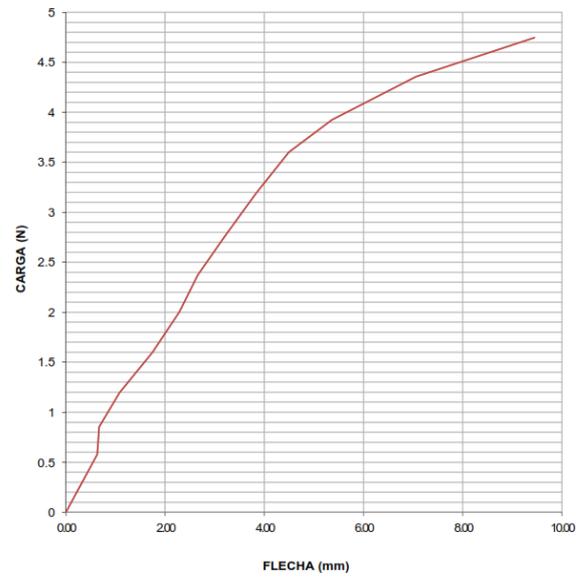


GRAFICAS

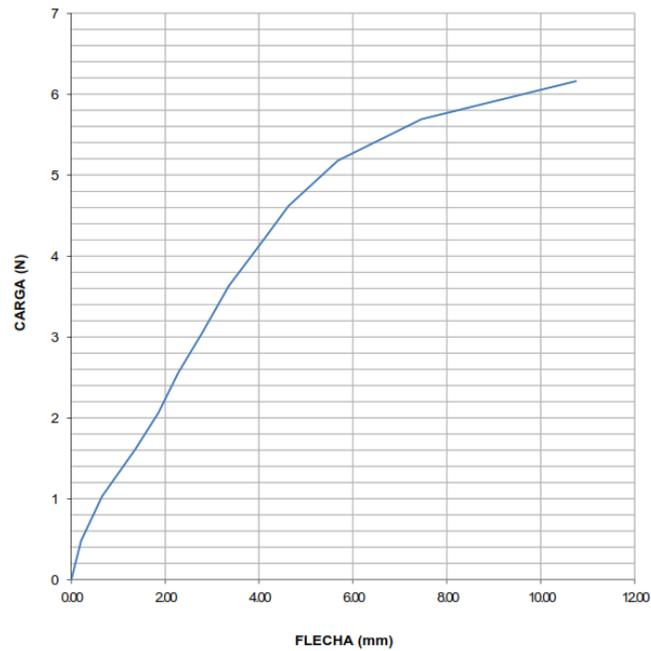
MUESTRA N°:10
DESIGNACIÓN:C4/0.45/60-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22

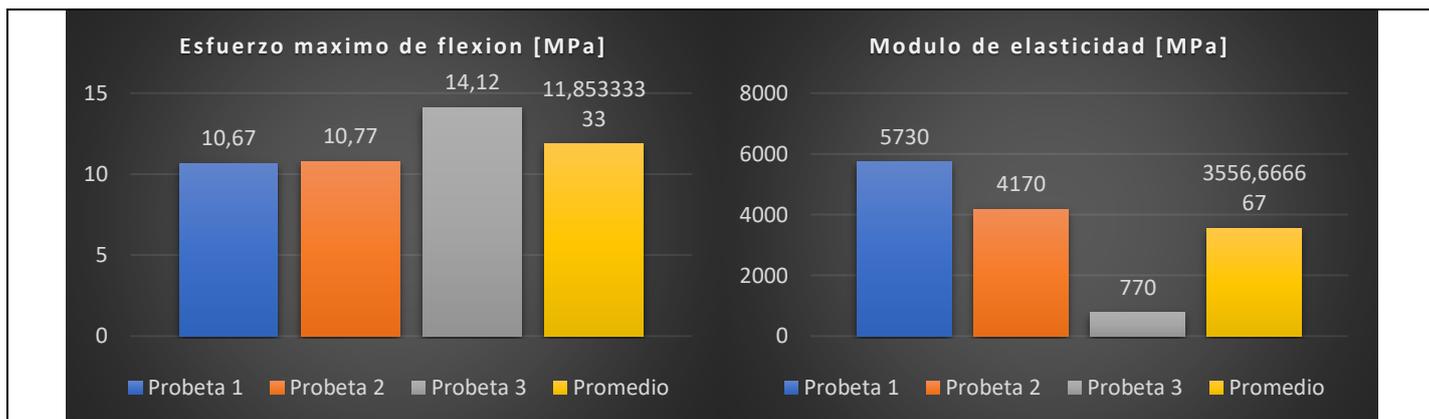


MUESTRA N°:11
DESIGNACIÓN:C4/0.45/60-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



MUESTRA N°:12
DESIGNACIÓN:C4/0.45/60-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22





OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	11.85	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	10.05	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	3556.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	5.31	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 38: Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a flexión

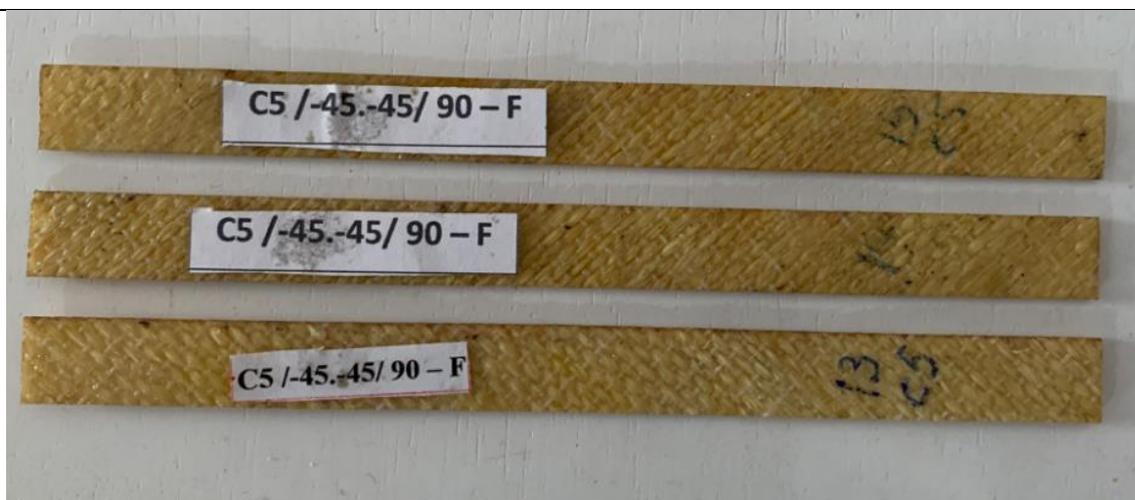
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
FLEXION_ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C5/-45.-45/90-F		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3

Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

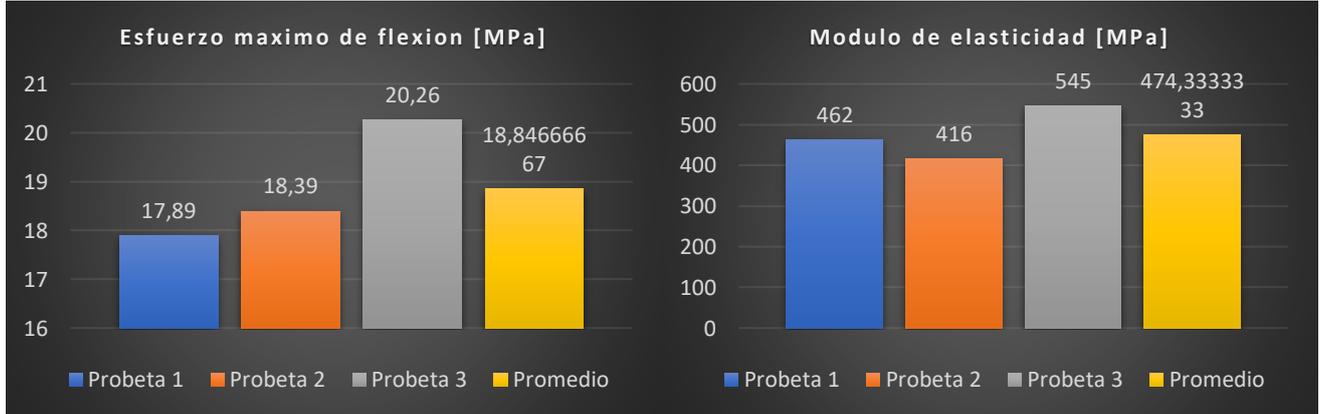
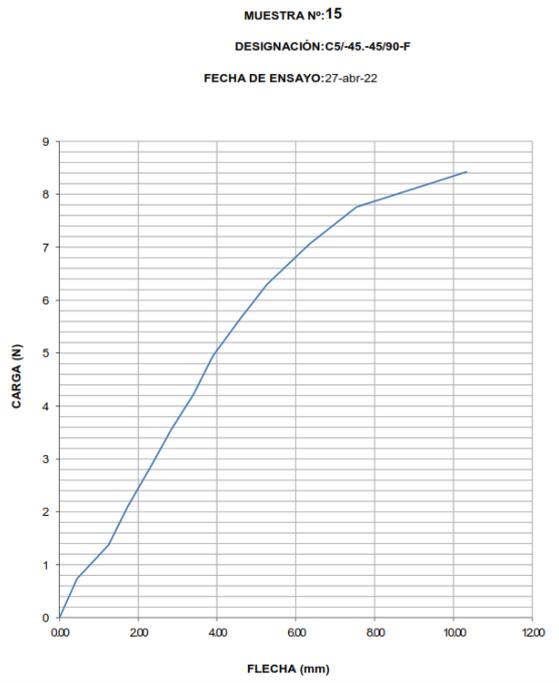
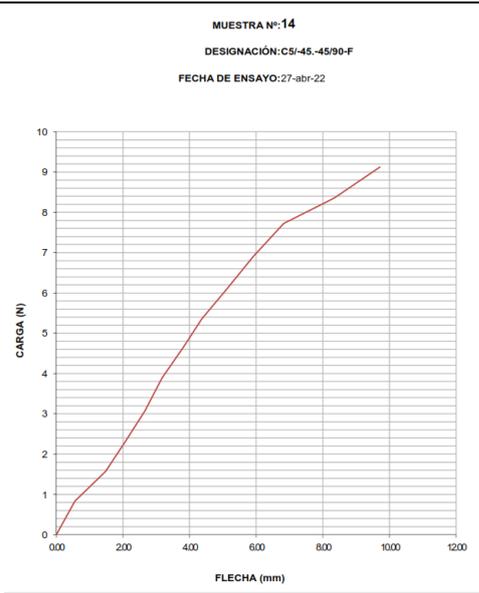
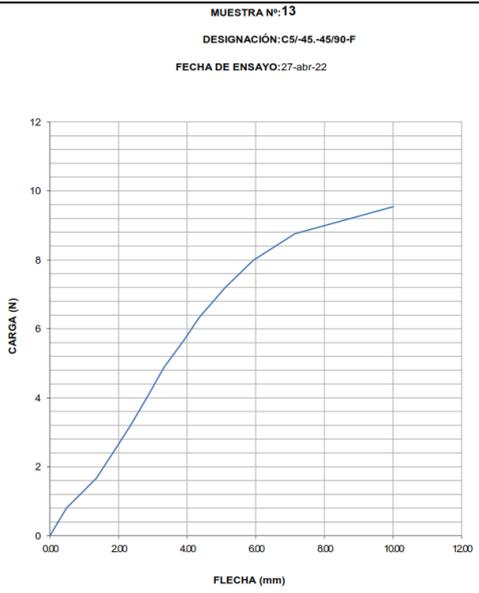
RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	9.55	17.89	10.01	462	BSM
Probeta 2	9.12	18.39	9.71	416	BSM
Probeta 3	8.43	20.26	10.33	545	BSM
Promedio	9.03	18.48	10.01	474.33	

PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	18.48	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	10.01	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	474.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	9.03	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

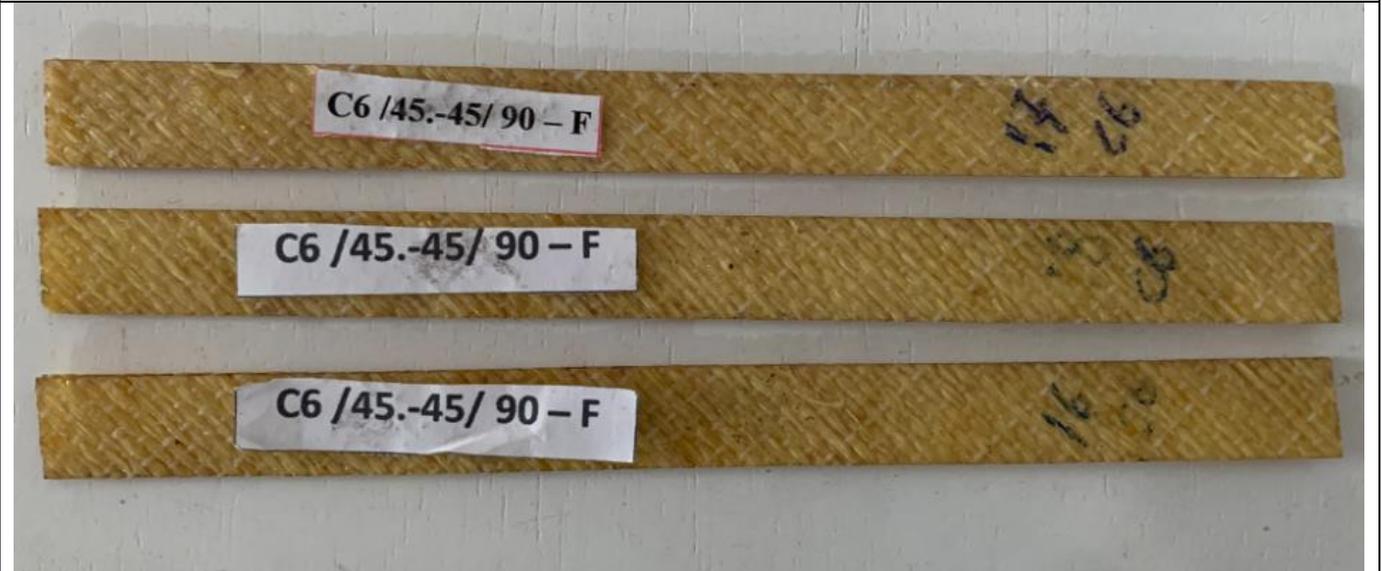
Fuente: Autor

Tabla 39: Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a flexión

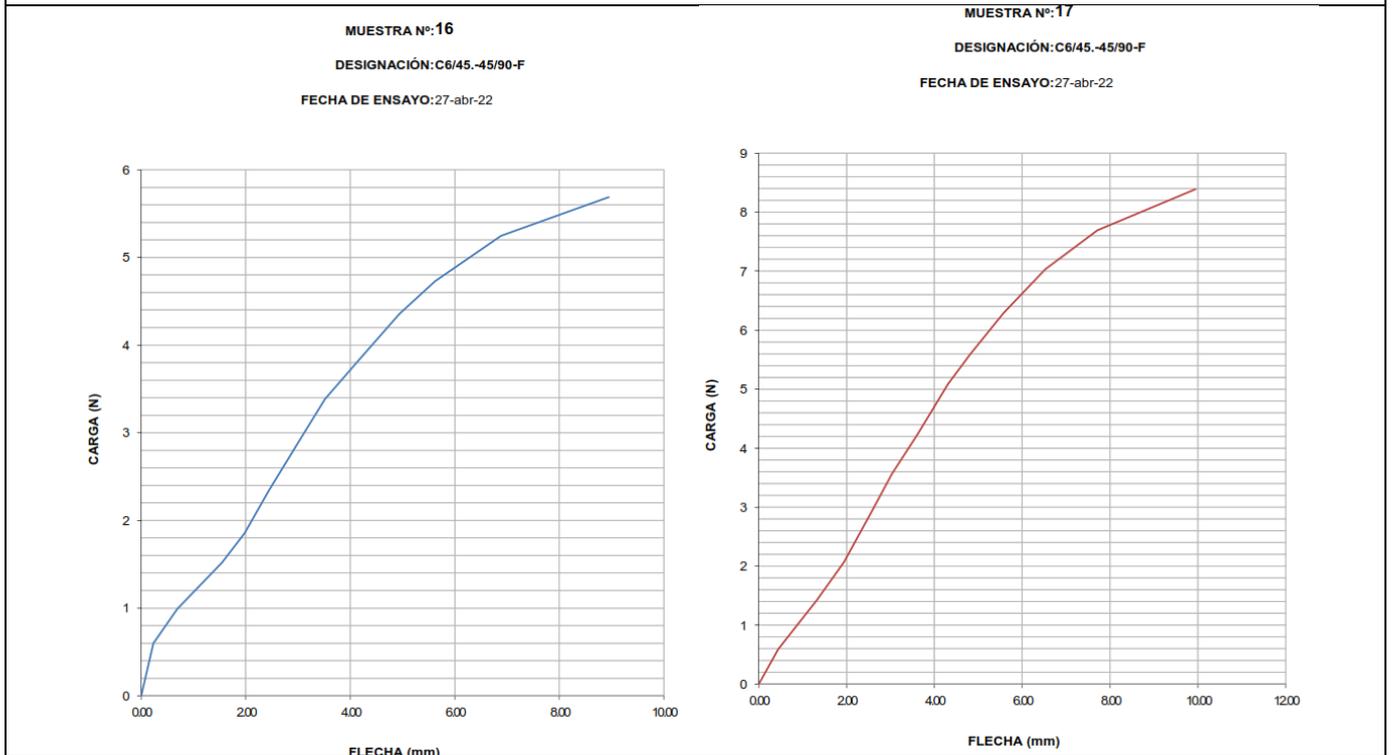
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
FLEXION_ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C6/45.-45/90-F		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					

N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	5.69	13.99	8.95	596	BSM
Probeta 2	8.39	18.98	9.95	584	BSM
Probeta 3	7.31	14.76	8.7	751	BSM
Promedio	7.13	15.91	9.2	643.66	

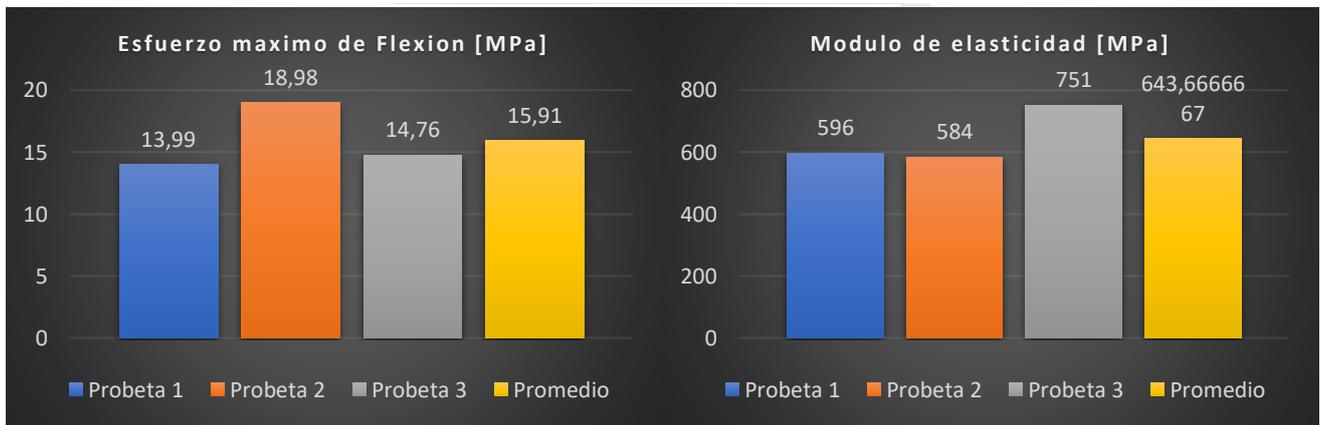
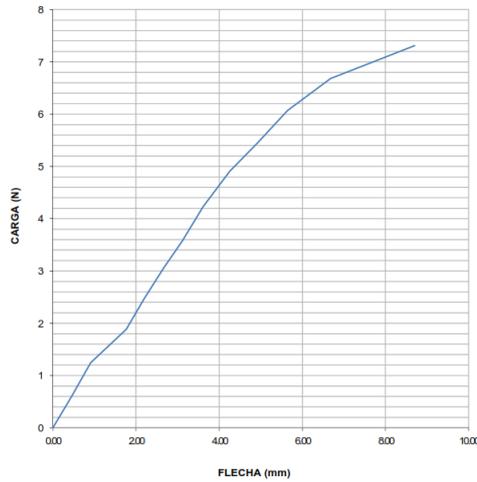
PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



MUESTRA N°: 18
 DESIGNACIÓN: C6/45-45/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	15.91	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	9.2	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	643.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	7.13	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 40: Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a flexión



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

FLEXION_ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C7/0.0/90-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

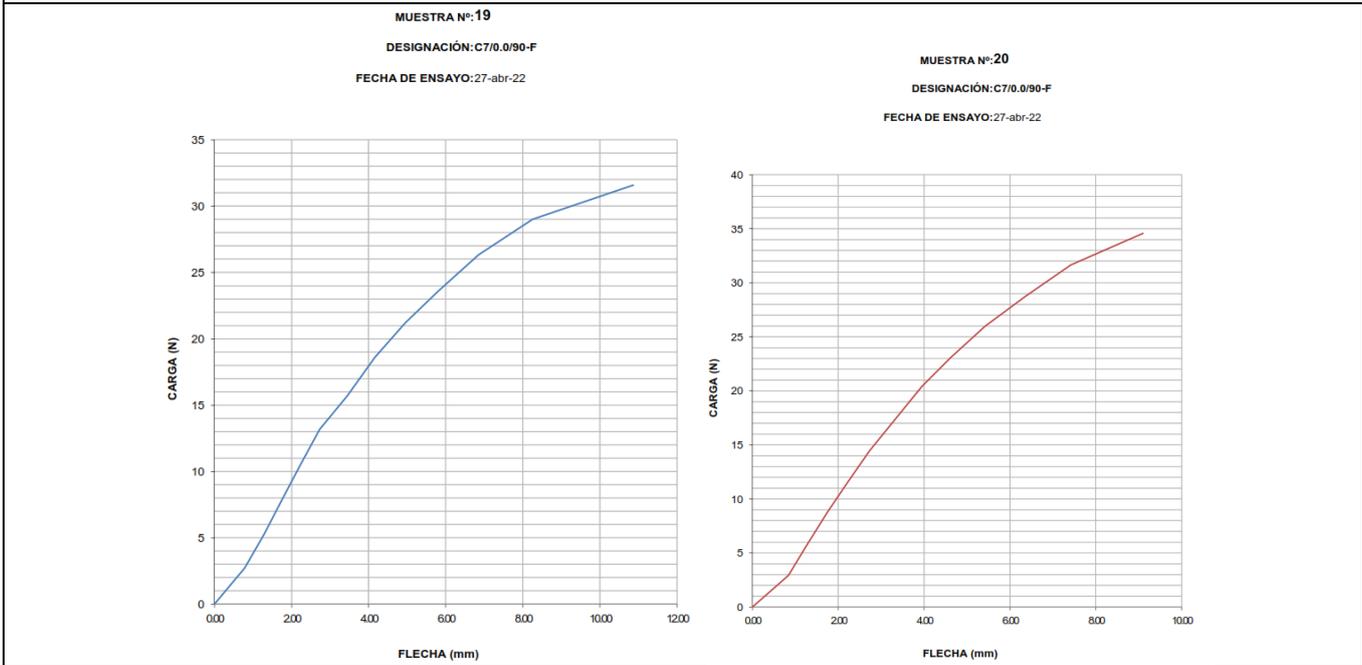
RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	31.58	95.27	10.87	4880	BSM
Probeta 2	34.57	109.94	9.10	6780	BSM
Probeta 3	30.54	88.22	10.41	5070	BSM
Promedio	32.2	97.81	10.12	5576.66	

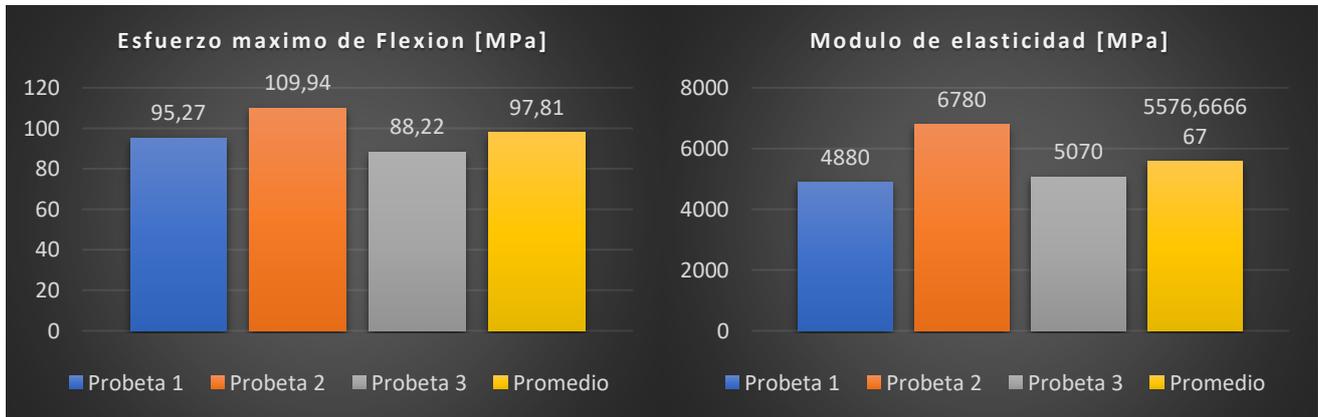
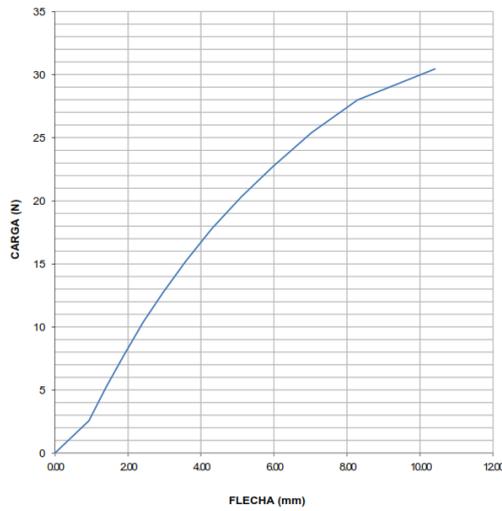
PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



MUESTRA N°:21
 DESIGNACIÓN: C7/0.0/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	97.81	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	10.12	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	5576.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	32.2	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 41: Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a flexión



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

FLEXION_ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C8/0.0/90-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

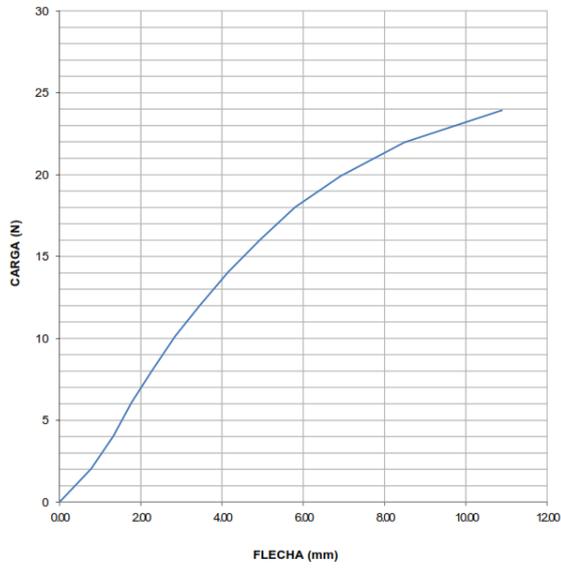
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	23.93	80.73	10.88	4050	BSM
Probeta 2	29.17	99.86	10.18	4910	BSM
Probeta 3	27.33	84.34	9.19	5250	BSM
Promedio	26.81	97.81	10.12	5576.66	

PROBETAS ENSAYADAS

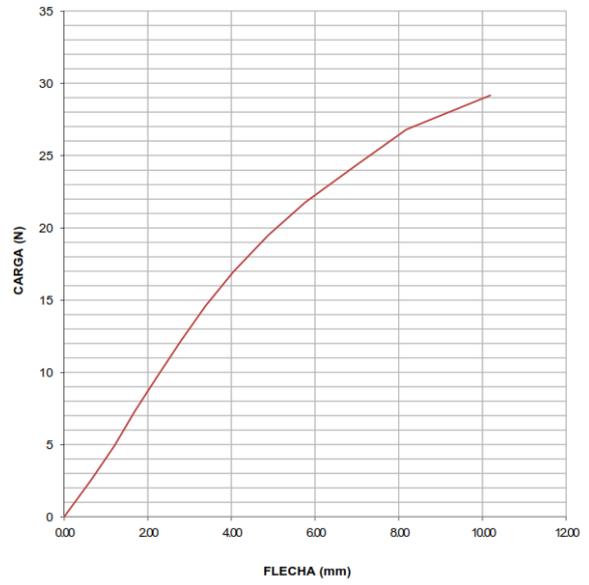


GRAFICAS

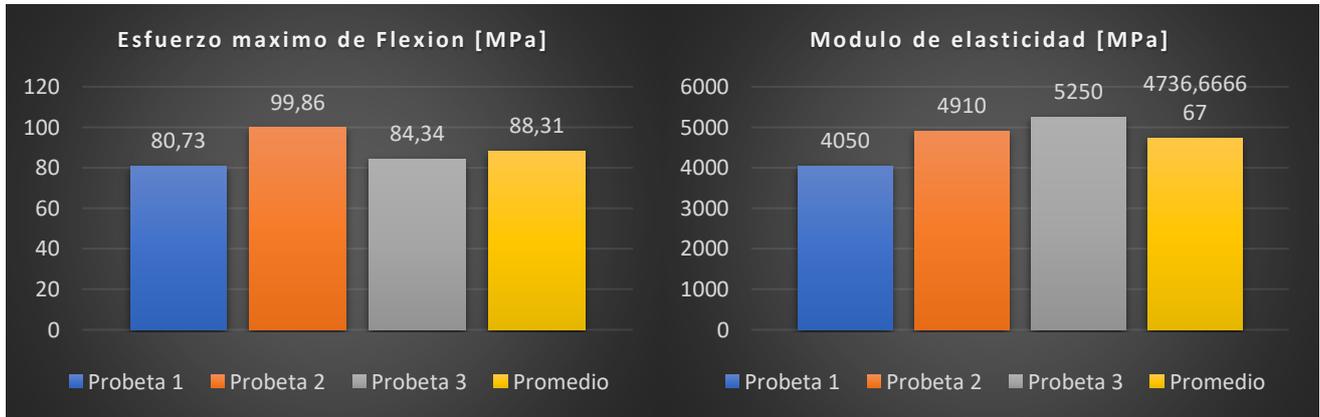
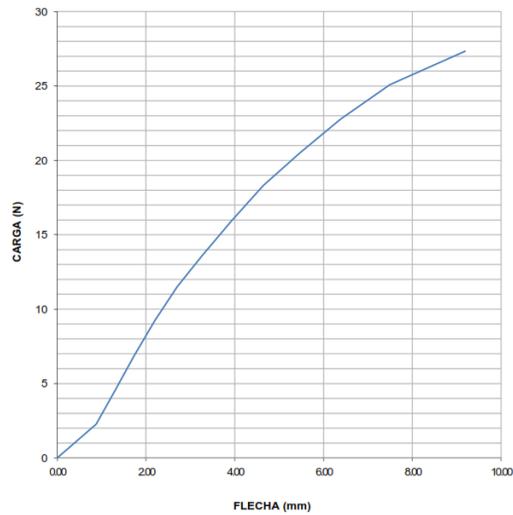
MUESTRA N°:22
 DESIGNACIÓN: C8/0.0/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:23
 DESIGNACIÓN: C8/0.0/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:24
 DESIGNACIÓN:CB/O.0/90-F
 FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	97.81	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	10.12	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	5576.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	26.81	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 42: Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a flexión



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

FLEXION_ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C9/0.0/90-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

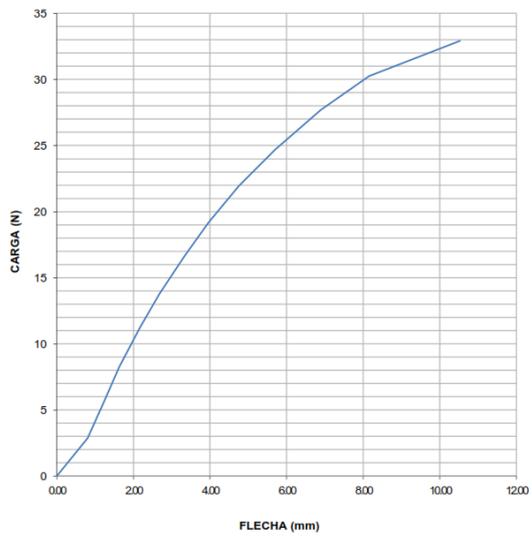
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	32.91	94.91	10.53	5840	BSM
Probeta 2	27.73	92.35	10.50	5550	BSM
Probeta 3	25.19	88.7	12.07	5050	BSM
Promedio	28.61	91.98	11.03	5480	

PROBETAS ENSAYADAS

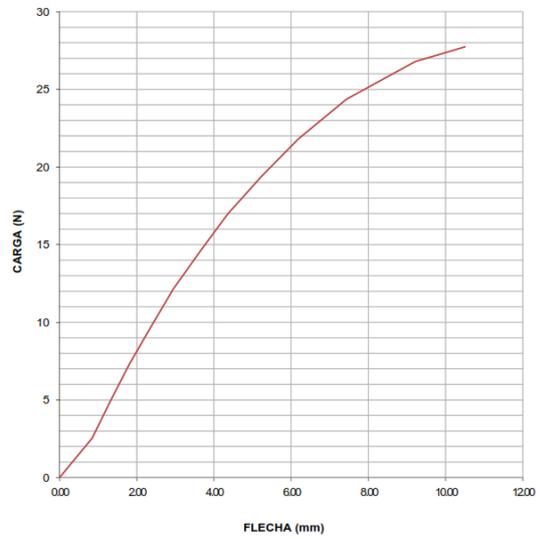


GRAFICAS

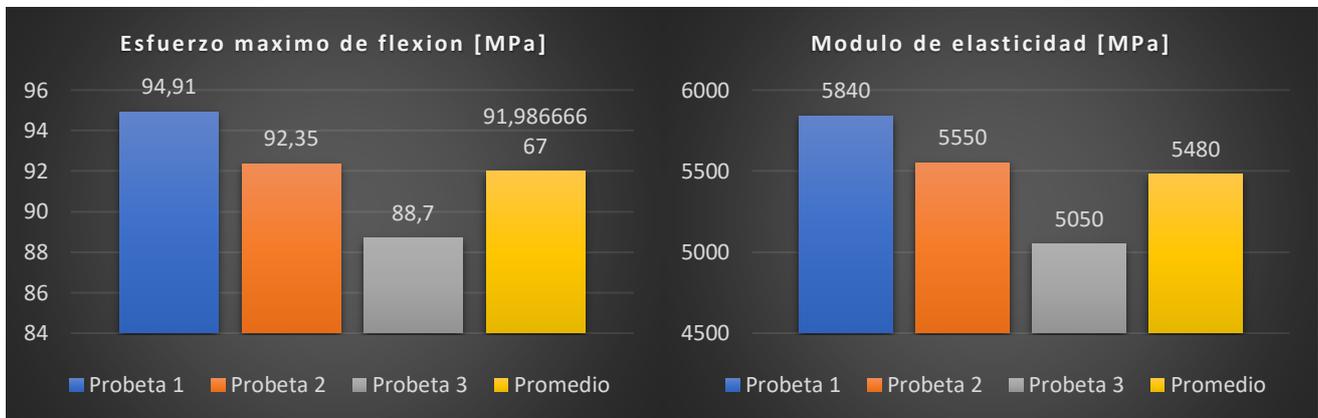
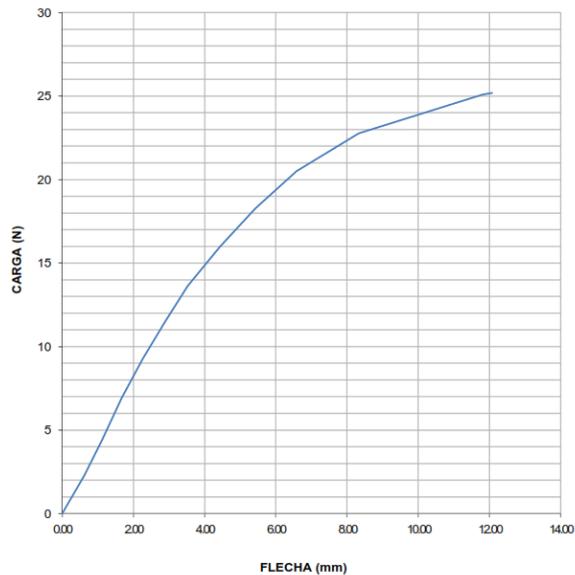
MUESTRA N°:25
 DESIGNACIÓN: C9/0.0/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:26
 DESIGNACIÓN: C9/0.0/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:27
 DESIGNACIÓN: C9/0.0/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	91.98	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	11.03	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	5480	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	28.61	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 43: Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a flexión



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

FLEXION_ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C10/-45.45/90-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

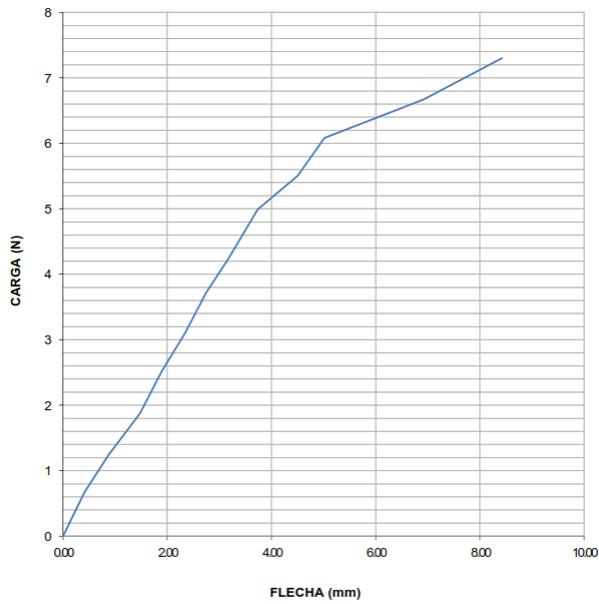
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	7.30	22.76	8.43	1240	BSM
Probeta 2	8.47	15.37	9.73	357	BSM
Probeta 3	9.02	17.51	8.94	521	BSM
Promedio	8.26	18.54	9.03	706	

PROBETAS ENSAYADAS

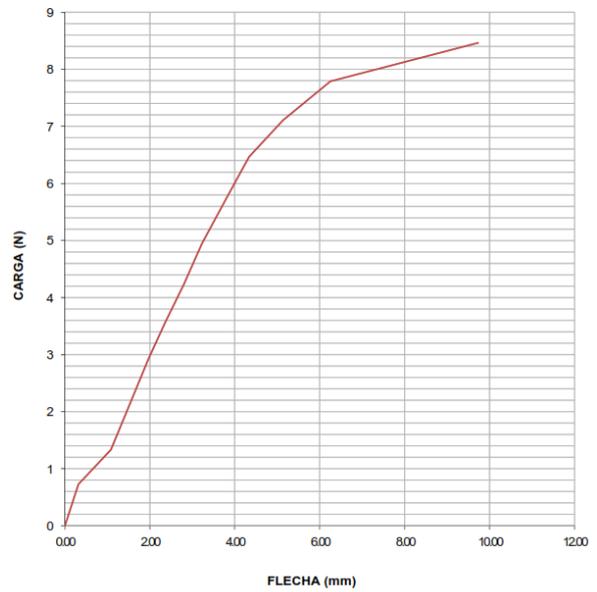


GRAFICAS

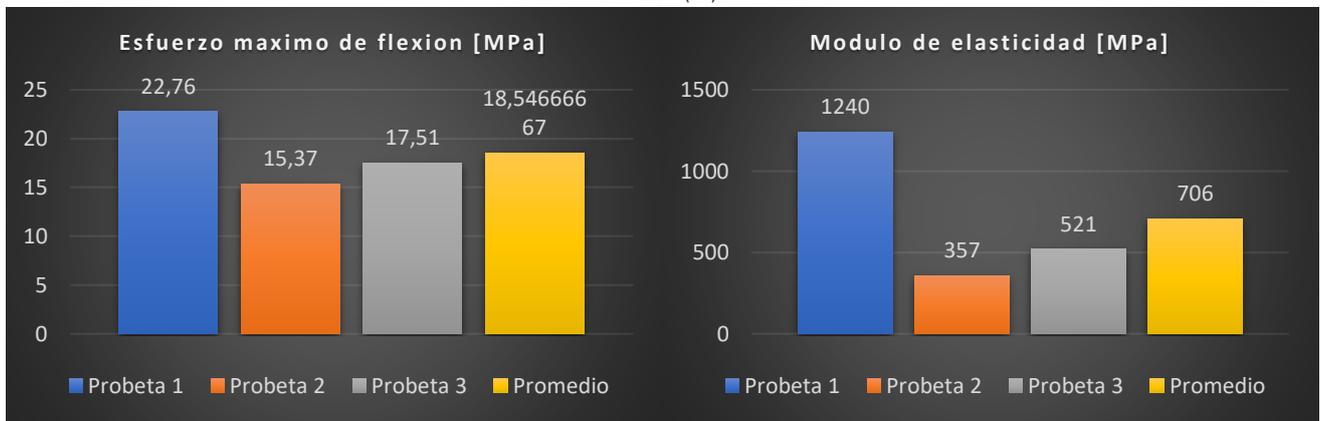
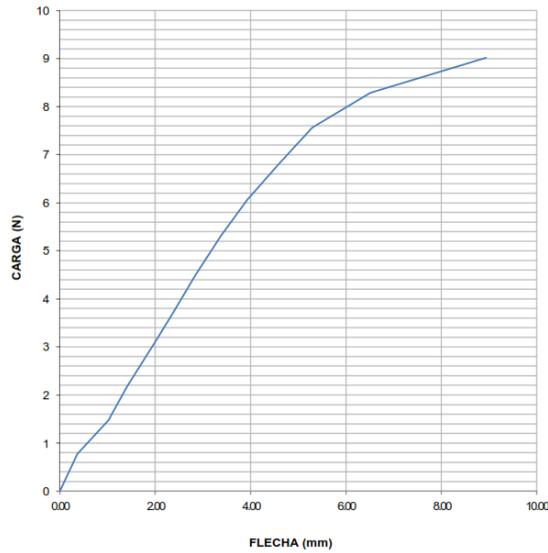
MUESTRA N°:28
DESIGNACIÓN:C10/-45.45/90-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



MUESTRA N°:29
DESIGNACIÓN:C10/-45.45/90-F
FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



MUESTRA N°: 30
 DESIGNACIÓN: C10/45.45/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	18.54	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	9.03	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	706	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	8.26	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 44: Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a flexión



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

FLEXION_ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C11/45.45/90-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

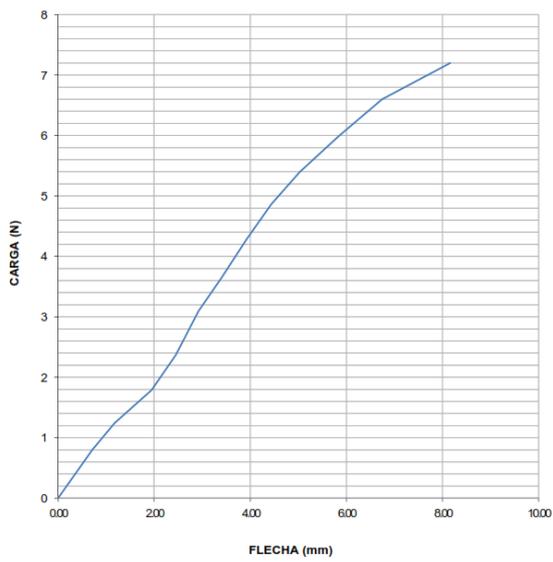
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	7.20	17.23	8.16	638	BSM
Probeta 2	7.48	14.51	8.85	812	BSM
Probeta 3	11.23	19.44	8.73	483	BSM
Promedio	8.63	17.06	8.58	644.33	

PROBETAS ENSAYADAS

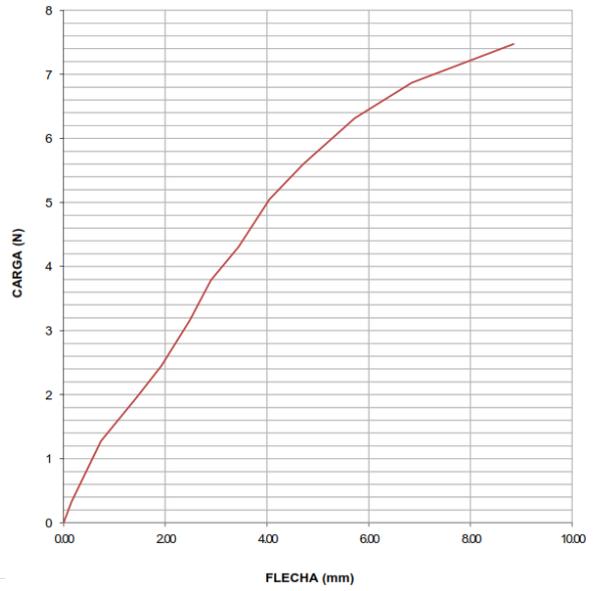


GRAFICAS

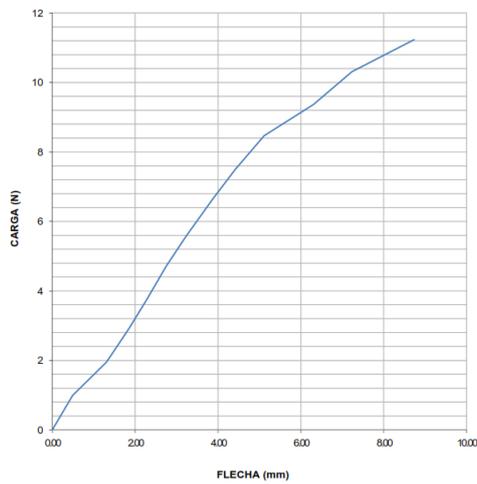
MUESTRA N°:31
 DESIGNACIÓN: C11/45.45/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22

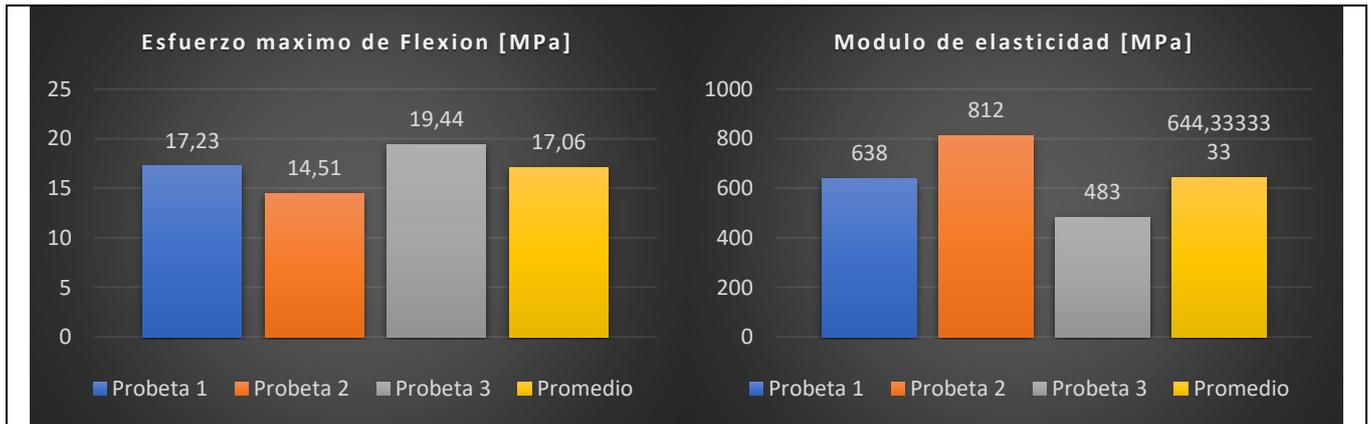


MUESTRA N°:32
 DESIGNACIÓN: C11/45.45/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:33
 DESIGNACIÓN: C11/45.45/90-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22





OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	17.06	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	8.58	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	644.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	8.63	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 45: Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a flexión

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS			
FLEXION_ASTM D7264			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C12/0.-45/120-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
---------------	---	--	--	--	--

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

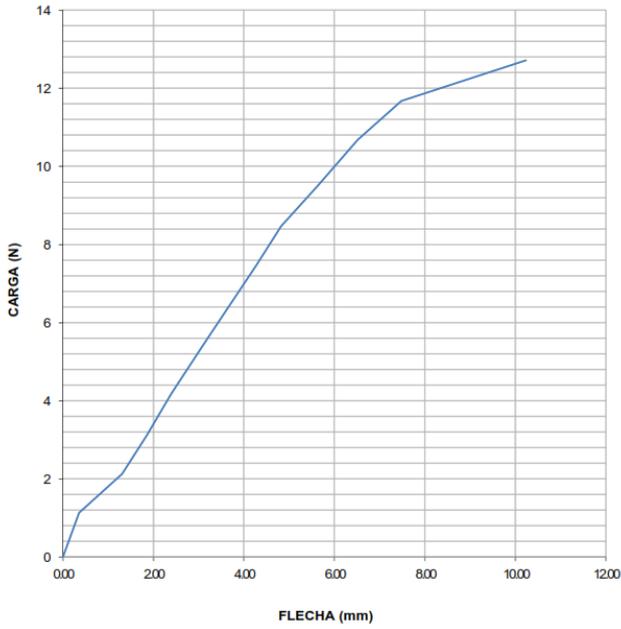
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	12.71	24.48	10.23	511	BSM
Probeta 2	10.52	15.77	9.26	414	BSM
Probeta 3	8.06	13.38	10.52	567	BSM
Promedio	10.43	17.87	10.0033	497.33	

PROBETAS ENSAYADAS

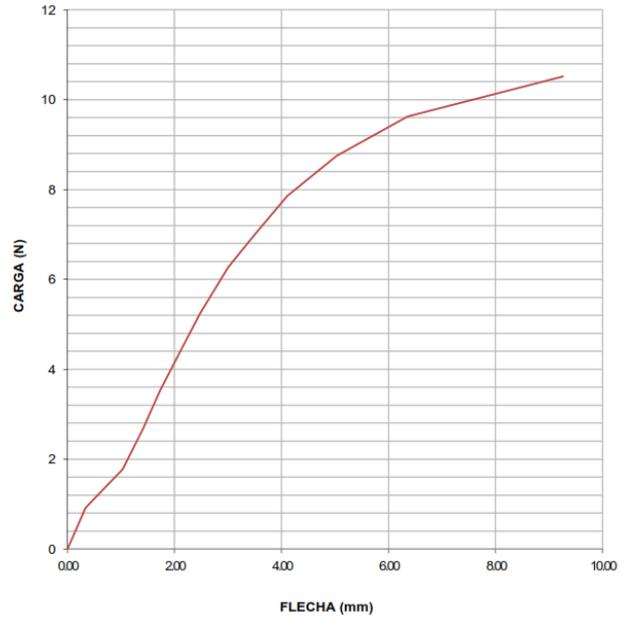


GRAFICAS

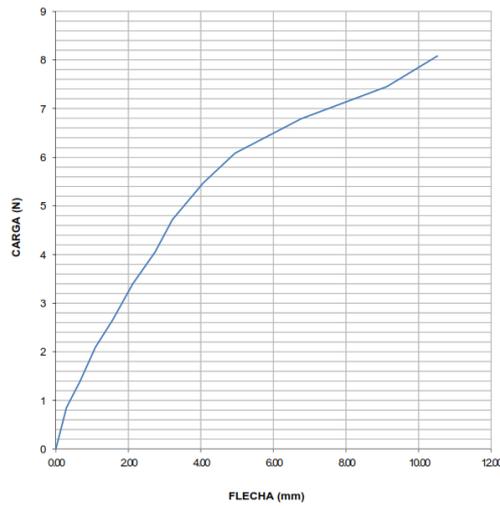
MUESTRA N°:34
 DESIGNACIÓN:C12/0.-45/120-F
 FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



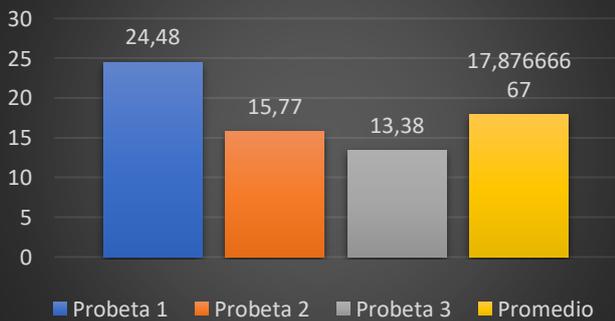
MUESTRA N°:35
 DESIGNACIÓN:C12/0.-45/120-F
 FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



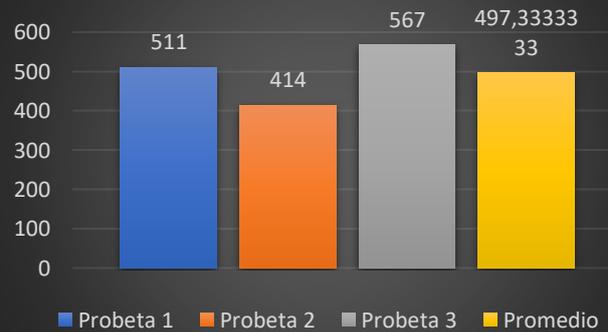
MUESTRA N°:36
 DESIGNACIÓN:C12/0.-45/120-F
 FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



Esfuerzo maximo de Flexion [MPa]



Modulo de elasticidad [MPa]



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	17.87	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	10.0033	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	497.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	10.43	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 46: Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a flexión

		<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p>			
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
FLEXION_ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C13/-45.0/120-F		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62

Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
--------------------------	-------	-----------------------------	---------	--------------------------	-------------

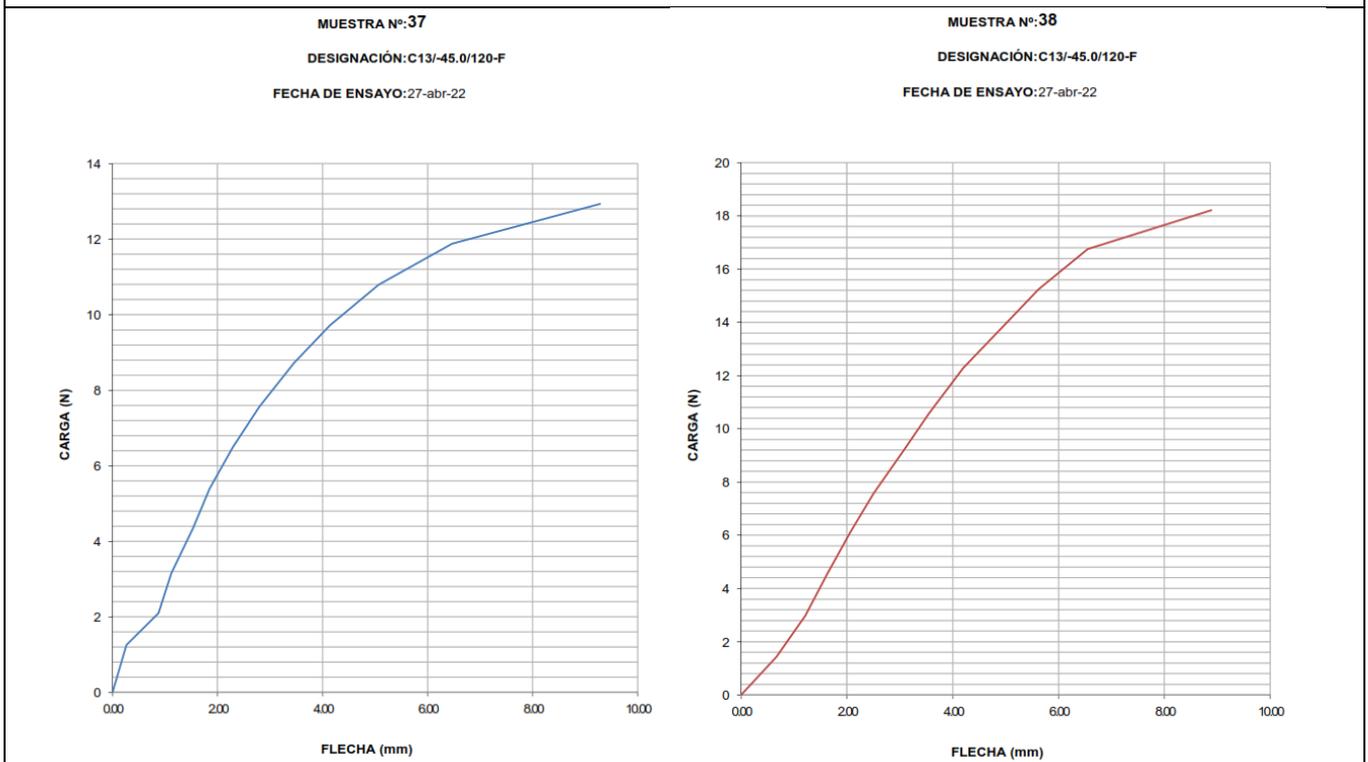
RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	12.94	29.40	9.28	860	BSM
Probeta 2	18.21	44.86	8.89	1990	BSM
Probeta 3	15.08	33.82	9.62	2860	BSM
Promedio	15.41	36.02	9.26	1903.33	

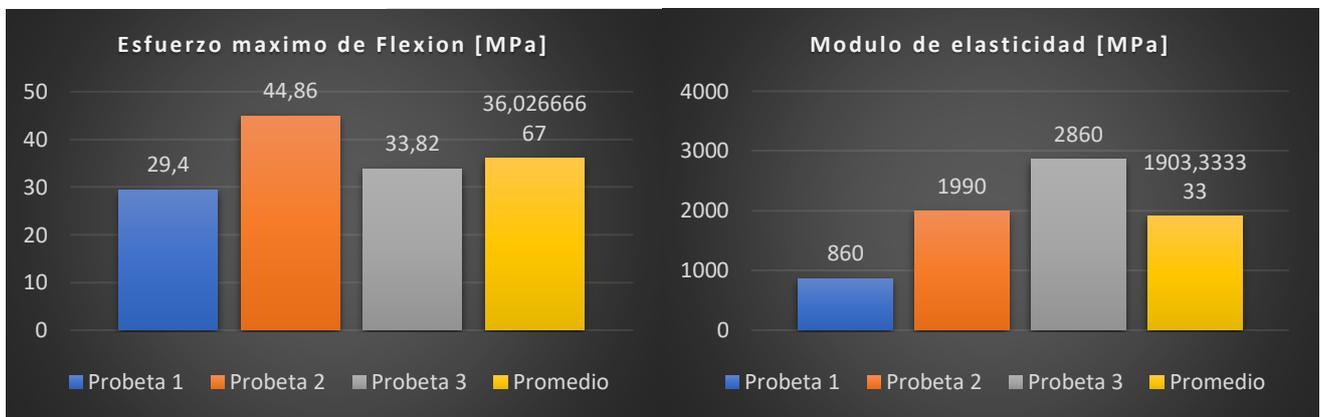
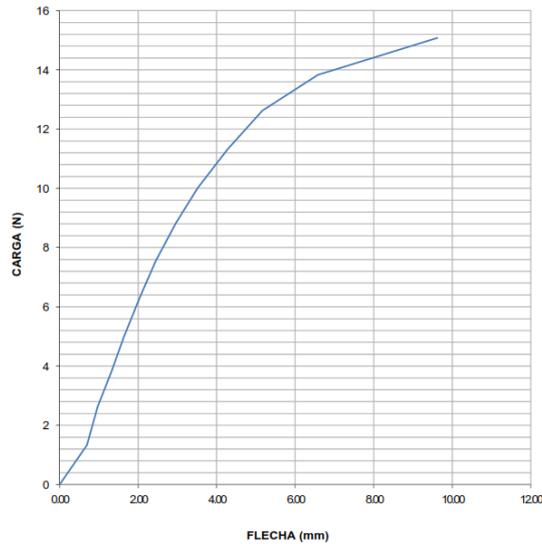
PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



MUESTRA N°:39
 DESIGNACIÓN:C13/45.0/120-F
 FECHA DE ENSAYO:27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	36.02	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	9.26	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	1903.33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	15.41	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 47: Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a flexión



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

FLEXION_ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C14/45.0/120-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

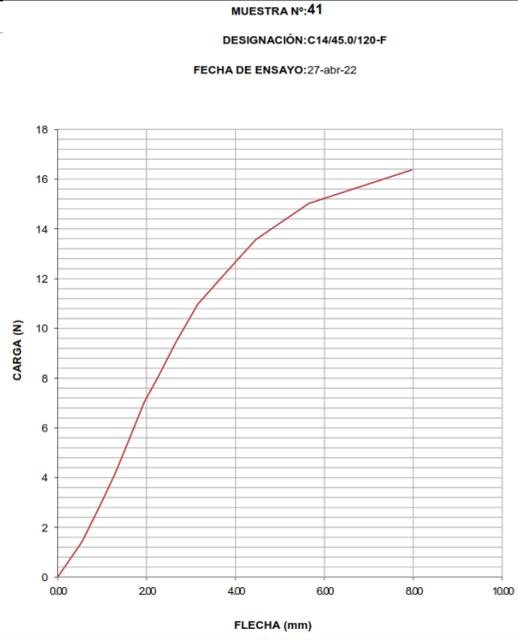
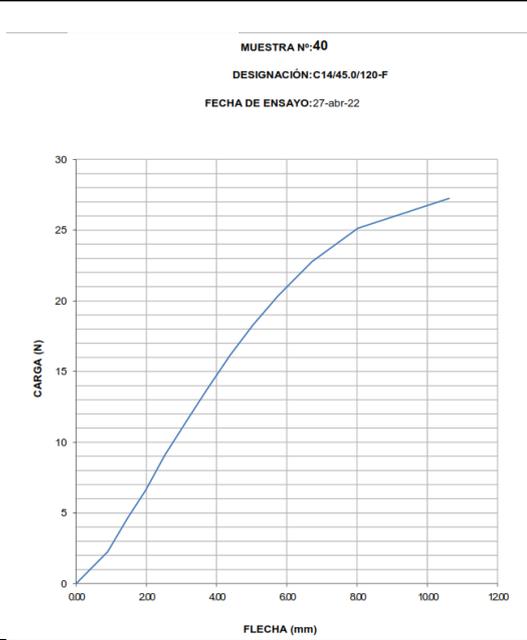
RESULTADOS

N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	27.25	59.33	10.62	2430	BSM
Probeta 2	16.37	36.31	7.96	2190	BSM
Probeta 3	22.09	63.93	9.21	3350	BSM
Promedio	21.90	53.19	9.26	2656.66	

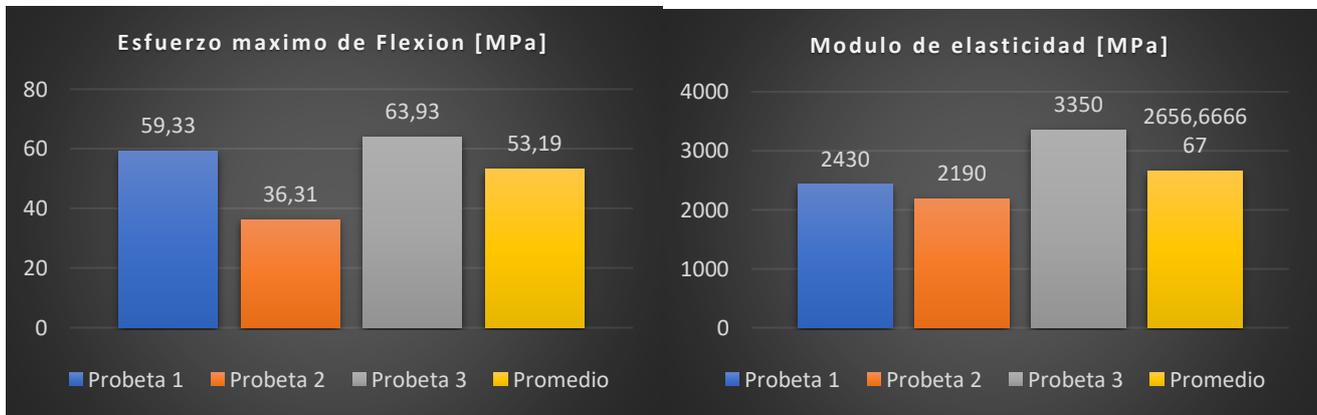
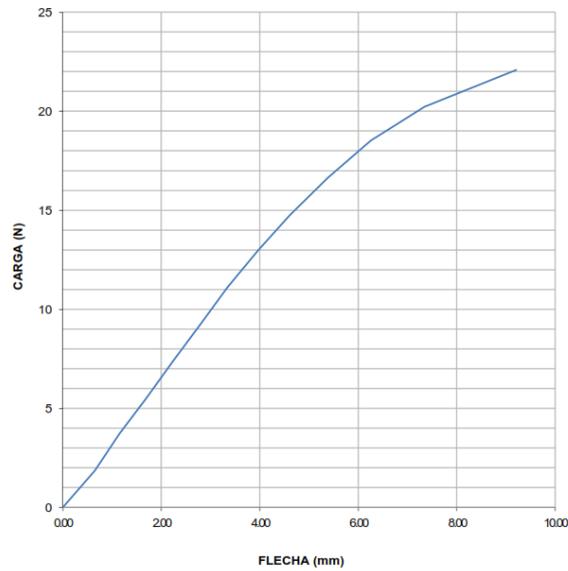
PROBETAS ENSAYADAS



GRAFICAS



MUESTRA N°:42
 DESIGNACIÓN: C14/45.0/120-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	53.19	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	9.26	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	2656.66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	21.90	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 48: Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a flexión



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

FLEXION_ASTM D7264

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C15/0.45/120-F
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

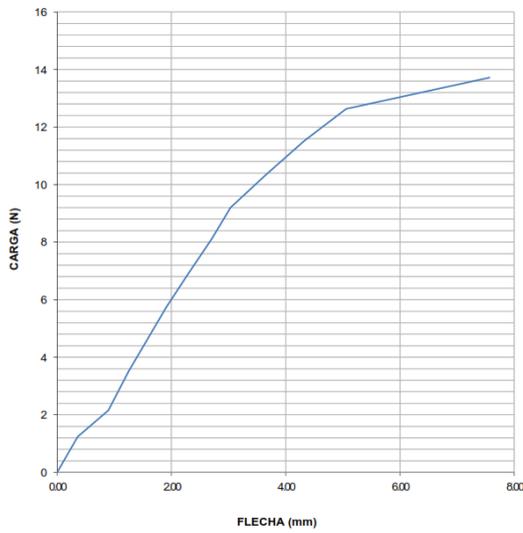
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Flecha máxima (mm)	Módulo de elasticidad (MPa)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	13.71	29.01	7.57	962	BSM
Probeta 2	16.25	32.06	8.51	2270	BSM
Probeta 3	20.54	48.19	9.23	2480	BSM
Promedio	16.83	36.42	8.43	1904	

PROBETAS ENSAYADAS

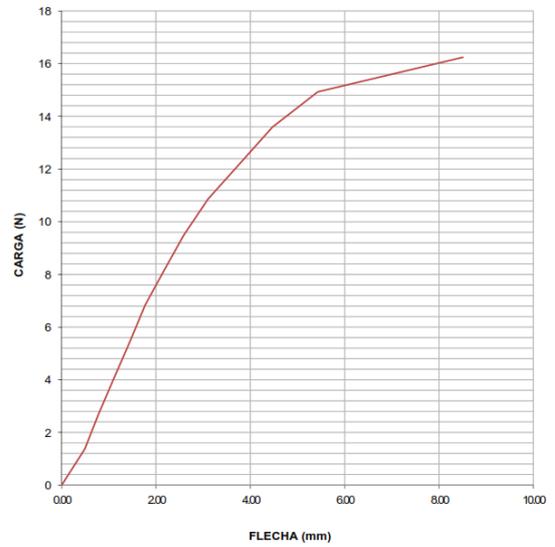


GRAFICAS

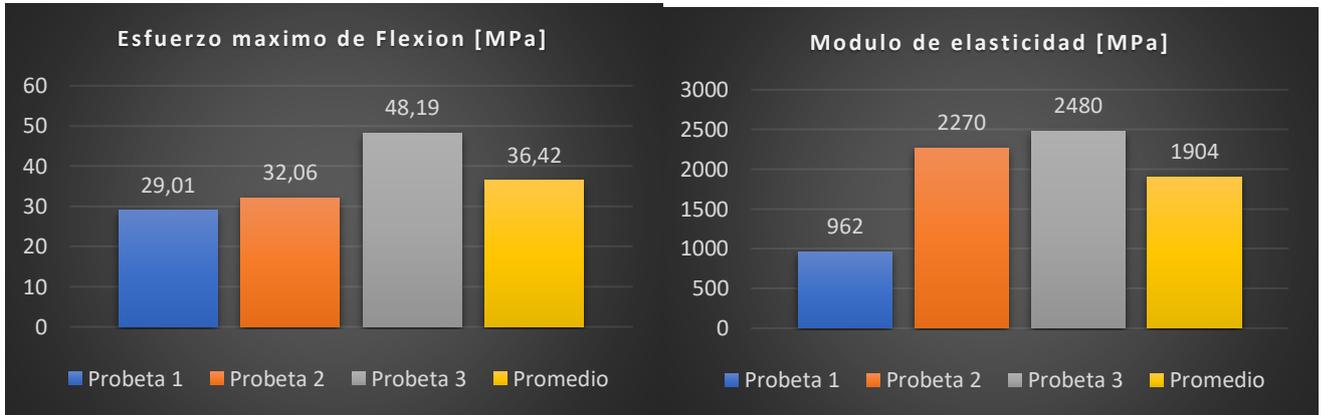
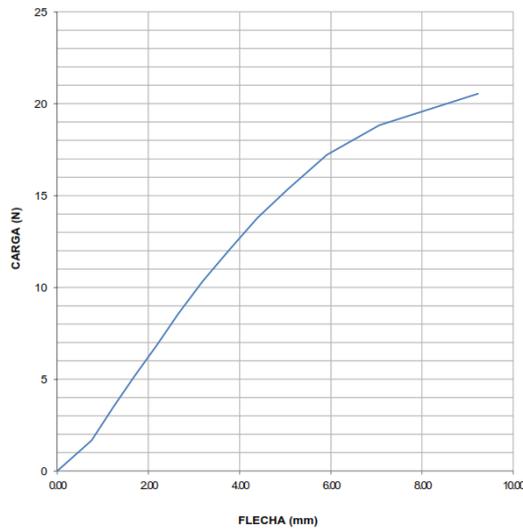
MUESTRA N°:43
 DESIGNACIÓN: C15/0.45/120-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:44
 DESIGNACIÓN: C15/0.45/120-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



MUESTRA N°:45
 DESIGNACIÓN: C15/0.45/120-F
 FECHA DE ENSAYO: 27-abr-22



OBSERVACION

- El tipo de fallo que presentan en la primera capa es BSM el cual trata de pandeo entre los soportes en el punto medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	36.42	Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina
Flecha máxima:	8.43	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de elasticidad (MPa):	1904	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Carga máxima (N):	16.83	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

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

Tabla 49: Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a impacto.



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



FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS

IMPACTO_ASTM D52628-10

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C1/0.-45/60-I
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0,844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1,407735	No falla
Probeta 3	730	0.287	0	2,055293	Falla

PROBETAS ENSAYADAS



OBSERVACION

- Las probetas V-C1/0.-45/60-I tienen una energía de fallo de 2,055293 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 50: Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C2/-45.0/60-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0,844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1,407735	No falla
Probeta 3	720	0.287	0	2,027138	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

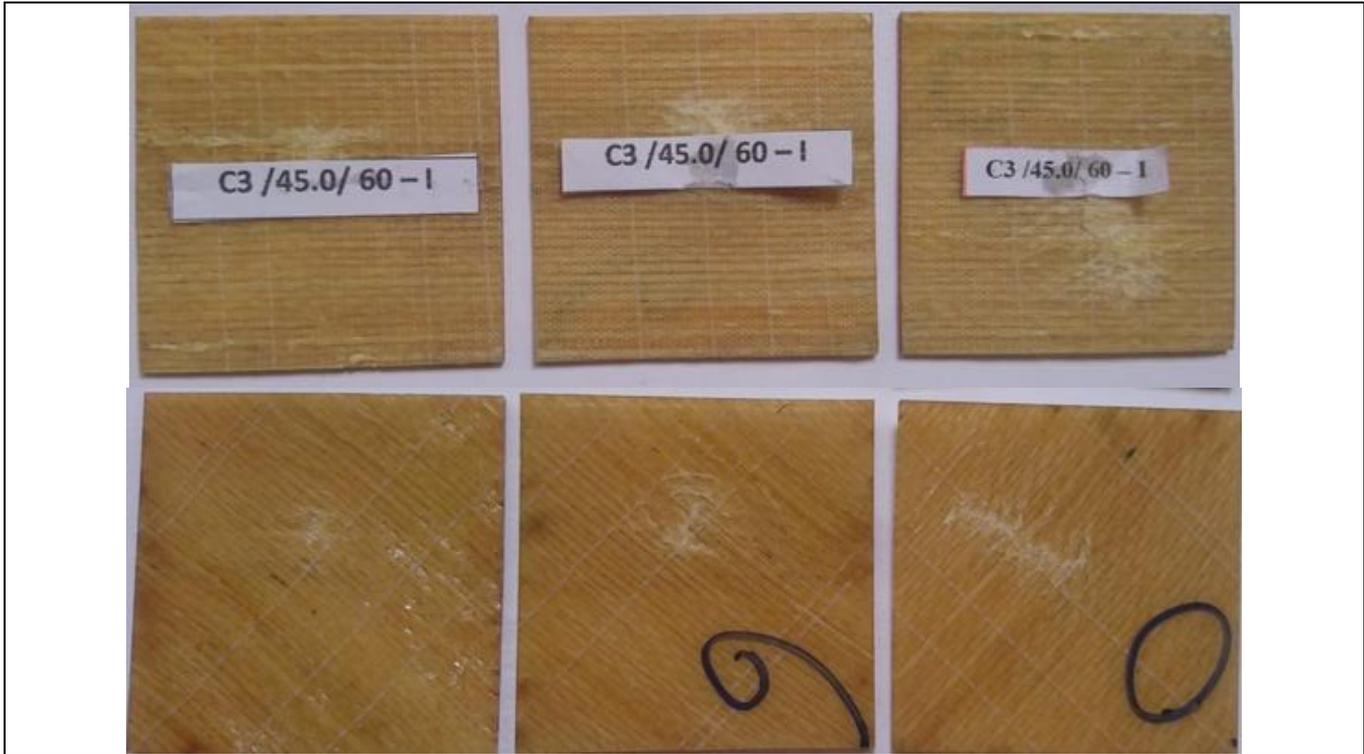
- Las probetas C2/-45.0/60-I tienen una energía de fallo de 2,027138 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 51: Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C3/45.0/60-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0,844641	No falla
Probeta 2	450	0.287	0	1,266962	No falla
Probeta 3	550	0.287	0	1,548509	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C3/45.0/60-I tienen una energía de fallo de 1,266962 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 52: Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C4/0.45/60-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	60°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0,844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1,407735	No falla
Probeta 3	650	0.287	0	1,830056	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C4/0.45/60-I tienen una energía de fallo de 1,830056 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 53: Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C5/-45.-45/90-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0,844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1,407735	No falla
Probeta 3	690	0.287	0	1,942674	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C5/-45.-45/90-I tienen una energía de fallo de 1,942674 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 54: Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C6/45.-45/90-I	
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto	
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0,844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1,407735	No falla
Probeta 3	710	0.287	0	1,998984	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

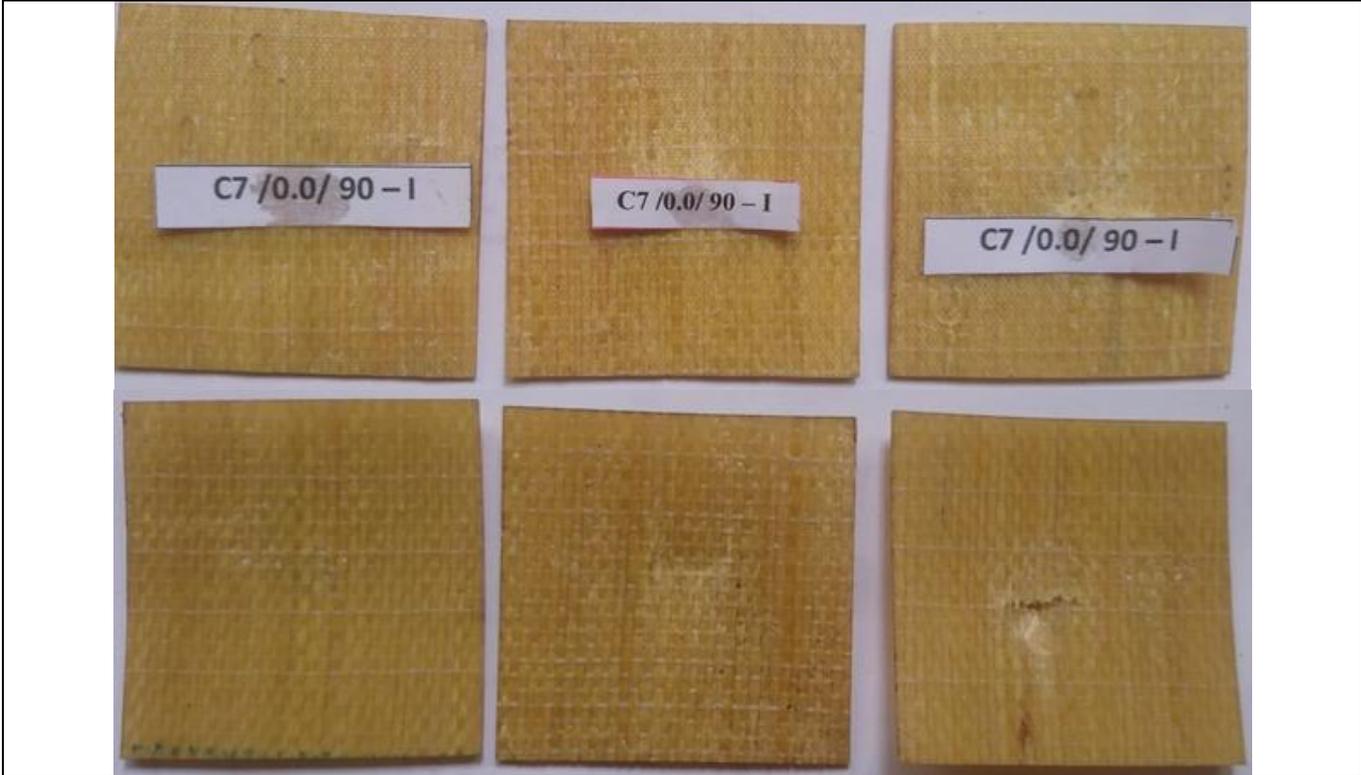
- Las probetas C6/45.-45/90-I tienen una energía de fallo de 1,998984 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 55: Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C7/0.0/90-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0.844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1.407735	No falla
Probeta 3	600	0.287	0	1.689282	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C7/0.0/90-I tienen una energía de fallo de 1,407735 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 56: Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C8/0.0/90-I	
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto	
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	400	0.287	0	0.844641	No falla
Probeta 2	520	0.287	0	1.464044	No falla
Probeta 3	650	0.287	0	1.830056	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C8/0.0/90-I tienen una energía de fallo de 1,464044 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 57: Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C9/0.0/90-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	1.126188	No falla
Probeta 2	470	0.287	0	1.407735	No falla
Probeta 3	600	0.287	0	1.942674	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C9/0.0/90-I tienen una energía de fallo de 1,407735 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	------------------------------------	---	-----------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 58: Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C10/-45.45/90-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0.844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1.407735	No falla
Probeta 3	670	0.287	0	1.886365	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C10/-45.45/90-I tienen una energía de fallo de 1,407735 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 59: Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C11/45.45/90-I	
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto	
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	90°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0.844641	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1.407735	No falla
Probeta 3	700	0.287	0	1.970829	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C11/45.45/90-I tienen una energía de fallo de 1,970829 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 60: Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C12/0.-45/120-I	
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto	
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0.844641	No falla
Probeta 2	490	0.287	0	1.379580	No falla
Probeta 3	700	0.287	0	1.970829	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

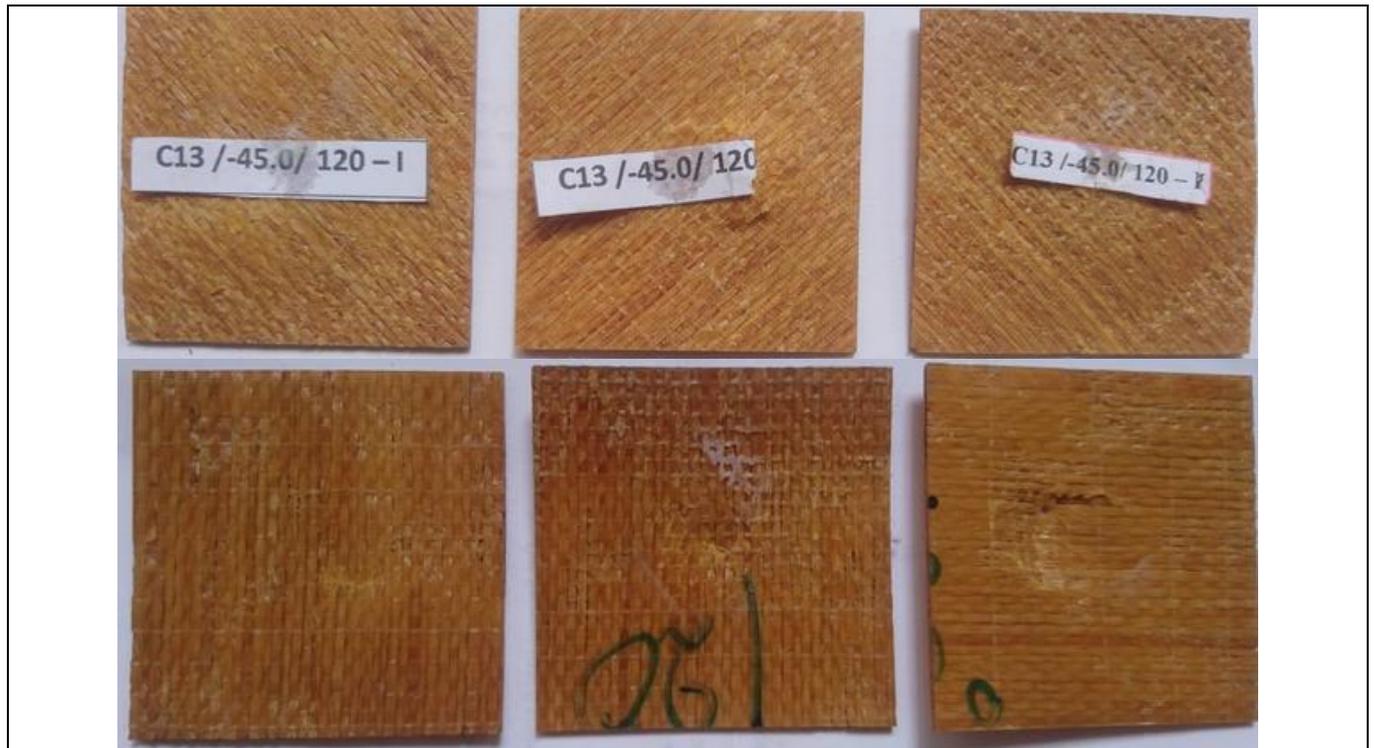
- Las probetas C12/0.-45/120-I tienen una energía de fallo de 1,379580 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 61: Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C13/-45.0/120-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	-45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0.844641	No falla
Probeta 2	450	0.287	0	1.266962	Falla
Probeta 3	600	0.287	0	1.689282	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C13/-45.0/120-I tienen una energía de fallo de 1,266962 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 62: Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C14/45.0/120-I		
Fecha de ejecución:	07/05/2022	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	300	0.287	0	0.844641	No falla
Probeta 2	460	0.287	0	1.295116	Falla
Probeta 3	620	0.287	0	1.745591	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

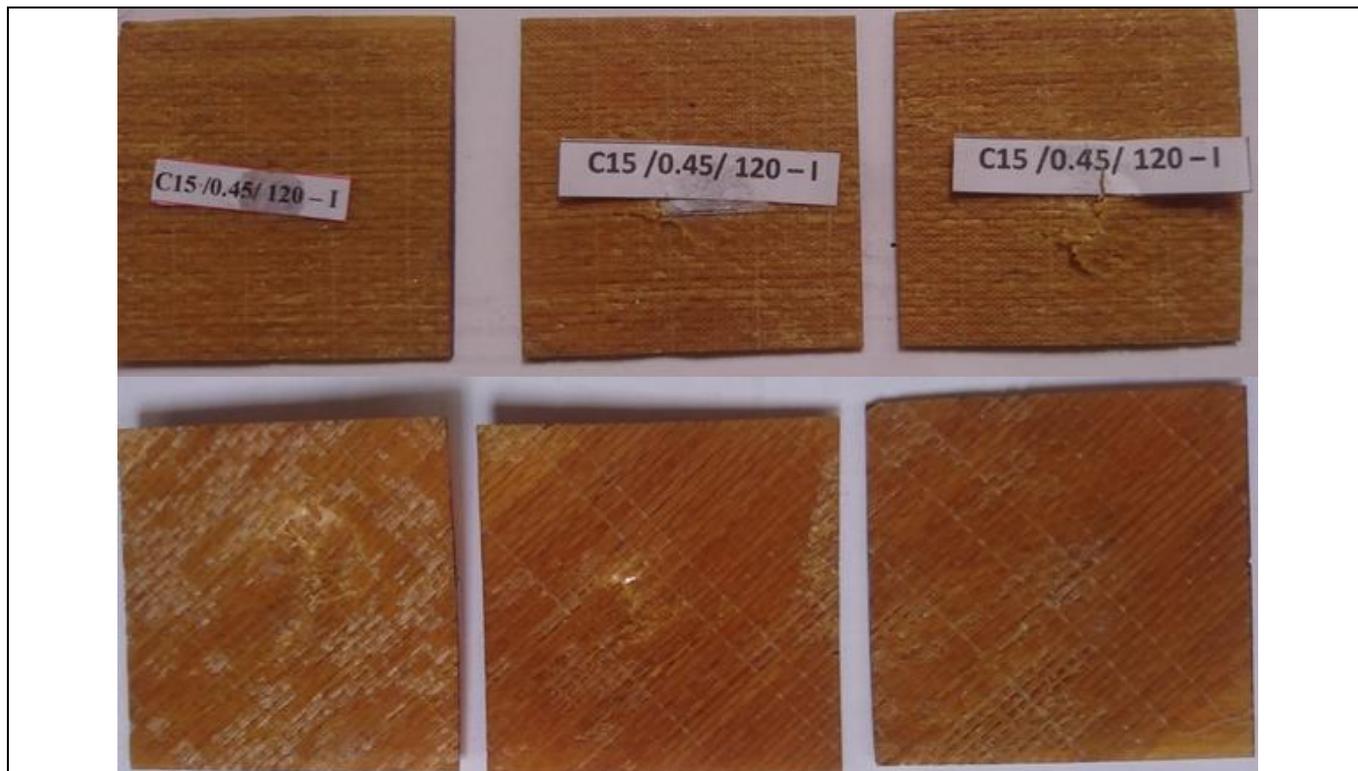
- Las probetas C14/45.0/120-I tienen una energía de fallo de 1,295116 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

Tabla 63: Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a impacto.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCION DE TABULACION DE DATOS					
IMPACTO_ASTM D52628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C15/0.45/120-I	
Fecha de ejecución:	07/05/2022		Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto	
Realizado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg	
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato -Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxi PR20332	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz (gr):	17
Refuerzo:	Fibra de chambira	Temperatura de curad (°C):	120°	Estratificación:	Por Infusión
Orientación de fibra:	0°, 45°	Orden de capas:	FCH+FCH	Espesor promedio:	1.62
Peso de la fibra:	17.86	Tipo de medición:	Energía media de Impacto (J)	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de probeta	Altura Media de Falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo evaluado
Probeta 1	200	0.287	0	0.563094	No falla
Probeta 2	500	0.287	0	1.407735	Falla
Probeta 3	650	0.287	0	1.830056	Falla
PROBETAS ENSAYADAS					



OBSERVACION

- Las probetas C15/0.45/120-I tienen una energía de fallo de 1,407735 J.

Elaborado por:	Brayan Eduardo Gavilanes Medina	Revisado, Aprobado y Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
-----------------------	---------------------------------	---	--------------------------------

Fuente: Autor

3.2. Análisis y discusión de los resultados.

En la tabla 3.47 se puede identificar los resultados tabulados y obtenidos en dichos ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto, con los cuales se puede llegar a obtener la optimización de las propiedades del material compuesto.

Tabla 64: Resultado De Ensayos De Tracción, Flexión E Impacto.

RESULTADO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO									
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	2080	50	3340	0,58	12,88	32,47	1040	10,81	2,1
	2220	52	3480	0,64	14,62	33,26	1140	9,79	
	2220	51	3630	0,22	17,33	38,53	1450	9,22	
Caso 2	1700	39	2960	1,48	22,89	52,12	1910	10,16	2,0
	1740	44	3200	0,18	24,55	55,24	2460	9,66	
	1740	40	2840	1	19,6	40,72	1990	9,83	
Caso 3	2020	47	2920	1,94	21,04	50,07	2510	7,88	1,3
	2080	51	2760	1,4	12,82	29,9	995	5,55	
	1960	43	2760	3,96	23,8	45,31	1720	8,85	
Caso 4	1240	27	1100	2,84	5,02	10,67	5730	9,97	1,8
	1380	30	1070	1,6	4,75	10,77	4170	9,45	
	1160	28	1190	1,22	6,16	14,12	770	10,75	
Caso 5	490	12,7	1829	1,5	9,55	17,89	462	10,01	1,9
	340	7,07	796,5	3,68	9,12	18,39	416	9,71	
	380	8,69	1034	3,04	8,43	20,26	545	10,33	
Caso 6	390	8,5	794	2,52	5,69	13,99	596	8,95	1,9
	480	11,51	940,8	5,28	8,39	18,98	584	9,95	
	390	8,52	788,1	4,48	7,31	14,76	751	8,7	
Caso 7	2560	75	7070	1,46	31,58	95,27	4880	10,87	1,4
	2080	59	6260	2,14	34,57	109,94	6780	9,1	
	2780	73	4840	4,42	30,45	88,22	5070	10,41	
Caso 8	3120	86	7080	0,56	23,93	80,73	4050	10,88	1,5
	3040	76	5100	1,32	29,17	99,86	4910	10,18	
	2920	80	5900	2,68	27,33	84,34	5250	9,19	
Caso 9	3880	95	5690	1,88	32,91	94,91	5840	10,53	1,4
	3380	105	6710	1,9	27,73	92,35	5550	10,5	

	3280	88	5580	1,84	25,19	88,7	5050	12,07	
Caso 10	370	8,05	801,1	3,36	7,3	22,76	1240	8,43	1,4
	330	7,3	847,8	4,27	8,47	15,37	357	9,73	
	360	6,34	655,5	1,31	9,02	17,51	521	8,94	
Caso 11	360	8,32	159,4	3,84	7,2	17,23	638	8,16	1,9
	330	7,2	899,1	1,72	7,48	14,51	812	8,85	
	300	6,67	188,3	10,04	11,23	19,44	483	8,73	
Caso 12	1760	36	2290	1,1	12,71	24,48	511	10,23	1,4
	1840	38	2290	3,18	10,52	15,77	414	9,26	
	1380	27	980	1,56	8,08	13,38	567	10,52	
Caso 13	1780	42	2690	0,24	12,94	29,4	860	9,28	1,3
	1560	40	2560	0,32	18,21	44,86	1990	8,89	
	1580	40	2950	0,9	15,08	33,82	2860	9,62	
Caso 14	1760	39	2640	1,48	27,25	59,33	2430	10,62	1,3
	1760	42	2900	0,22	16,37	36,31	2190	7,96	
	1700	41	2880	1,3	22,09	63,93	3350	9,21	
Caso 15	1740	43	2170	0,86	13,71	29,01	962	7,57	1,3
	1720	41	2760	2,54	16,25	32,06	2270	8,51	
	1540	38	2660	1,42	20,54	48,19	2480	9,23	

Fuente: Autor

3.2.1. Análisis del ensayo a tracción

3.2.1.1. Esfuerzo Máximo (MPa)

Mediante un análisis de superficie de respuesta ejecutado en los resultados del ensayo de tracción, específicamente para el esfuerzo máximo (S_{ut}), se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura 21, se muestra en la gráfica de probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianzas, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

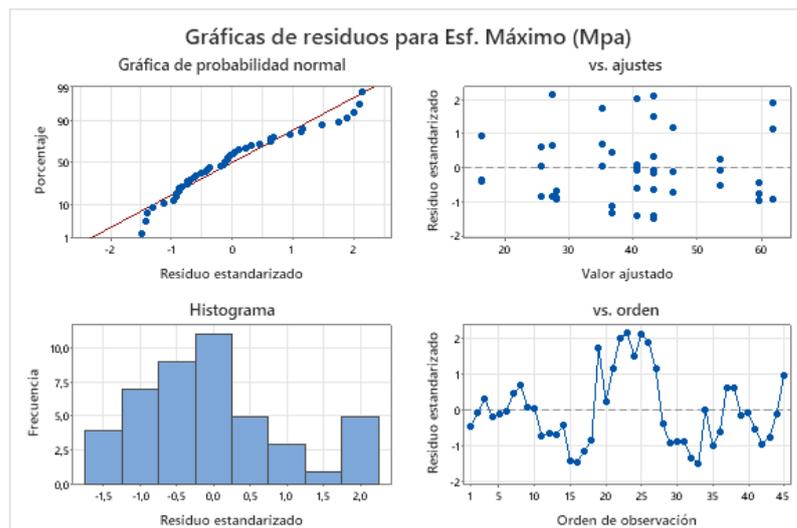


Figura 22: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis De Igualdad De Varianzas

Por medio de un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en el Sut, este análisis muestra que los factores que más influyen principalmente en el sut obtenido son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra, en este caso los que más se aproximan a ser significativos son la orientación de la capa 1, y la temperatura de curado.

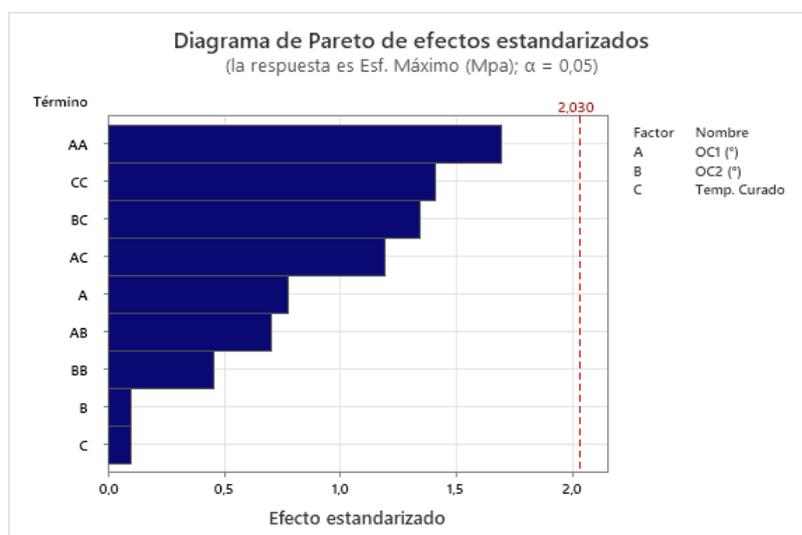


Figura 23: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

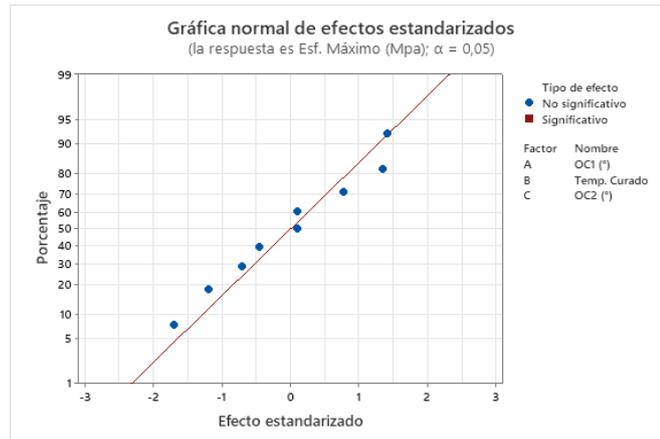


Figura 24: Gráfica normal de efectos estandarizados para el Sut.

La figura 23 muestra como inciden los factores de control en el esfuerzo máximo a tracción obtenido se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados obtenidos, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también la resistencia a la tracción del nuevo material compuesto.

Análisis de Varianza

En la tabla 18 mediante el análisis ANOVA para los resultados del esfuerzo máximo a tracción se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 65: Análisis de ANOVA para el Sut en esfuerzo de tracción

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	6664,1	740,45	1,09	0,395
Lineal	3	422,9	140,97	0,21	0,891
OC1 (°)	1	409,1	409,12	0,60	0,443
Temp. Curado	1	6,7	6,71	0,01	0,921
OC2 (°)	1	7,1	7,09	0,01	0,919
Cuadrado	3	3703,3	1234,43	1,82	0,162
OC1 (°)*OC1 (°)	1	1952,5	1952,49	2,87	0,099
Temp. Curado*Temp. Curado	1	1348,5	1348,48	1,98	0,168
OC2 (°)*OC2 (°)	1	142,6	142,55	0,21	0,650
Interacción de 2 factores	3	2537,9	845,96	1,25	0,308
OC1 (°)*Temp. Curado	1	967,9	967,86	1,42	0,241

OC1 (°)*OC2 (°)	1	339,8	339,84	0,50	0,484
Temp. Curado*OC2 (°)	1	1230,2	1230,19	1,81	0,187
Error	35	23781,2	679,46		
Falta de ajuste	3	5106,1	1702,05	2,92	0,049
Error puro	32	18675,1	583,60		
Total	44	30445,3			

Por otro lado, la figura 24 muestra los efectos principales para el Sut, en este caso se demuestra que la orientación de ambas capas es significativa en el resultado del esfuerzo máximo a tracción. Las 3 curvas denotan la significancia ya que son pronunciadas, el factor menos significativo es la orientación de la capa 1 y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

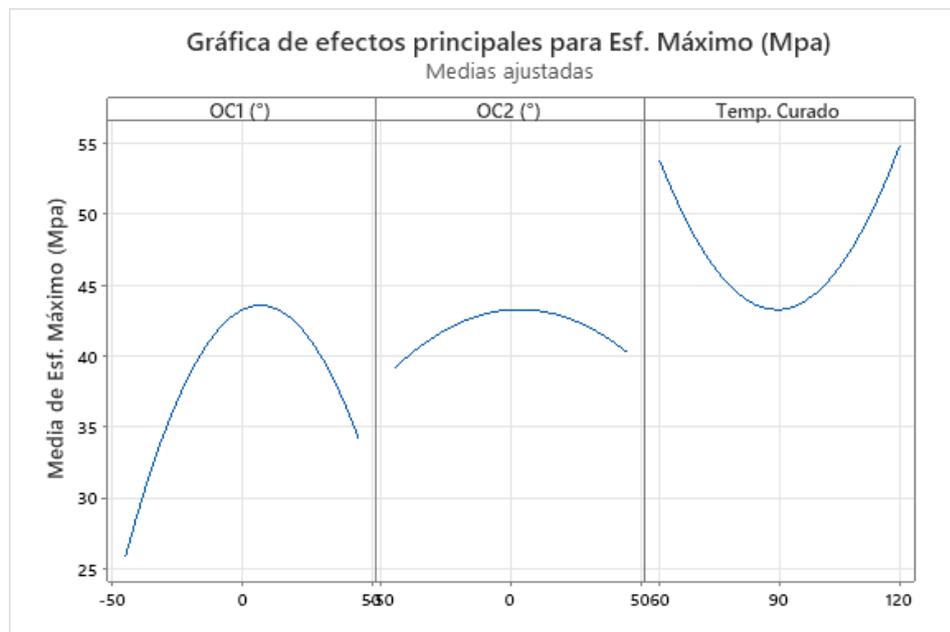


Figura 25: Análisis de efectos principales para el Sut.

En las gráficas e interacción obtenidas para el Sut mostradas en la figura 25 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

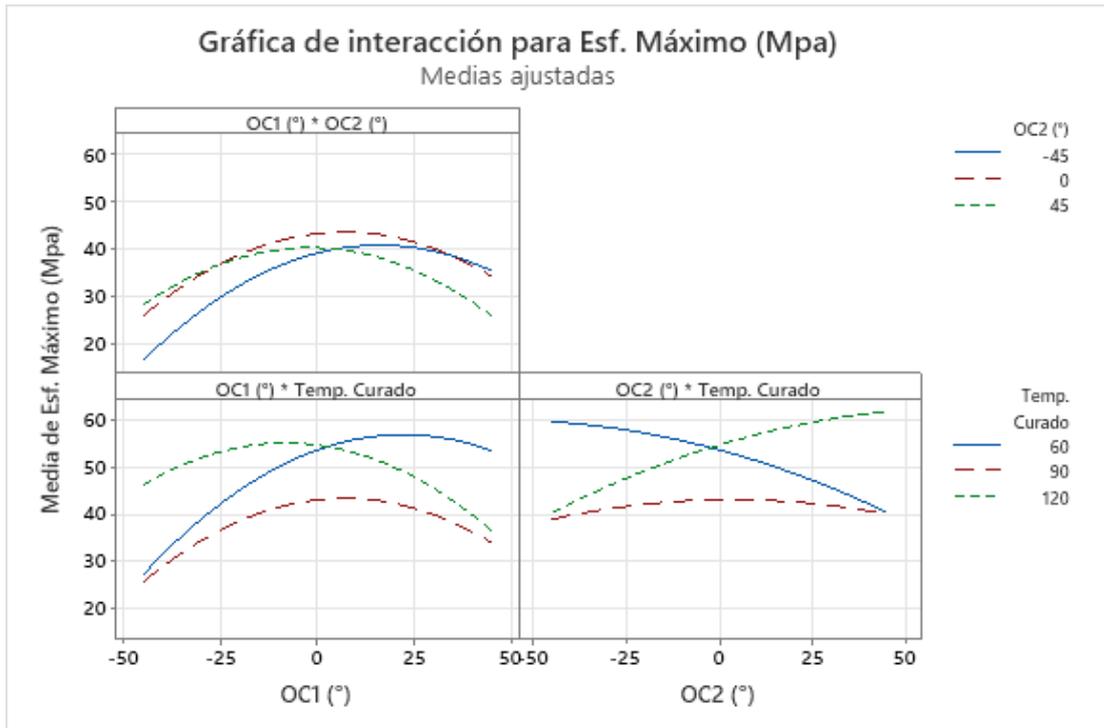


Figura 26: Análisis de interacción para el esfuerzo máximo a tracción (Sut).

En las gráficas de superficie de respuesta obtenidas se muestra cómo influye cada factor de entrada en el resultado del esfuerzo máximo a tracción.

En la figura 26 se observa que el esfuerzo máximo se presenta a una combinación de 0 grados de orientación en ambas capas.

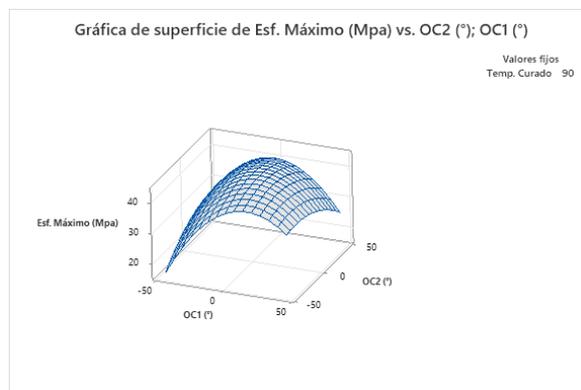


Figura 27: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 27 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado del esfuerzo máximo a tracción, en este caso se puede obtener un esfuerzo alto al combinar 0 grados de orientación de la capa 1 con 120 grados de temperatura de curado

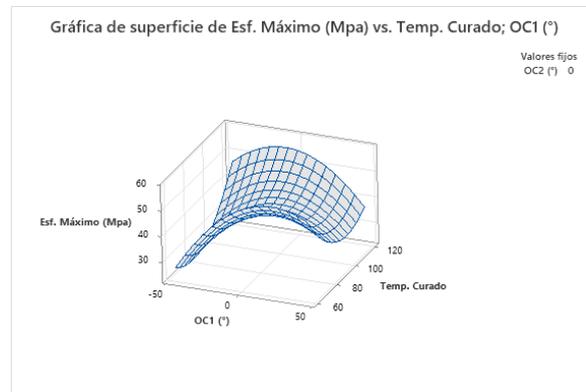


Figura 28: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 28 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado del esfuerzo máximo, para obtener un esfuerzo alto variando estos factores es necesaria una combinación de 50° de orientación de la capa 2 con 120 grados de temperatura de curado.

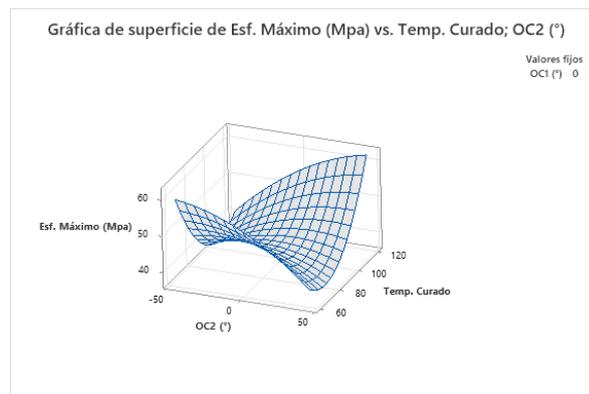


Figura 29: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Optimización del esfuerzo máximo a tracción.

Con la función de deseabilidad se obtienen la combinación más adecuada para obtener el esfuerzo máximo a tracción siendo la combinación más adecuada la de 31,36° de

orientación de la capa 1, 60° de temperatura de curado y -45° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 29.

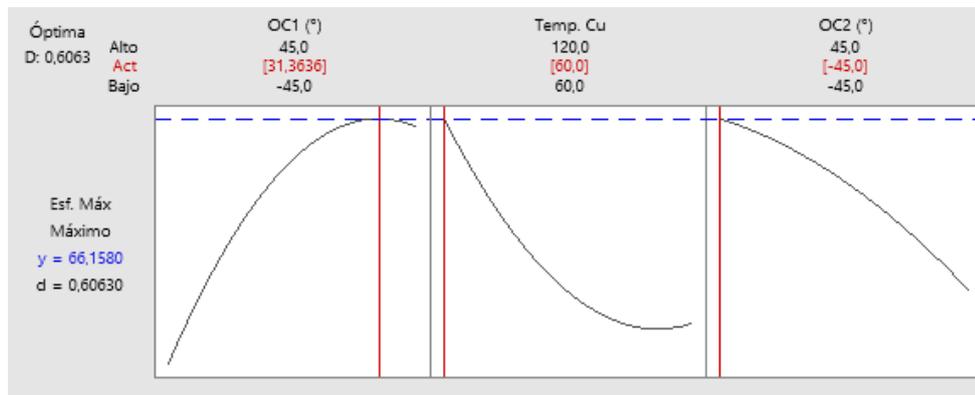


Figura 30: Análisis de optimización para el Sut.

Valores de predicción para la optimización del Sut.

En la tabla 19 se muestra la combinación de factores óptima para obtener el esfuerzo máximo el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 66: Optimización del Sut.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	31,3636
Temp. Curado	60
OC2 (°)	-45

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Esf. Máximo (Mpa)	66,2	15,0	(35,7; 96,7)	(5,1; 127,2)

3.2.1.2. Carga Máxima (MPa)

Para la carga máxima se lleva a cabo el análisis de superficie de respuesta ejecutado en los resultados del ensayo de tracción, específicamente, se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura 30 muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, , en la gráfica se muestra la probabilidad normal una distribución uniforme

que se caracteriza por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado en la gráfica de residuos vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

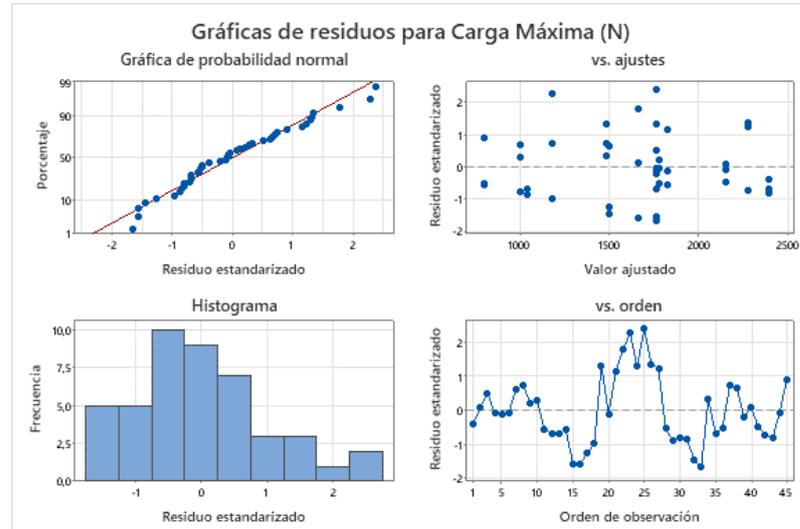


Figura 31: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en el Sut, este análisis muestra que los factores que más influyen en la carga máxima son En el sut obtenido son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra.

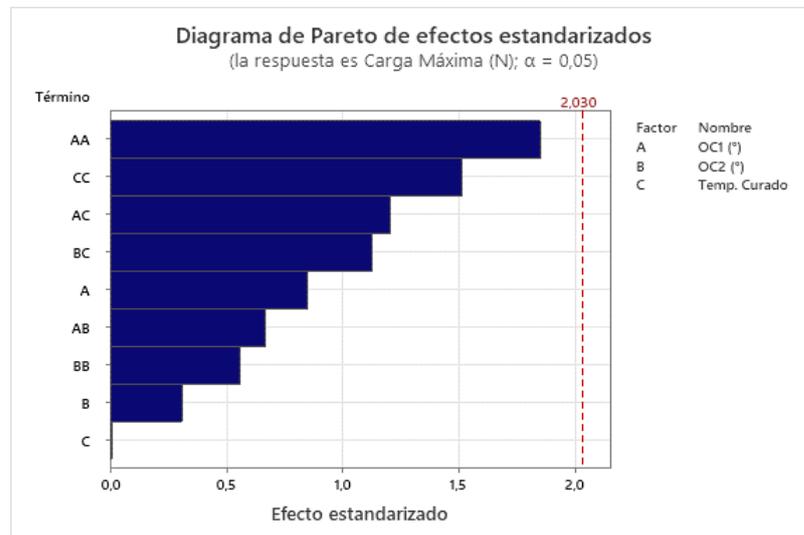


Figura 32: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

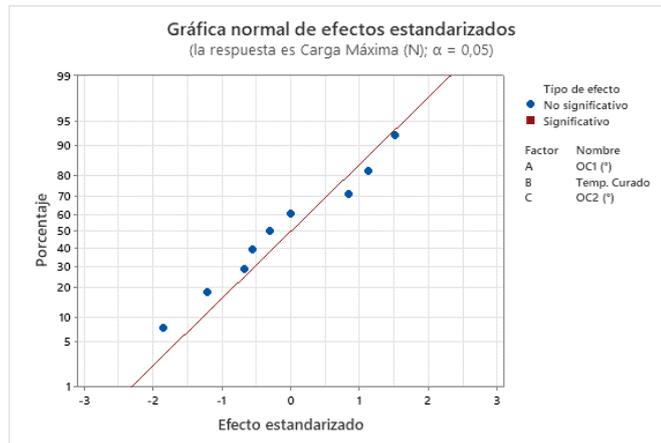


Figura 33: Gráfica normal de efectos estandarizados para el Sut.

La figura 32 muestra como inciden los factores de control en el esfuerzo máximo a tracción obtenido se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados obtenidos para la carga máxima, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también la carga máxima que puede ser aplicada en el nuevo material compuesto.

Análisis de Varianza

En la tabla 20 mediante el análisis ANOVA para los resultados de la carga máxima a tracción se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 67: Análisis de ANOVA para el Sut en esfuerzo de tracción

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	9214594	1023844	1,16	0,348
Lineal	3	721058	240353	0,27	0,845
OC1 (°)	1	637004	637004	0,72	0,401
OC2 (°)	1	84017	84017	0,10	0,759
Temp. Curado	1	37	37	0,00	0,995
Cuadrado	3	5698186	1899395	2,16	0,111
OC1 (°)*OC1 (°)	1	3017642	3017642	3,43	0,073
OC2 (°)*OC2 (°)	1	275747	275747	0,31	0,579
Temp. Curado*Temp. Curado	1	2013868	2013868	2,29	0,139

Interacción de 2 factores	3	2795350	931783	1,06	0,379
OC1 (°)*OC2 (°)	1	392408	392408	0,45	0,509
OC1 (°)*Temp. Curado	1	1280533	1280533	1,45	0,236
OC2 (°)*Temp. Curado	1	1122408	1122408	1,27	0,267
Error	35	30828131	880804		
Falta de ajuste	3	6127708	2042569	2,65	0,066
Error puro	32	24700422	771888		
Total	44	40042724			

En la figura 33 se muestra los efectos principales para la carga máxima, en este caso se demuestra que la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado son significativas en el resultado de la carga máxima. Las 3 curvas denotan la significancia ya que son pronunciadas, el factor menos significativo es la orientación de la capa 2 que es menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

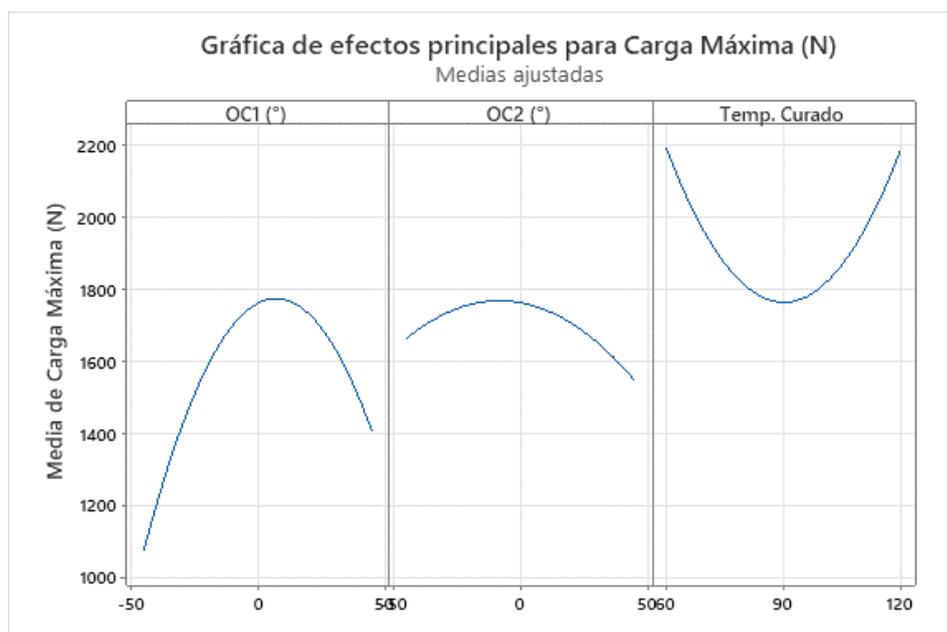


Figura 34: Análisis de efectos principales para el Sut.

En las gráficas e interacción obtenidas para la carga máxima mostradas en la figura 31 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

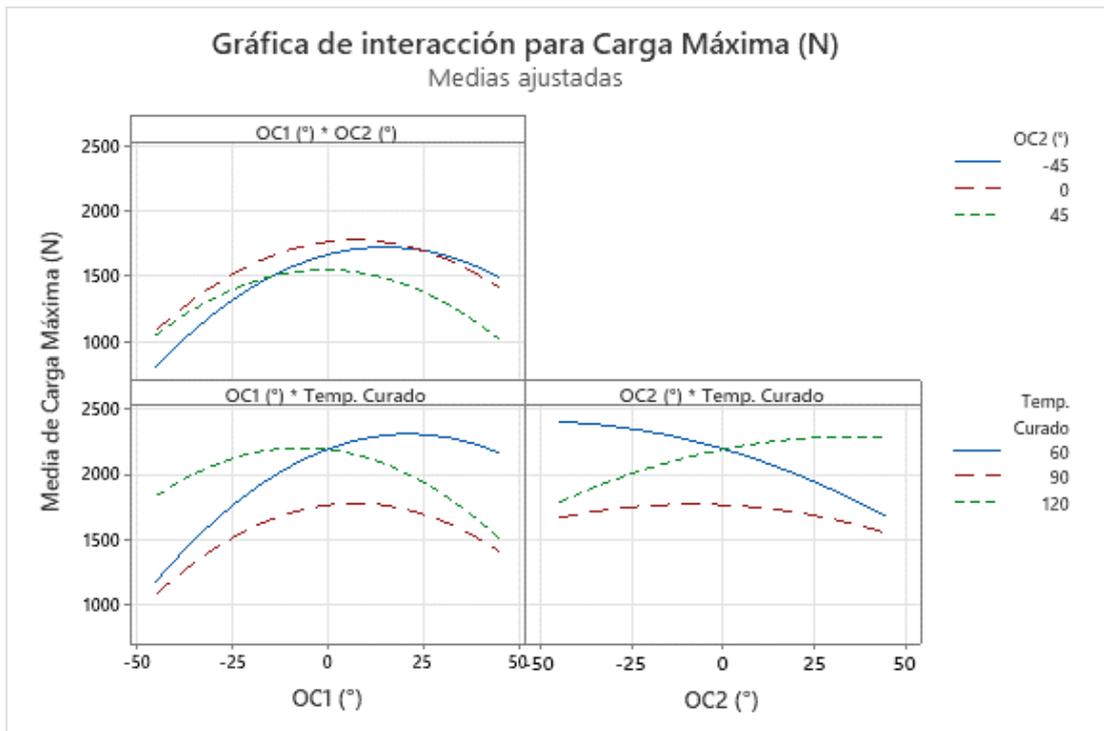


Figura 35: Análisis de interacción para el esfuerzo máximo a tracción (Sut).

En la figura 35 se observa que la carga máxima se presenta a una combinación de 0 grados de orientación en ambas capas.

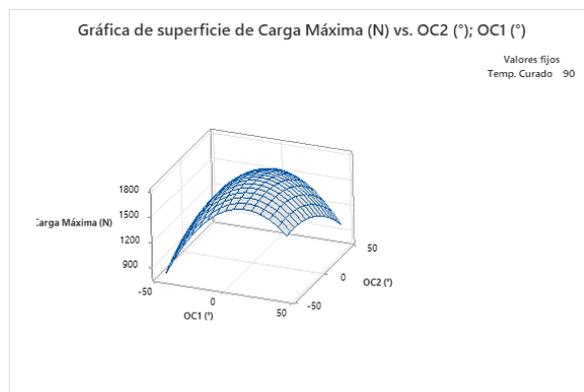


Figura 36: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 36 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado de la carga máxima, en este caso se puede obtener un esfuerzo alto al combinar 0 grados de orientación de la capa 1 con 120 y 60 grados de temperatura de curado

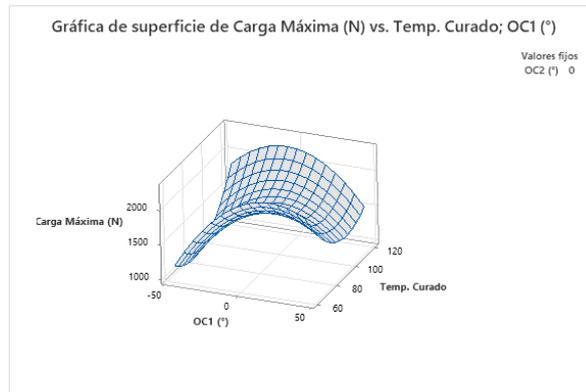


Figura 37: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 37 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado de la carga máxima, para obtener una carga alta variando estos factores es necesaria una combinación de 50° y -50° de orientación de la capa 2 con 120 y 60 grados de temperatura de curado.

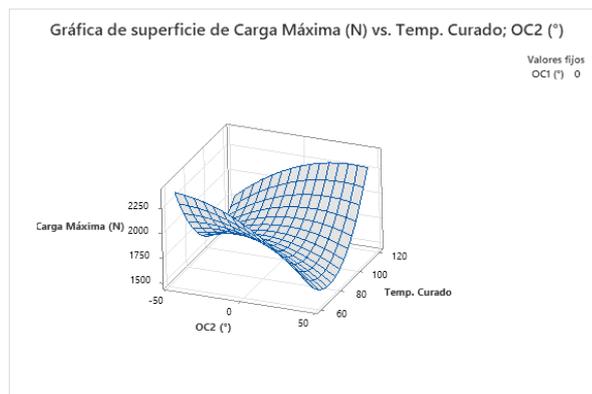


Figura 38: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtienen la combinación más adecuada para obtener la carga máxima siendo la combinación más adecuada la de $28,63^\circ$ de orientación de la capa 1, 60° de temperatura de curado y -45° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 35.

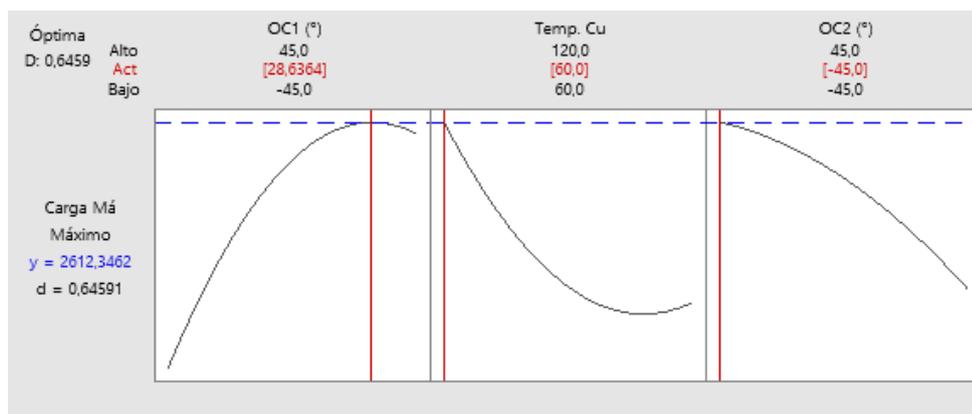


Figura 39: Análisis de optimización para la carga máxima.

Valores de predicción para la optimización de la carga máxima.

En la tabla 21 se muestra la combinación de factores óptima para obtener la carga máxima el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 68: Optimización de la carga máxima.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	28,6364
Temp. Curado	60
OC2 (°)	-45

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Carga Máxima (N)	2612	527	(1542; 3682)	(427; 4798)

3.2.1.3. Módulo de elasticidad (MPa)

Sobre los resultados del ensayo de tracción para el Sut se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura 36, se muestra en la gráfica de probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

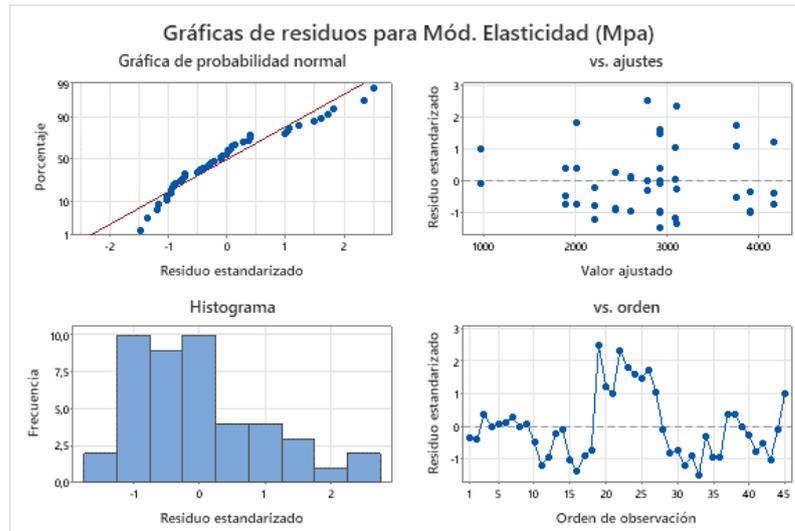


Figura 40: Gráficas de residuos para el módulo de elasticidad a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en el módulo de elasticidad, este análisis muestra que los factores que influyen principalmente En el módulo de elasticidad obtenido son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la combinación de la temperatura de curado con la orientación de la capa 1.

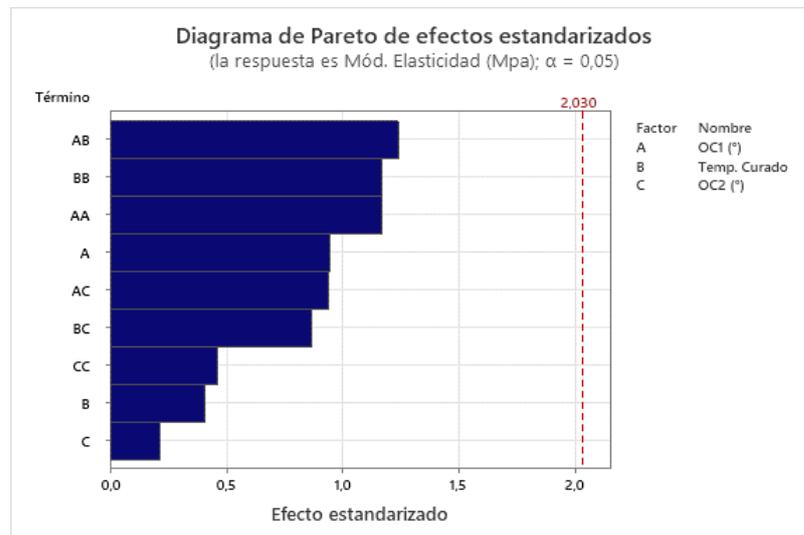


Figura 41: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

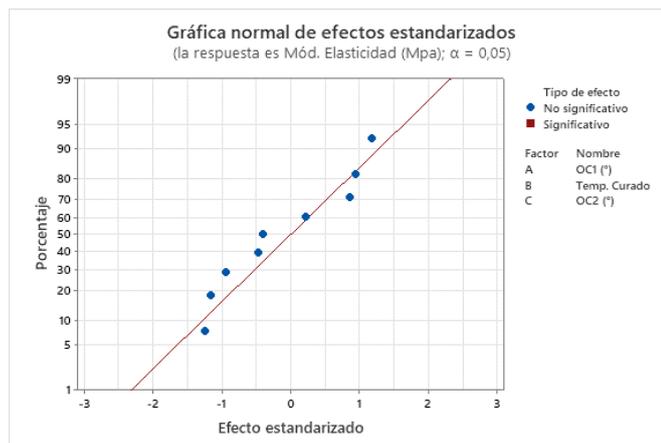


Figura 42: Gráfica normal de efectos estandarizados para el módulo de elasticidad a tracción

La figura 41 muestra como inciden los factores de control en el módulo de elasticidad obtenido se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también el módulo de elasticidad del nuevo material compuesto.

Análisis de Varianza

En la tabla 20 mediante el análisis ANOVA para los resultados del módulo de elasticidad a tracción se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 18. Análisis de ANOVA para el módulo de elasticidad a tracción.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	28632413	3181379	0,83	0,594
Lineal	3	4232903	1410968	0,37	0,777
OC1 (°)	1	3415244	3415244	0,89	0,352
Temp. Curado	1	637721	637721	0,17	0,686
OC2 (°)	1	179937	179937	0,05	0,830
Cuadrado	3	12230087	4076696	1,06	0,377
OC1 (°)*OC1 (°)	1	5246011	5246011	1,37	0,250
Temp. Curado*Temp. Curado	1	5269244	5269244	1,37	0,249
OC2 (°)*OC2 (°)	1	828688	828688	0,22	0,645
Interacción de 2 factores	3	12169424	4056475	1,06	0,379

OC1 (°)*Temp. Curado	1	5896812	5896812	1,54	0,223
OC1 (°)*OC2 (°)	1	3395330	3395330	0,89	0,353
Temp. Curado*OC2 (°)	1	2877281	2877281	0,75	0,392
Error	35	134222073	3834916		
Falta de ajuste	3	26271281	8757094	2,60	0,070
Error puro	32	107950793	3373462		
Total	44	162854487			

En la figura 42 se muestra los efectos principales para el módulo de elasticidad a tracción, en este caso se demuestra que la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado son significativas en el resultado del módulo de elasticidad. Las 3 curvas denotan la significancia ya que son pronunciadas, el factor menos significativo es la orientación de la capa 1 que su curva se nota menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

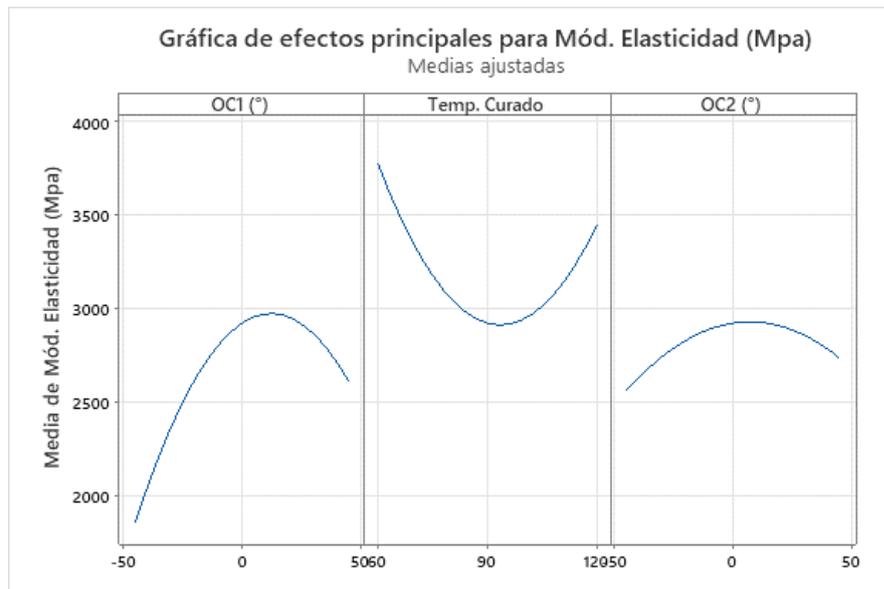


Figura 43: Análisis de efectos principales para el módulo de elasticidad a tracción

En las gráficas e interacción obtenidas para el módulo de elasticidad a tracción mostradas en la figura 43 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

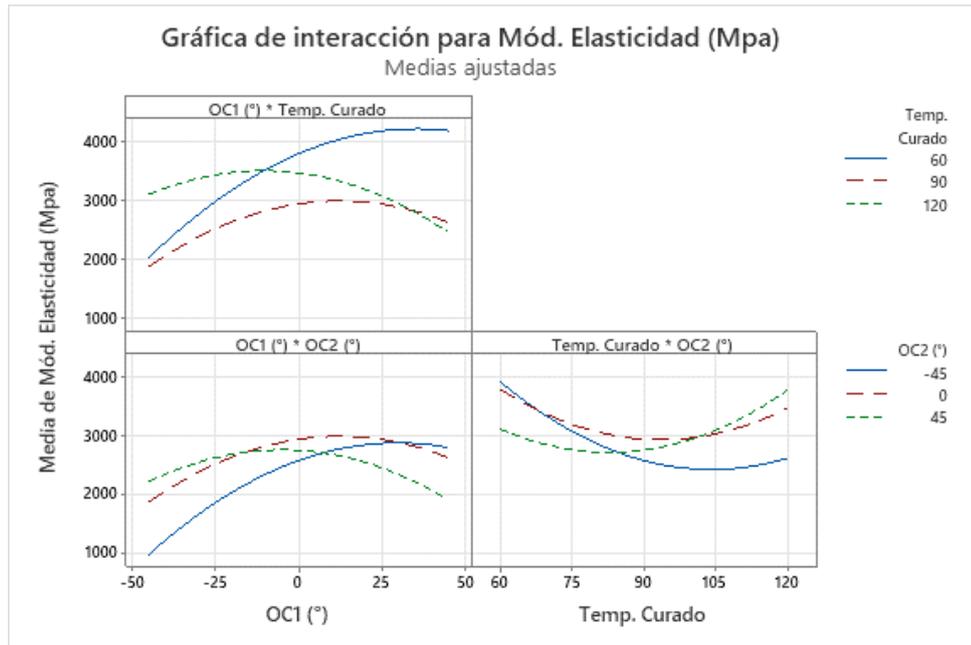


Figura 44: Análisis de interacción para el módulo de elasticidad a tracción (Sut).

En la figura 44 se observa que el módulo de elasticidad máximo se presenta a una combinación de 0 grados de orientación en ambas capas.

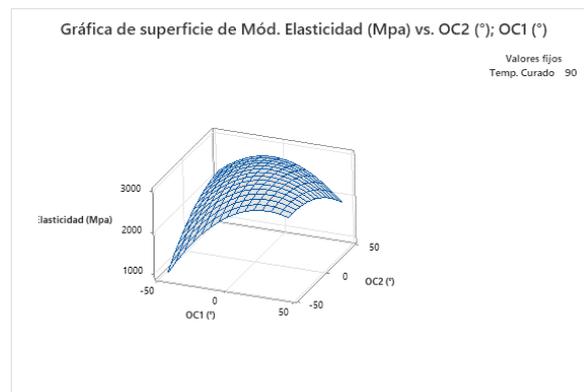


Figura 45: Gráfica de superficie de respuesta para el Sut en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 45 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado el módulo de elasticidad a tracción se puede obtener un esfuerzo alto al combinar 50 grados de orientación de la capa 1 con 60 grados de temperatura de curado.

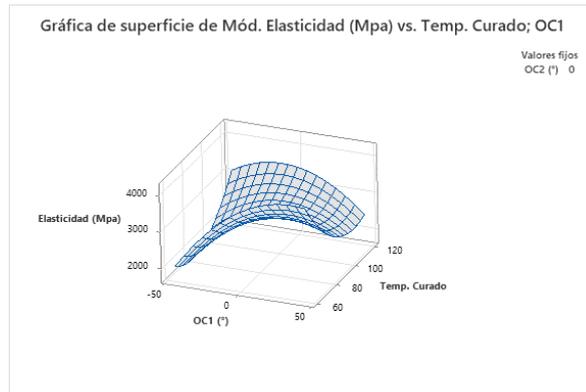


Figura 46: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 46 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado del módulo de elasticidad máximo, para obtener una carga alta variando estos factores es necesaria una combinación de 50° de orientación de la capa 2 con 120 y 60 grados de temperatura de curado.

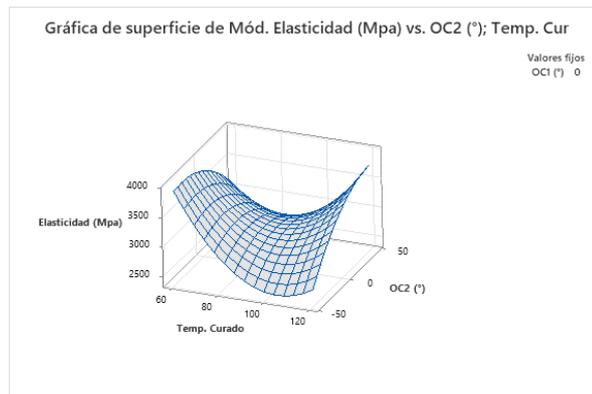


Figura 47: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtiene la combinación más adecuada para obtener el módulo de elasticidad máximo siendo la combinación más adecuada la de 45° de orientación de la capa 1, 60° de temperatura de curado y -45° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 47.

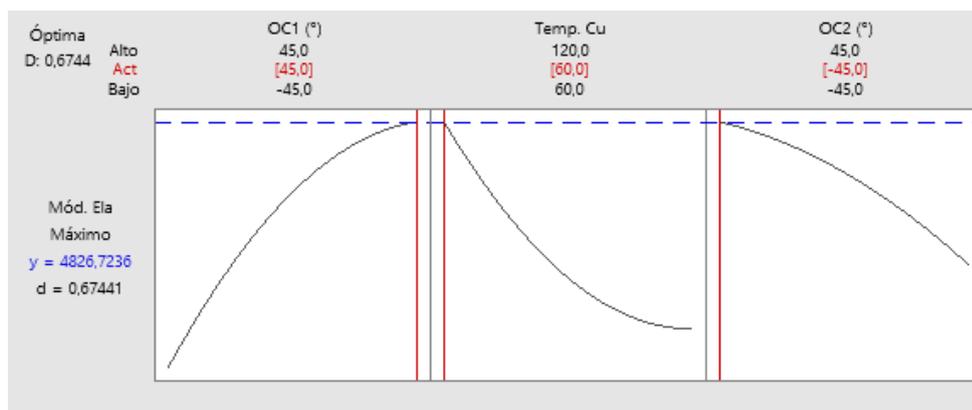


Figura 48: Análisis de optimización para el módulo de elasticidad.

Valores de predicción para la optimización del módulo de elasticidad.

En la tabla 23 se muestra la combinación de factores óptima para obtener el módulo de elasticidad máximo el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 70: Optimización del módulo de elasticidad.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	45
Temp. Curado	60
OC2 (°)	-45

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Mód. Elasticidad (Mpa)	4827	1336	(2115; 7538)	(14; 9639)

3.2.1.4. Elongación (%).

Para los resultados de elongación en los datos obtenidos del ensayo a tracción se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura 48 muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura 21, se muestra en la gráfica de probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de

varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

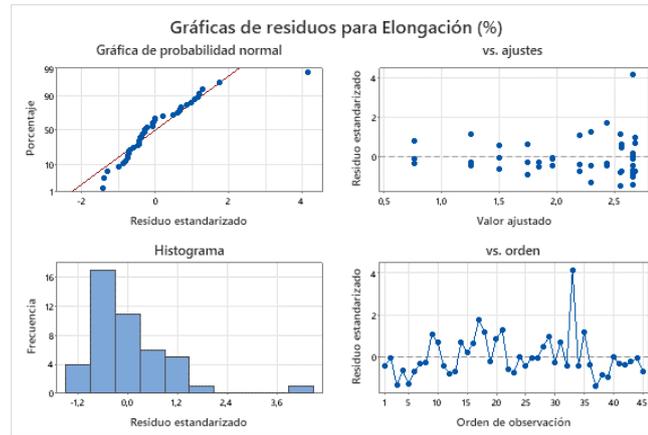


Figura 49: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a tracción a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en el Sut, este análisis muestra que los factores que influyen principalmente En el sut obtenido son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra.

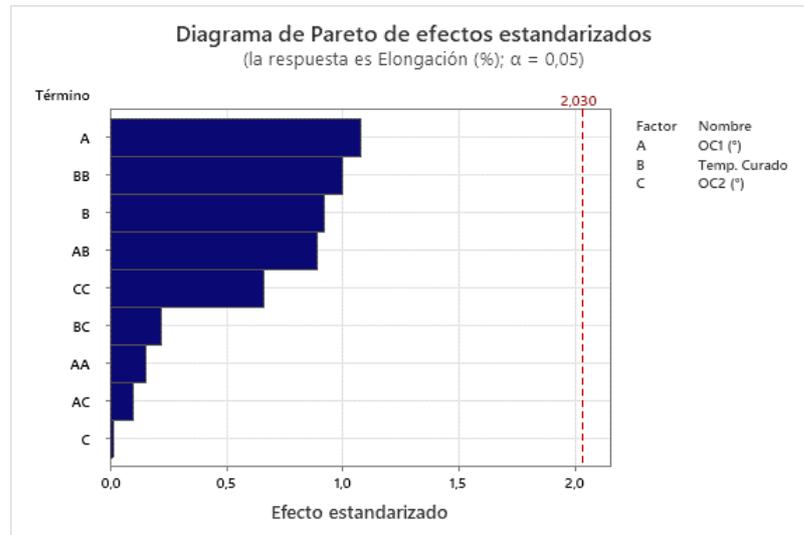


Figura 50: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados.

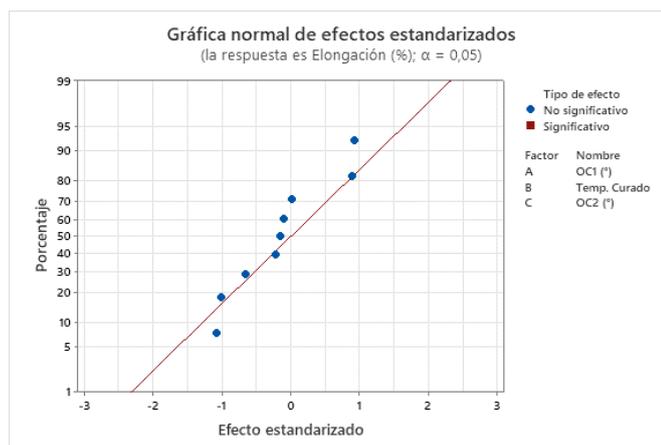


Figura 51: Gráfica normal de efectos estandarizados para la elongación.

La figura 51 muestra como inciden los factores de control en la elongación obtenida se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados de elongación, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también la resistencia a la tracción del nuevo material compuesto.

Análisis de Varianza

En la tabla 24 mediante el análisis ANOVA para los resultados del módulo de elasticidad a tracción se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 71: Análisis de ANOVA para la elongación

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	14,856	1,65069	0,47	0,886
Lineal	3	7,114	2,37123	0,67	0,574
OC1 (°)	1	4,117	4,11682	1,17	0,287
Temp. Curado	1	2,996	2,99627	0,85	0,363
OC2 (°)	1	0,001	0,00060	0,00	0,990
Cuadrado	3	4,756	1,58545	0,45	0,719
OC1 (°)*OC1 (°)	1	0,082	0,08161	0,02	0,880
Temp. Curado*Temp. Curado	1	3,546	3,54647	1,01	0,323
OC2 (°)*OC2 (°)	1	1,537	1,53699	0,44	0,513

Interacción de 2 factores	3	2,986	0,99540	0,28	0,838
OC1 (°)*Temp. Curado	1	2,784	2,78403	0,79	0,380
OC1 (°)*OC2 (°)	1	0,034	0,03413	0,01	0,922
Temp. Curado*OC2 (°)	1	0,168	0,16803	0,05	0,828
Error	35	123,303	3,52295		
Falta de ajuste	3	4,638	1,54603	0,42	0,742
Error puro	32	118,665	3,70828		
Total	44	138,159			

En la figura 50 se muestra los efectos principales para la elongación, en este caso se demuestra que la orientación de la capa 1 y la orientación de la capa 2 son significativas en el resultado de la elongación. La curva que denota mayor la significancia es la de la orientación de la capa 1 ya que es pronunciada, el factor menos significativo es la temperatura de curado que su curva se nota menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 2 y de la capa 1.

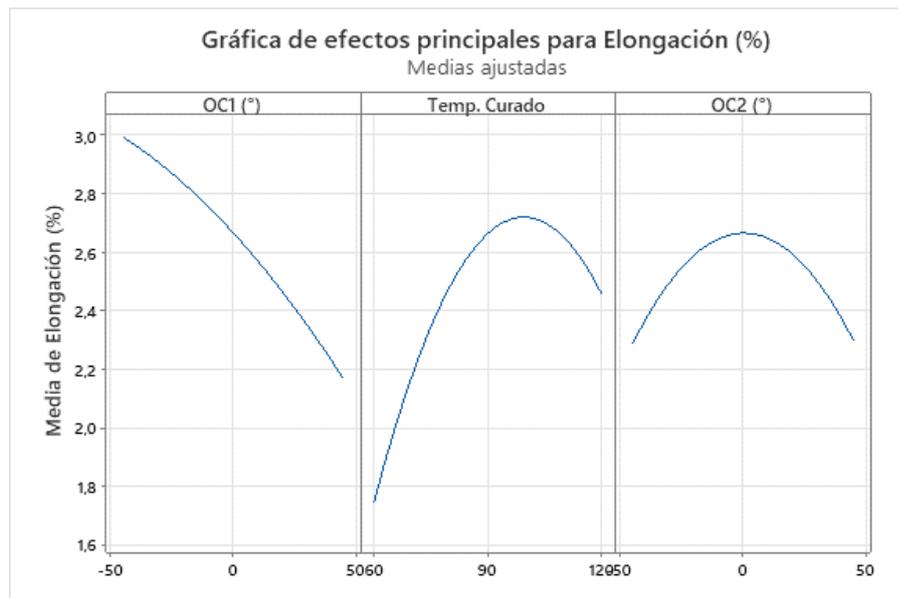


Figura 52: Análisis de efectos principales para la elongación

En las gráficas e interacción obtenidas para la elongación mostradas en la figura 52 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

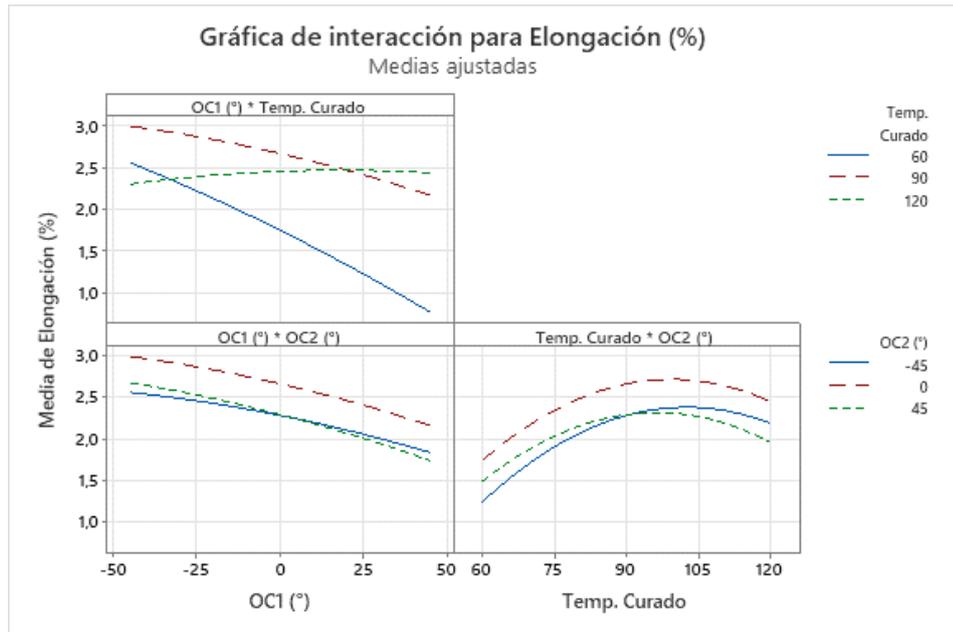


Figura 53: Análisis de interacción para la elongación

En la figura 51 se observa que la elongación máxima se presenta a una combinación de -50° de orientación de la capa 1 y 0 grados de orientación de la capa 2.

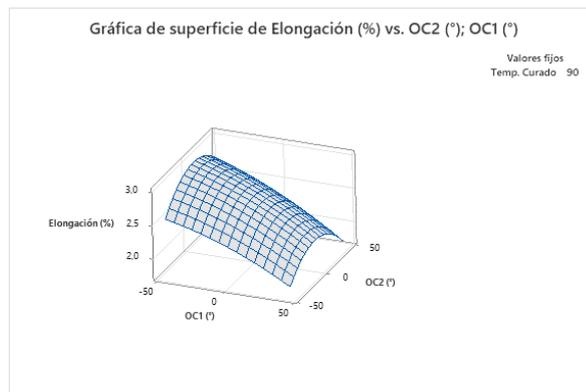


Figura 54: Gráfica de superficie de respuesta para la elongación en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 52 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado de la elongación a tracción se puede obtener un valor alto al combinar 50 grados de orientación de la capa 1 con 120 grados de temperatura de curado.

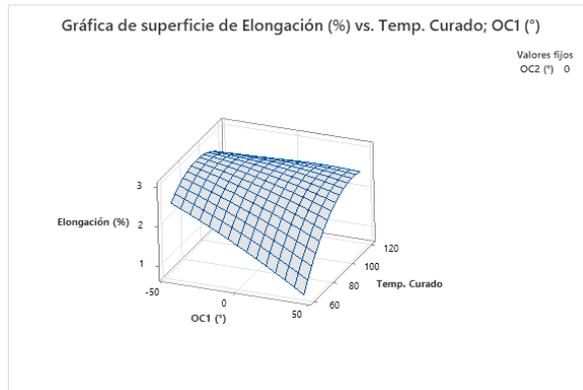


Figura 55: Gráfica de superficie de respuesta para la elongación en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 54 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado de la elongación, para obtener un valor alto variando estos factores es necesaria una combinación de 0° de orientación de la capa 2 con 100 grados de temperatura de curado.

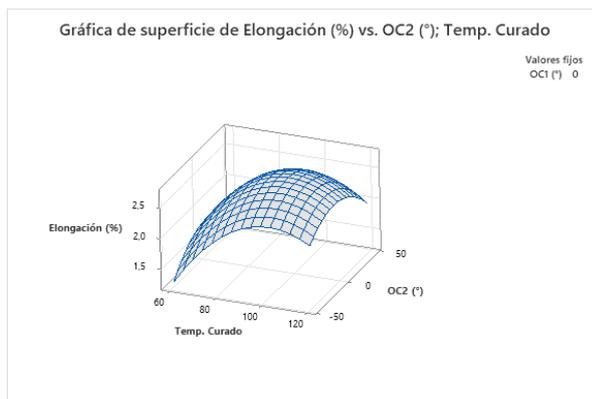


Figura 56: Gráfica de superficie de respuesta para la elongación en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtiene la combinación más adecuada para obtener la elongación mínima siendo la combinación más adecuada la de 45° de orientación de la capa 1, 60° de temperatura de curado y -45° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 55.

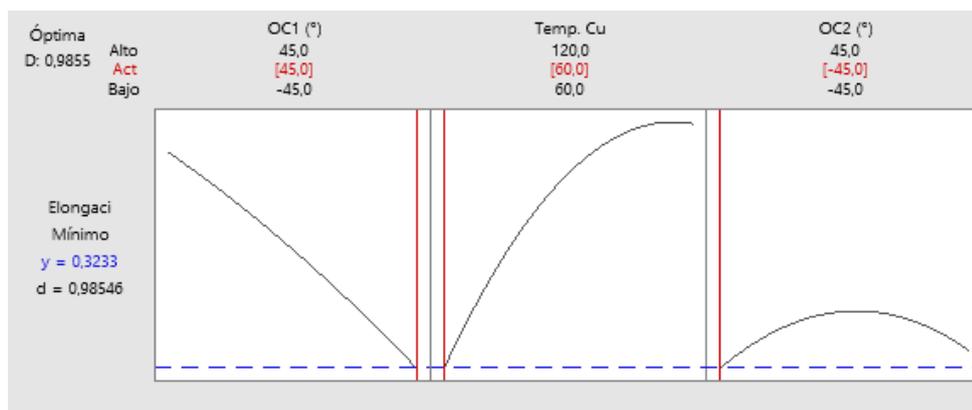


Figura 57: Análisis de optimización para la elongación.

Valores de predicción para la optimización de la elongación.

En la tabla 25 se muestra la combinación de factores óptima para obtener la elongación mínima el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 72: Optimización del módulo de elasticidad.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	45
Temp. Curado	60
OC2 (°)	-45

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Mód. Elasticidad (Mpa)	4827	1336	(2115; 7538)	(14; 9639)

3.2.2. Análisis del ensayo a flexión

3.2.2.1. Esfuerzo Máximo (MPa)

Mediante un análisis de superficie de respuesta ejecutado en los resultados del ensayo de flexión, específicamente para el esfuerzo máximo, se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura 54 muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura, se muestra en la gráfica de probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos

vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

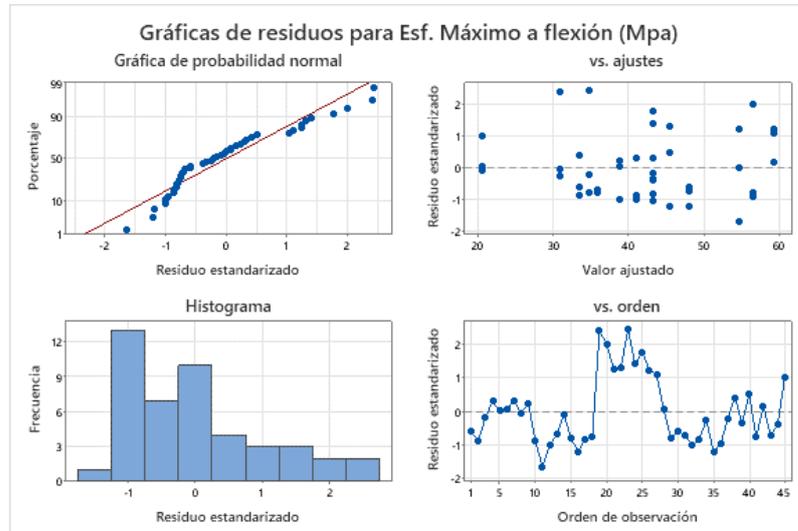


Figura 58: Gráficas de residuos para esfuerzo máximo a flexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en el Sut, este análisis muestra que los factores que influyen principalmente En el sut obtenido son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra.

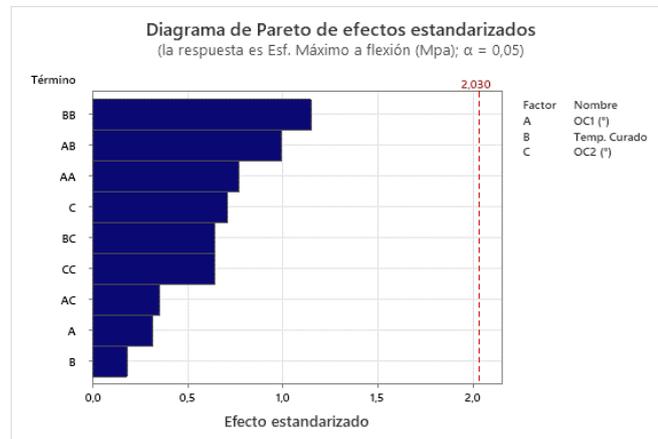


Figura 59: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el esfuerzo máximo a flexión.

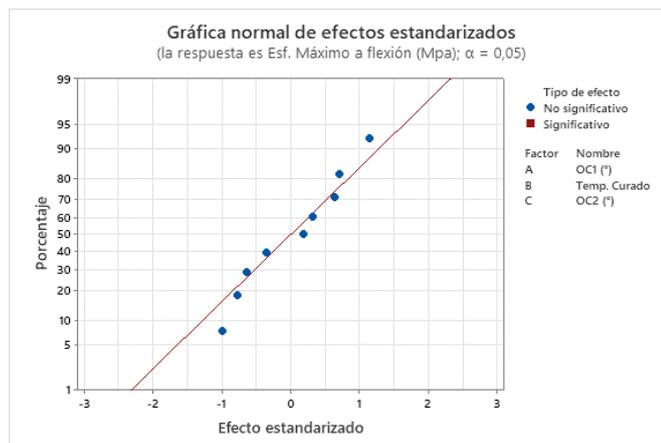


Figura 60: Gráfica normal de efectos estandarizados para el esfuerzo máximo a flexión.

La figura 60 muestra como inciden los factores de control en el esfuerzo máximo a tracción obtenido se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados obtenidos, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también la resistencia a la flexión del nuevo material compuesto.

Análisis de Varianza

En la tabla 26 mediante el análisis ANOVA para los resultados del esfuerzo a flexión se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 73: Análisis de ANOVA para el esfuerzo de máximo a flexión

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	4439,3	493,25	0,52	0,849
Lineal	3	602,1	200,71	0,21	0,887
OC1 (°)	1	94,7	94,72	0,10	0,754
Temp. Curado	1	31,2	31,17	0,03	0,857
OC2 (°)	1	476,2	476,24	0,50	0,483
Cuadrado	3	2385,1	795,02	0,84	0,481
OC1 (°)*OC1 (°)	1	564,4	564,41	0,60	0,445
Temp. Curado*Temp. Curado	1	1250,7	1250,71	1,32	0,258
OC2 (°)*OC2 (°)	1	390,9	390,93	0,41	0,525

Interacción de 2 factores	3	1452,1	484,03	0,51	0,677
OC1 (°) *Temp. Curado	1	939,2	939,16	0,99	0,326
OC1 (°) *OC2 (°)	1	118,8	118,82	0,13	0,725
Temp. Curado*OC2 (°)	1	394,1	394,11	0,42	0,523
Error	35	33114,3	946,12		
Falta de ajuste	3	6983,2	2327,72	2,85	0,053
Error puro	32	26131,1	816,60		
Total	44	37553,6			

En la figura 57 se muestra los efectos principales para el esfuerzo máximo a flexión, en este caso se demuestra que la orientación de la capa 1 y la orientación de la capa 2 son significativas en el resultado. La curva que denota mayor la significancia es la de la orientación de la capa 2 ya que es pronunciada, el factor menos significativo es la temperatura de curado que su curva se nota menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 2 y de la capa 1.

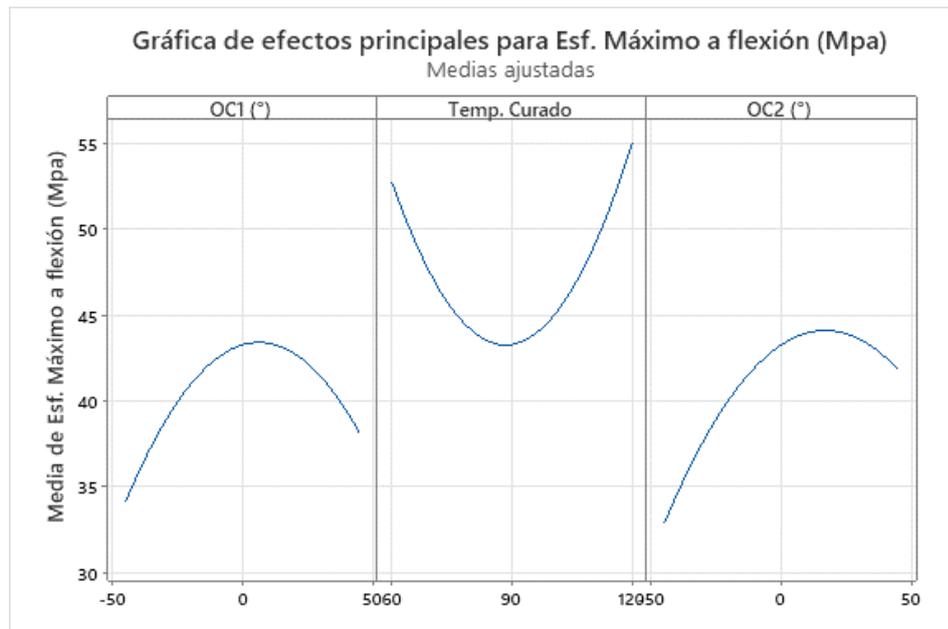


Figura 61: Análisis de efectos principales para el esfuerzo máximo a flexión.

En las gráficas e interacción obtenidas para el esfuerzo máximo a flexión mostradas en la figura 61 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

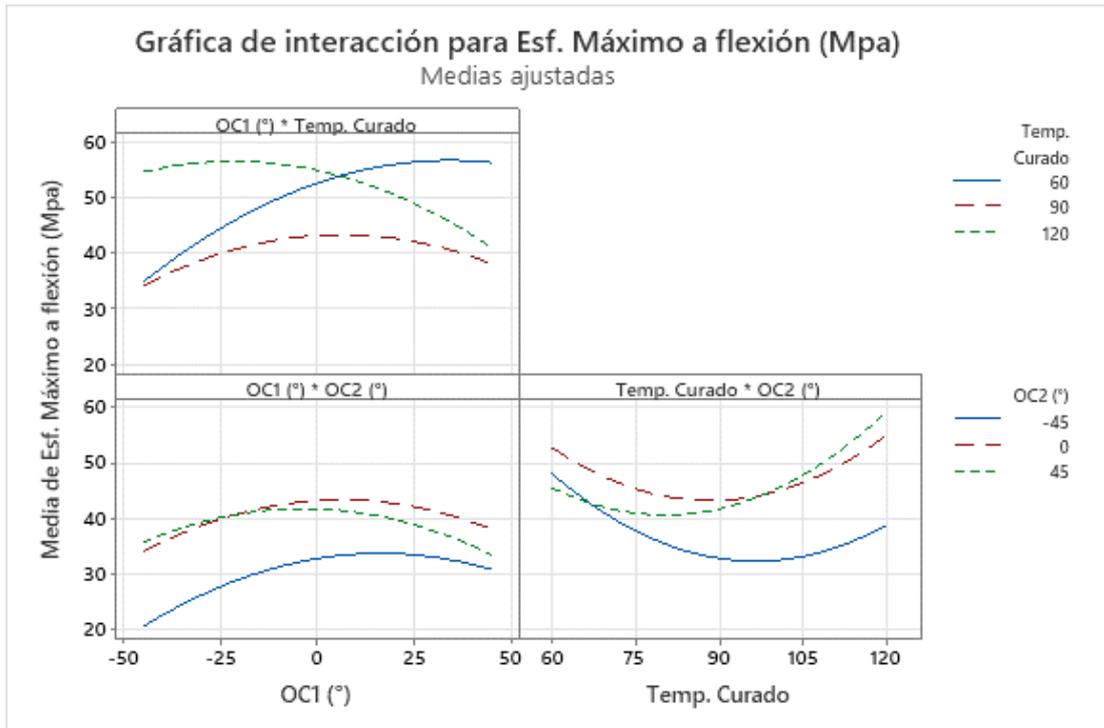


Figura 62: Análisis de interacción para el esfuerzo máximo a flexión.

En la figura 62 se observa que el esfuerzo máximo a flexión se presenta a una combinación de -0° de orientación de la capa 1 y 0 grados de orientación de la capa 2.

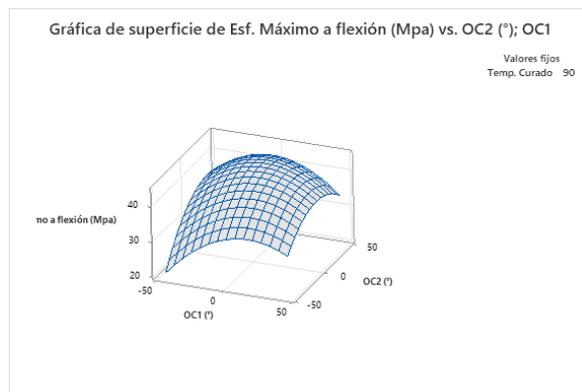


Figura 63: Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo a flexión en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 63 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado el esfuerzo máximo a flexión se puede obtener un valor alto al combinar -50 grados de orientación de la capa 1 con 120 grados de temperatura de curado.

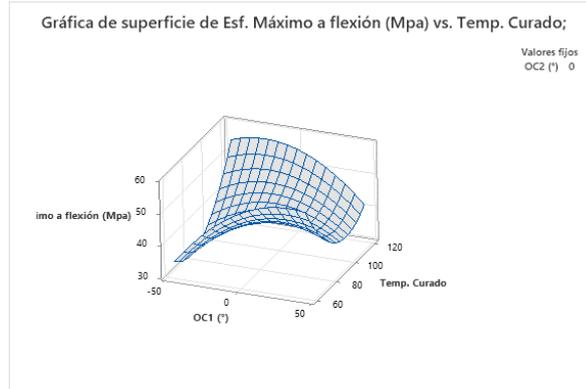


Figura 64: Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo a flexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 64 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado del esfuerzo máximo a flexión, para obtener un valor alto variando estos factores es necesaria una combinación de 50° de orientación de la capa 2 con 120 grados de temperatura de curado.

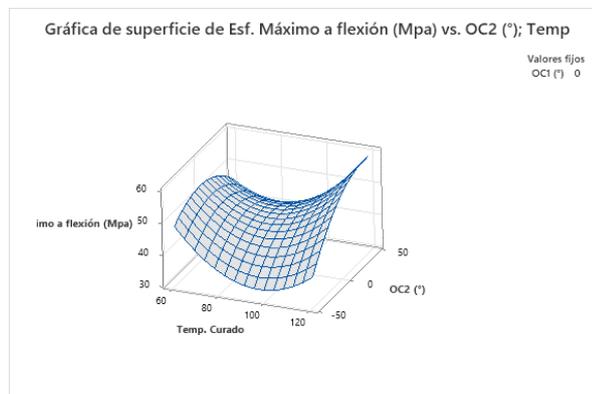


Figura 65: Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo a flexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtiene la combinación más adecuada para obtener el esfuerzo máximo a flexión siendo la combinación más adecuada la de 31.36° de orientación de la capa 1, 120° de temperatura de curado y 45° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 65.

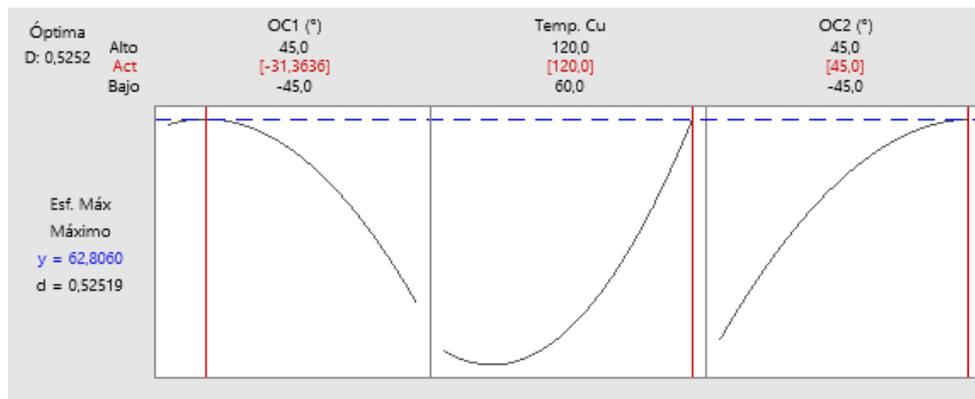


Figura 66: Análisis de optimización para el esfuerzo máximo a flexión.

Valores de predicción para la optimización del Sut.

En la tabla 27 se muestra la combinación de factores óptima para obtener la el esfuerzo a flexión máximo el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 74: Optimización del Sut.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	-31,3636
Temp. Curado	120
OC2 (°)	45

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Esf. Máximo a flexión (Mpa)	62,8	17,7	(26,8; 98,8)	(-9,3; 134,9)

3.2.2.2. Carga máxima a flexión (N)

Mediante un análisis de superficie de respuesta ejecutado en los resultados del ensayo de tracción, específicamente para la carga a flexión, se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura 67, se muestra en la gráfica de probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos vs

ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

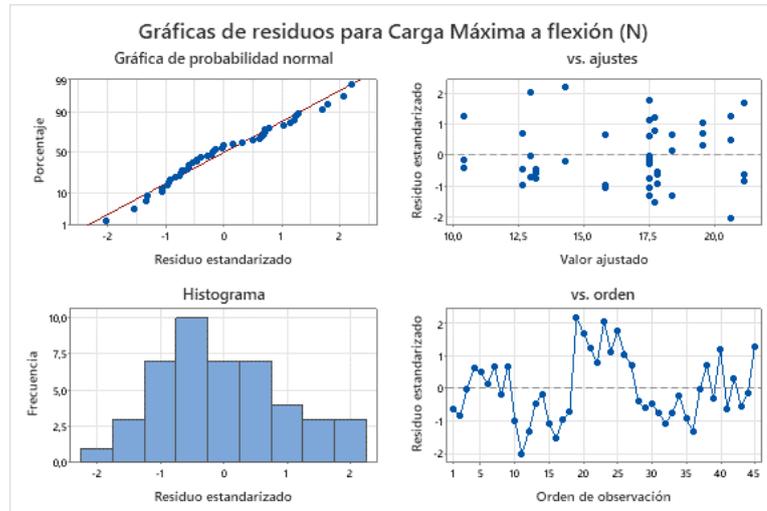


Figura 67: Gráficas de residuos para la carga máxima a flexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en la carga máxima a flexión, este análisis muestra que los factores que influyen principalmente En el sut obtenido son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra.

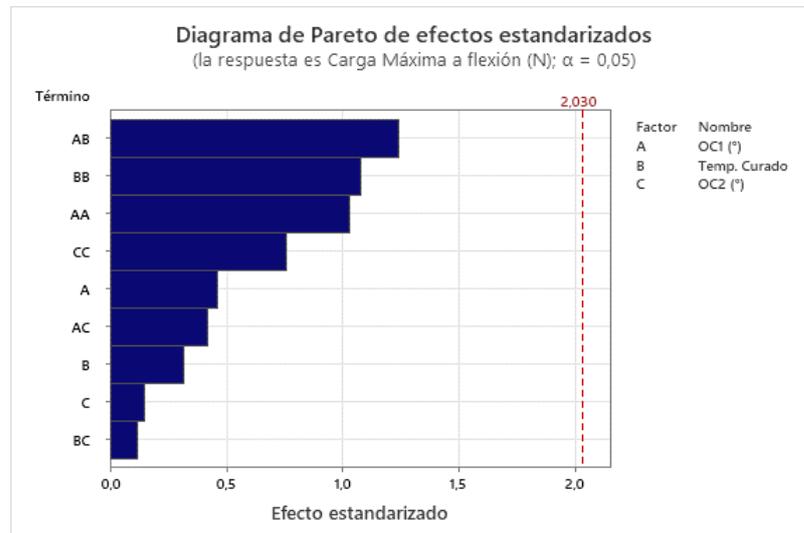


Figura 68: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la carga máxima a flexión.

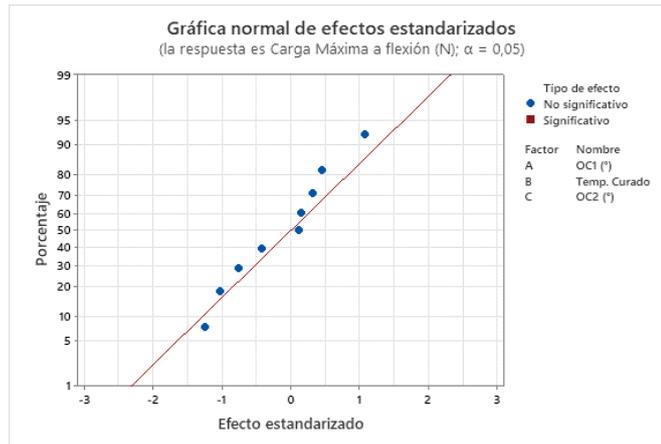


Figura 69: Gráfica normal de efectos estandarizados para ella carga máxima a flexión.

La figura 69 muestra como inciden los factores de control en la carga máxima a flexión obtenida se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados obtenidos, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también la carga máxima a flexión del nuevo material compuesto.

Análisis de Varianza

En la tabla 28 mediante el análisis ANOVA para los resultados la carga máxima a flexión se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 75. Análisis de ANOVA para la carga máxima a flexión

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	416,52	46,280	0,56	0,818
Lineal	3	27,73	9,244	0,11	0,952
OC1 (°)	1	17,48	17,476	0,21	0,648
Temp. Curado	1	8,39	8,390	0,10	0,751
OC2 (°)	1	1,86	1,865	0,02	0,881
Cuadrado	3	246,64	82,215	1,00	0,404
OC1 (°) *OC1 (°)	1	87,46	87,456	1,06	0,309
Temp. Curado*Temp. Curado	1	95,37	95,374	1,16	0,289
OC2 (°) *OC2 (°)	1	47,65	47,648	0,58	0,452
Interacción de 2 factores	3	142,15	47,383	0,58	0,634

OC1 (°) *Temp. Curado	1	126,62	126,620	1,54	0,223
OC1 (°) *OC2 (°)	1	14,34	14,345	0,17	0,679
Temp. Curado*OC2 (°)	1	1,18	1,184	0,01	0,905
Error	35	2878,00	82,229		
Falta de ajuste	3	421,41	140,472	1,83	0,162
Error puro	32	2456,59	76,768		
Total	44	3294,53			

En la figura 69 se muestra los efectos principales para la carga máxima a flexión, en este caso se demuestra que la orientación de la capa 1 y la orientación de la capa 2 son significativas en el resultado. La curva que denota mayor la significancia es la de la orientación de la capa 2 ya que es más pronunciada, el factor menos significativo es la orientación de la capa 1 que su curva se nota menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 2 y de la capa 1.

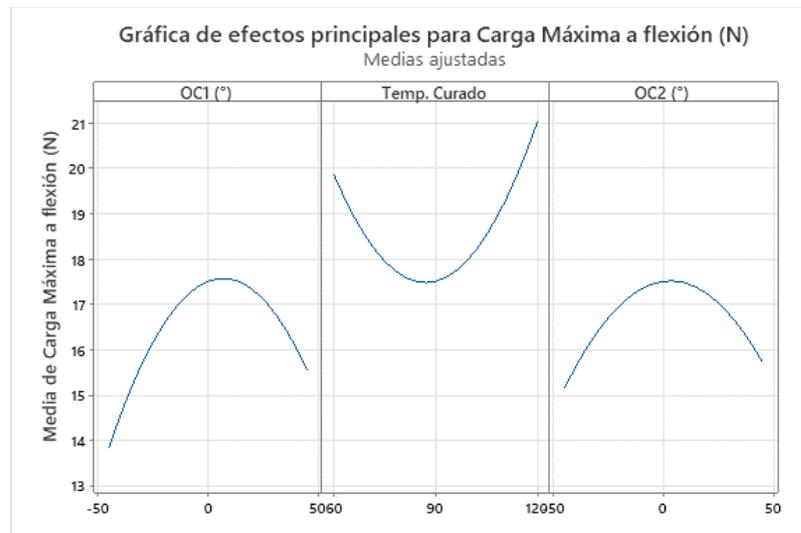


Figura 70: Análisis de efectos principales para la carga máxima a flexión.

En las gráficas e interacción obtenidas para la carga máxima a flexión mostradas en la figura 71 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

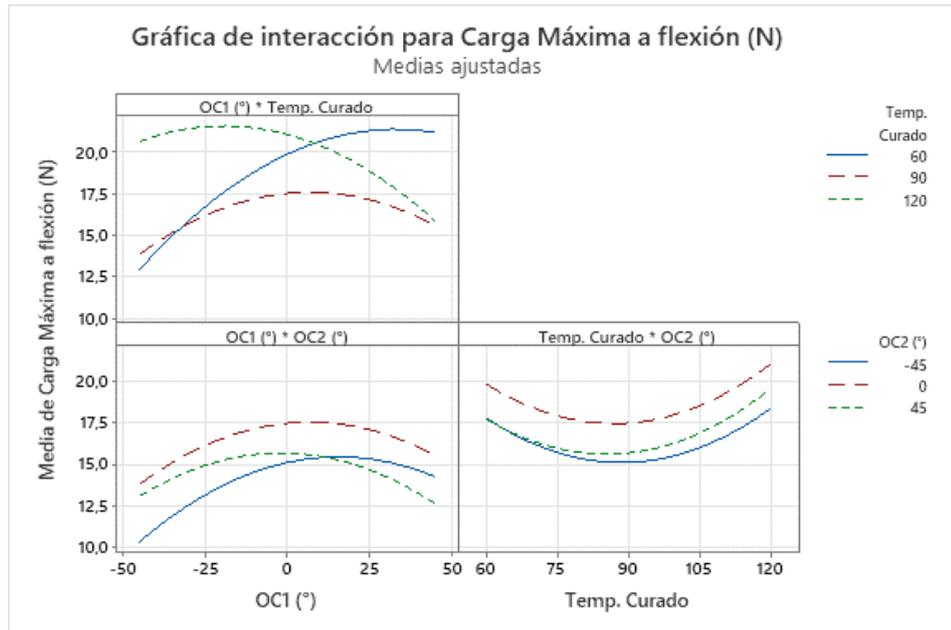


Figura 71: Análisis de interacción para la carga máxima a flexión.

En la figura 71 se observa que la elongación máxima se presenta a una combinación de -0° de orientación de la capa 1 y 0 grados de orientación de la capa 2.

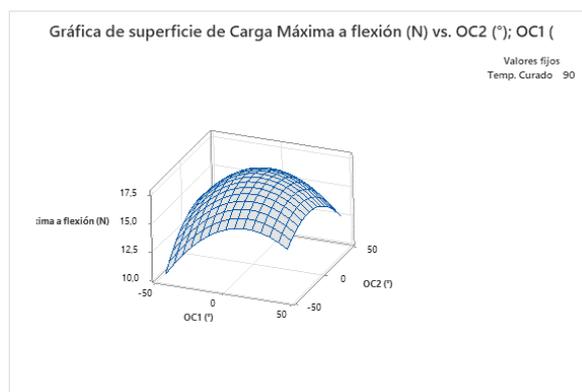


Figura 72: Gráfica de superficie de respuesta para la carga máxima a flexión en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 73 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado de la carga máxima a flexión se puede obtener un valor alto al combinar -50 grados de orientación de la capa 1 con 120 grados de temperatura de curado.

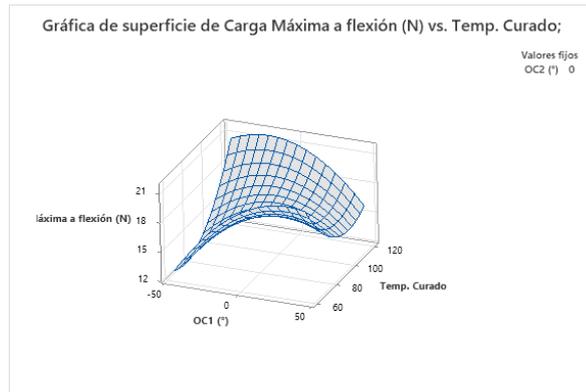


Figura 73: Gráfica de superficie de respuesta para la carga máxima a flexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 74 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado de la carga máxima a flexión, para obtener un valor alto variando estos factores es necesaria una combinación de 0° de orientación de la capa 2 con 120 grados de temperatura de curado.

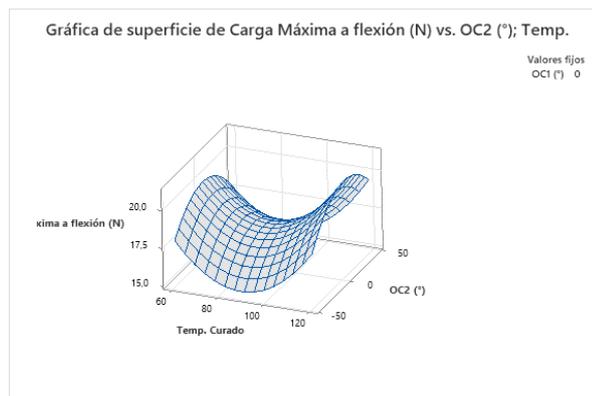


Figura 74: Gráfica de superficie de respuesta para la carga máxima a flexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtiene la combinación más adecuada para obtener la carga máxima a flexión siendo la combinación más adecuada la de 35° de orientación de la capa 1, 60° de temperatura de curado y -9,54° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 76.

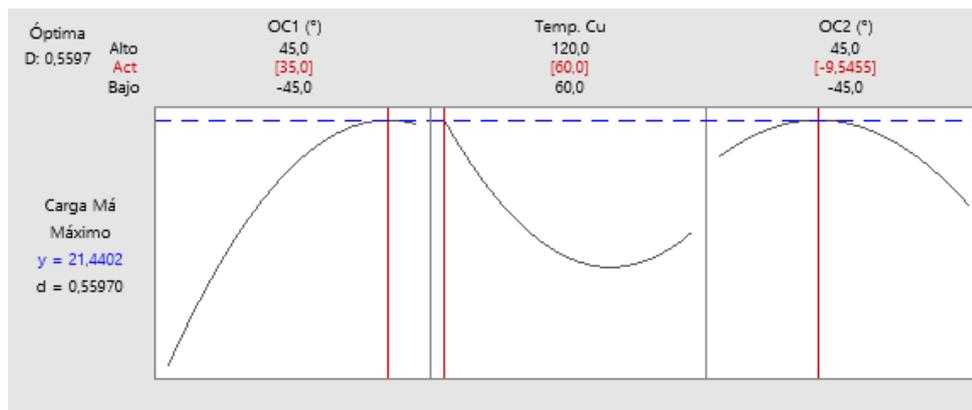


Figura 76: Análisis de optimización para la carga máxima a flexión.

Valores de predicción para la optimización de la carga máxima a flexión

En la tabla 29 se muestra la combinación de factores óptima para obtener la carga máxima a flexión el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 76. Optimización de la carga máxima a flexión.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	35
Temp. Curado	60
OC2 (°)	-9,54545

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Carga Máxima a flexión (N)	21,44	3,91	(13,50; 29,38)	(1,39; 41,49)

3.2.2.3. Módulo de elasticidad a flexión (MPa)

Mediante un análisis de superficie de respuesta ejecutado en los resultados del ensayo de tracción, específicamente para el módulo de elasticidad a flexión, se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura 77, se muestra en la gráfica de probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota

por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

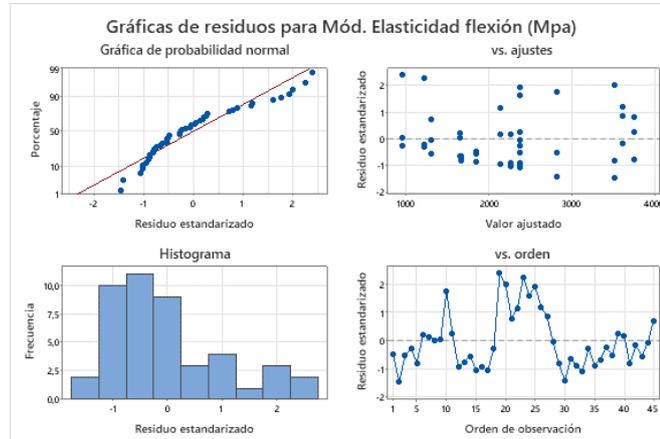


Figura 77: Gráficas de residuos para el módulo de elasticidad a flexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en el módulo de elasticidad a flexión, este análisis muestra que los factores que influyen principalmente En el sut obtenido son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra.

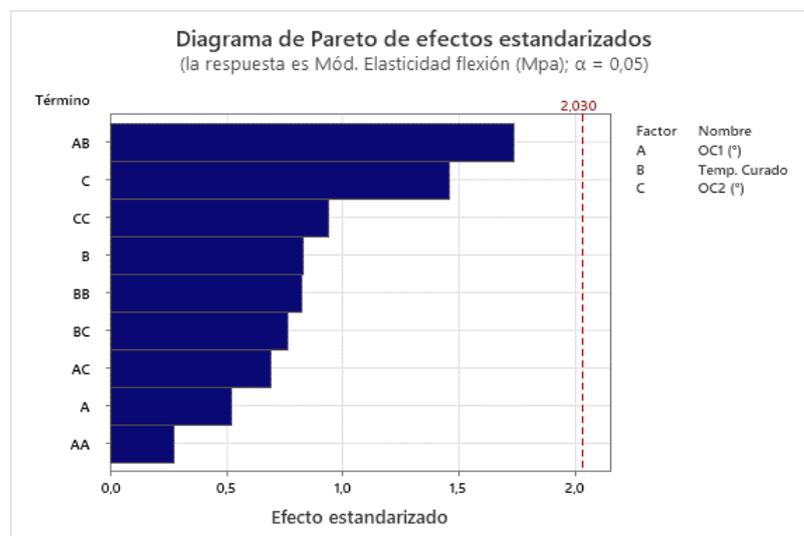


Figura 78: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para el módulo de elasticidad a flexión.

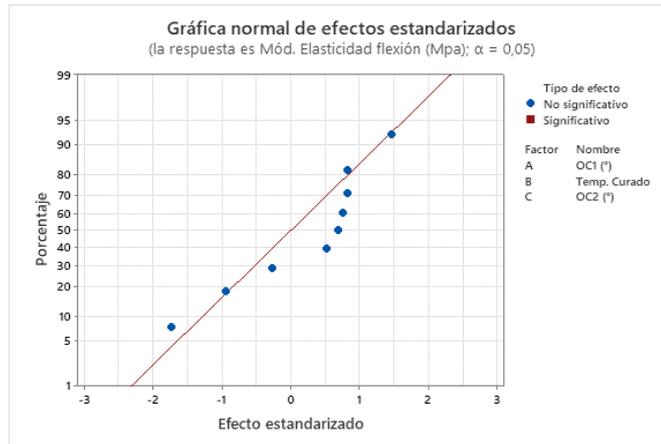


Figura 79: Gráfica normal de efectos estandarizados para el módulo de elasticidad a flexión.

La figura 79 muestra como inciden los factores de control en el esfuerzo máximo a tracción obtenido se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados obtenidos, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también el módulo de elasticidad a flexión del nuevo material compuesto, aunque en este caso hay puntos fuera de la pendiente.

Análisis de Varianza

En la tabla 30 mediante el análisis ANOVA para los resultados del módulo de elasticidad a flexión se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 77. Análisis de ANOVA para el módulo de elasticidad a flexión

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	31955969	3550663	0,99	0,463
Lineal	3	11052351	3684117	1,03	0,391
OC1 (°)	1	971635	971635	0,27	0,605
Temp. Curado	1	2476838	2476838	0,69	0,411
OC2 (°)	1	7603878	7603878	2,13	0,153
Cuadrado	3	6298616	2099539	0,59	0,627
OC1 (°) *OC1 (°)	1	272745	272745	0,08	0,784
Temp. Curado*Temp. Curado	1	2426112	2426112	0,68	0,415
OC2 (°) *OC2 (°)	1	3151754	3151754	0,88	0,354
Interacción de 2 factores	3	14605001	4868334	1,36	0,270

OC1 (°) *Temp. Curado	1	10797724	10797724	3,02	0,091
OC1 (°) *OC2 (°)	1	1713096	1713096	0,48	0,493
Temp. Curado*OC2 (°)	1	2094181	2094181	0,59	0,449
Error	35	125005118	3571575		
Falta de ajuste	3	20844307	6948102	2,13	0,115
Error puro	32	104160811	3255025		
Total	44	156961086			

En la figura 77 se muestra los efectos principales para el módulo de elasticidad a flexión, en este caso se demuestra que la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado son significativas en el resultado del módulo de elasticidad a flexión. La curva que denota mayor la significancia es la de la orientación de la capa 1 ya que es pronunciada, el factor menos significativo es la temperatura de curado que su curva se nota menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 2 y de la capa 1.

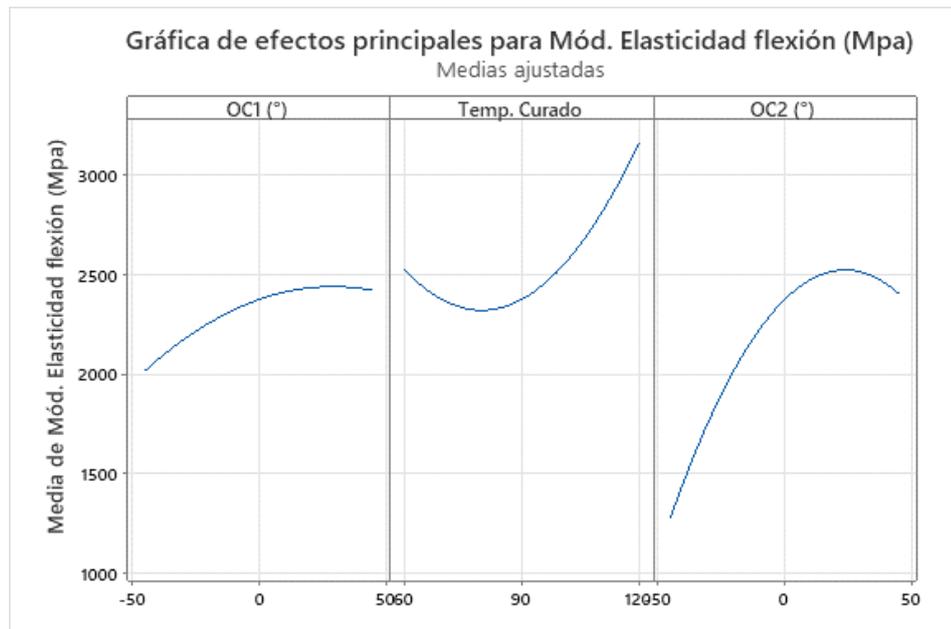


Figura 80: Análisis de efectos principales para el módulo de elasticidad a flexión.

En las gráficas e interacción obtenidas para el esfuerzo máximo a flexión mostradas en la figura 80 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

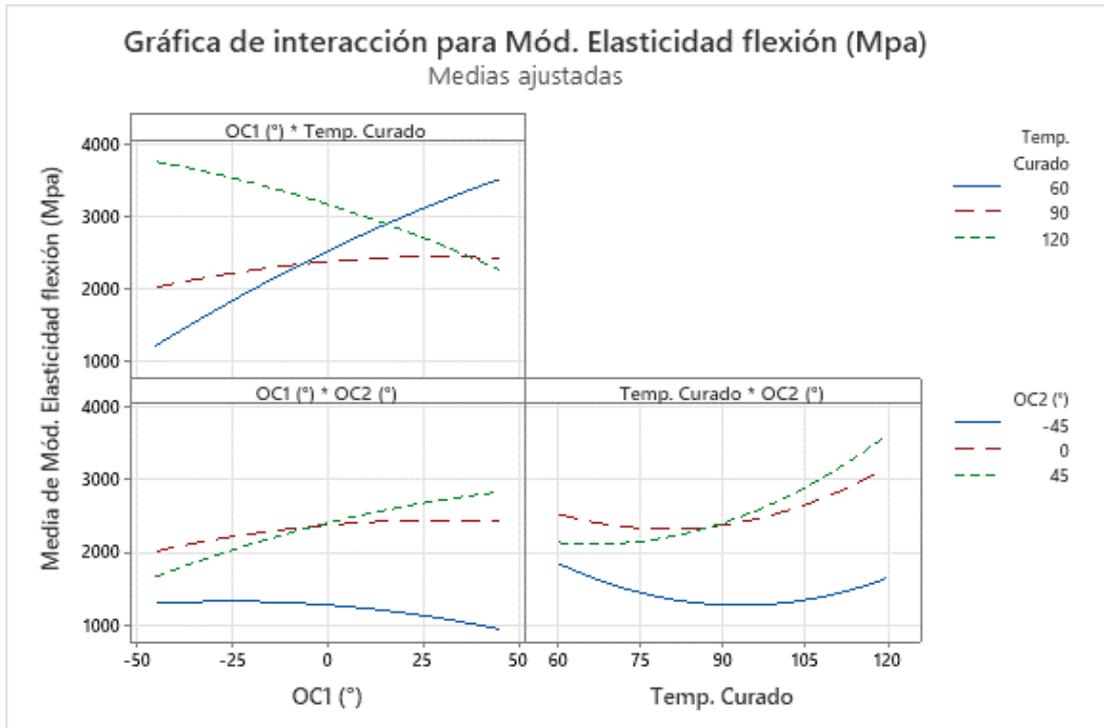


Figura 81: Análisis de interacción para el módulo de elasticidad a flexión.

En la figura 81 se observa que el módulo de elasticidad máximo se presenta a una combinación de 50° de orientación de la capa 1 y 50 grados de orientación de la capa 2.

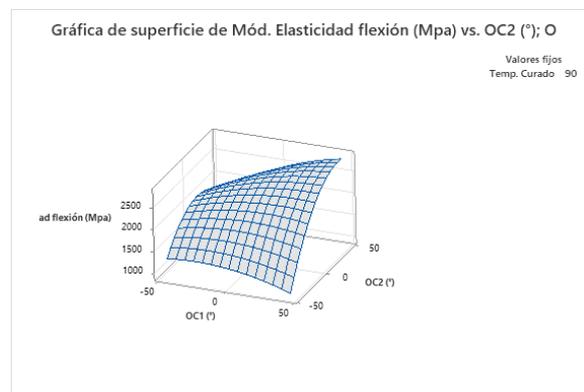


Figura 82: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad a flexión en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 82 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado de la elongación a tracción se puede obtener un valor alto al combinar -50 grados de orientación de la capa 1 con 120 grados de temperatura de curado.

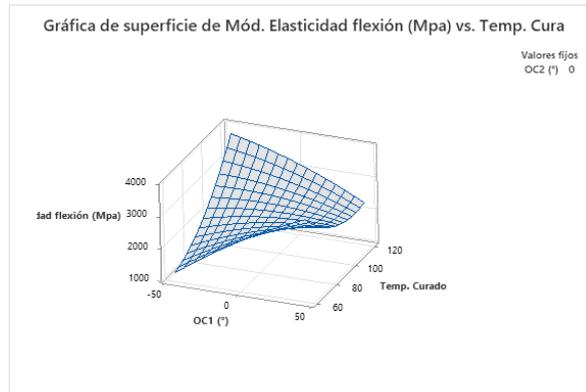


Figura 83: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad a flexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 83 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado del módulo de elasticidad a flexión, para obtener un valor alto variando estos factores es necesaria una combinación de 50° de orientación de la capa 2 con 120 grados de temperatura de curado.

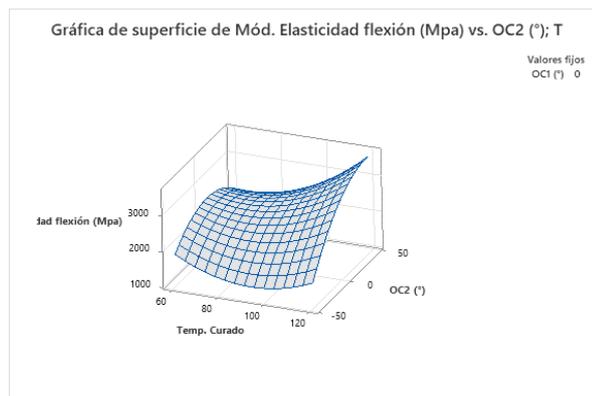


Figura 84: Gráfica de superficie de respuesta para el módulo de elasticidad a flexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtiene la combinación más adecuada para obtener el módulo de elasticidad a flexión máximo siendo la combinación más adecuada la de 45° de orientación de la capa 1, 120° de temperatura de curado y 25° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 85.

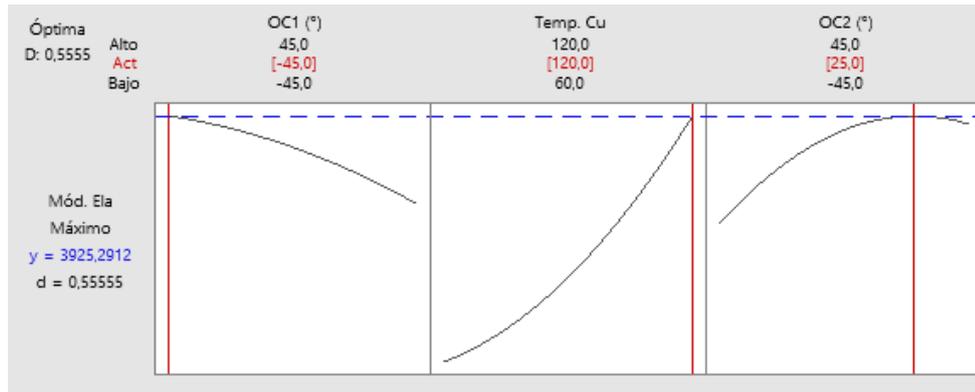


Figura 85: Análisis de optimización para el módulo de elasticidad a flexión.

Valores de predicción para la optimización del Sut.

En la tabla 31 se muestra la combinación de factores óptima para obtener el módulo de elasticidad a flexión máximo, así como el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 78. Optimización del módulo de elasticidad a flexión.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	-45
Temp. Curado	120
OC2 (°)	25

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Mód. Elasticidad flexión (Mpa)	3925	1030	(1834; 6017)	(-444; 8295)

3.2.2.4. Deflexión (mm)

Mediante un análisis de superficie de respuesta ejecutado en los resultados del ensayo de flexión, específicamente para la deflexión, se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura 86, se muestra en la gráfica de

probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

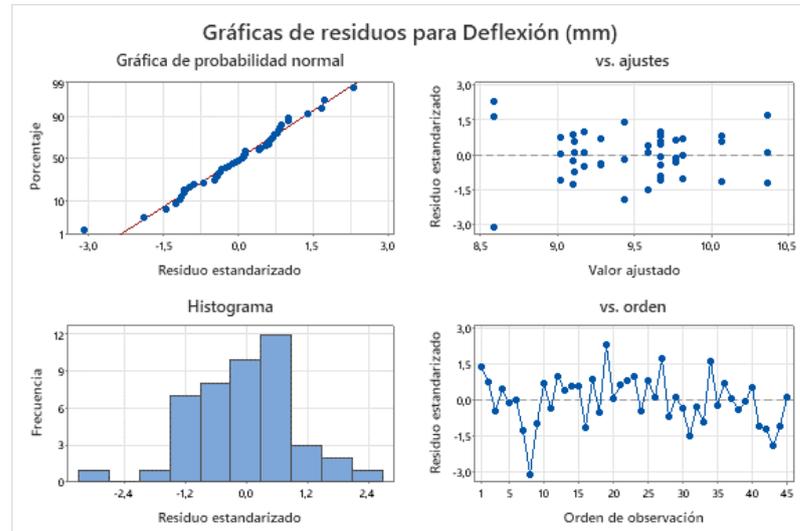


Figura 86: Gráficas de residuos para la deflexión a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en la deflexión, este análisis muestra que los factores que influyen principalmente En la deflexión obtenida son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra.

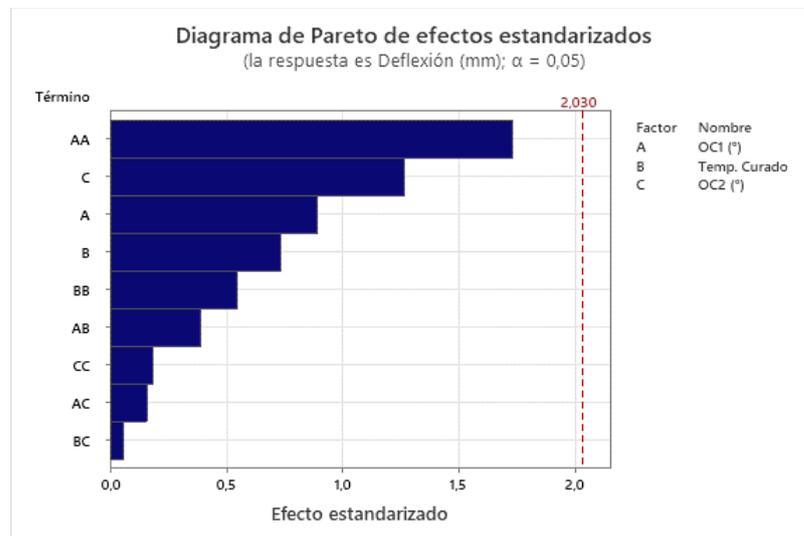


Figura 87: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la deflexión

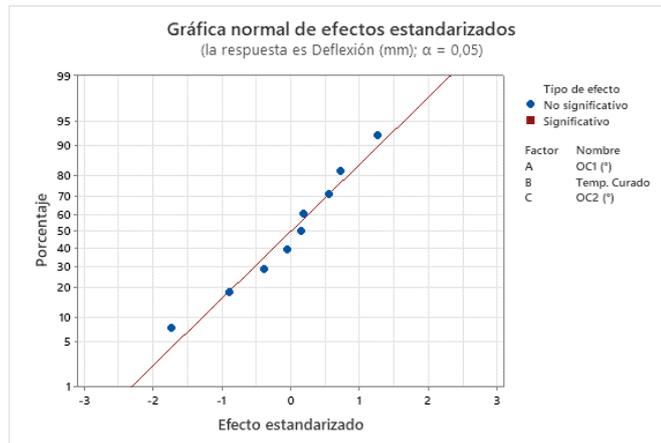


Figura 88: Gráfica normal de efectos estandarizados para la deflexión.

La figura 88 muestra como inciden los factores de control en el esfuerzo máximo a tracción obtenido se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados obtenidos,

Análisis de Varianza

En la tabla 24 mediante el análisis ANOVA para los resultados de la deflexión se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 79. Análisis de ANOVA para la deflexión

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	8,6131	0,95701	0,74	0,670
Lineal	3	3,8055	1,26850	0,98	0,413
OC1 (°)	1	1,0292	1,02920	0,80	0,378
Temp. Curado	1	0,6936	0,69360	0,54	0,469
OC2 (°)	1	2,0827	2,08270	1,61	0,213
Cuadrado	3	4,5761	1,52536	1,18	0,332
OC1 (°)*OC1 (°)	1	3,8741	3,87405	2,99	0,092
Temp. Curado*Temp. Curado	1	0,3906	0,39058	0,30	0,586
OC2 (°)*OC2 (°)	1	0,0448	0,04482	0,03	0,853
Interacción de 2 factores	3	0,2315	0,07717	0,06	0,981
OC1 (°)*Temp. Curado	1	0,1951	0,19508	0,15	0,700

OC1 (°)*OC2 (°)	1	0,0320	0,03203	0,02	0,876
Temp. Curado*OC2 (°)	1	0,0044	0,00441	0,00	0,954
Error	35	45,2742	1,29355		
Falta de ajuste	3	1,1560	0,38532	0,28	0,840
Error puro	32	44,1182	1,37869		
Total	44	53,8873			

En la figura 87 se muestra los efectos principales para la deflexión, en este caso se demuestra que la temperatura de curado y la orientación de la capa 2 son significativas en el resultado de la elongación. La curva que denota mayor la significancia es la de la orientación de la capa 2 ya que es pronunciada, el factor menos significativo es la temperatura de curado que su curva se nota menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 2 y temperatura de curado.

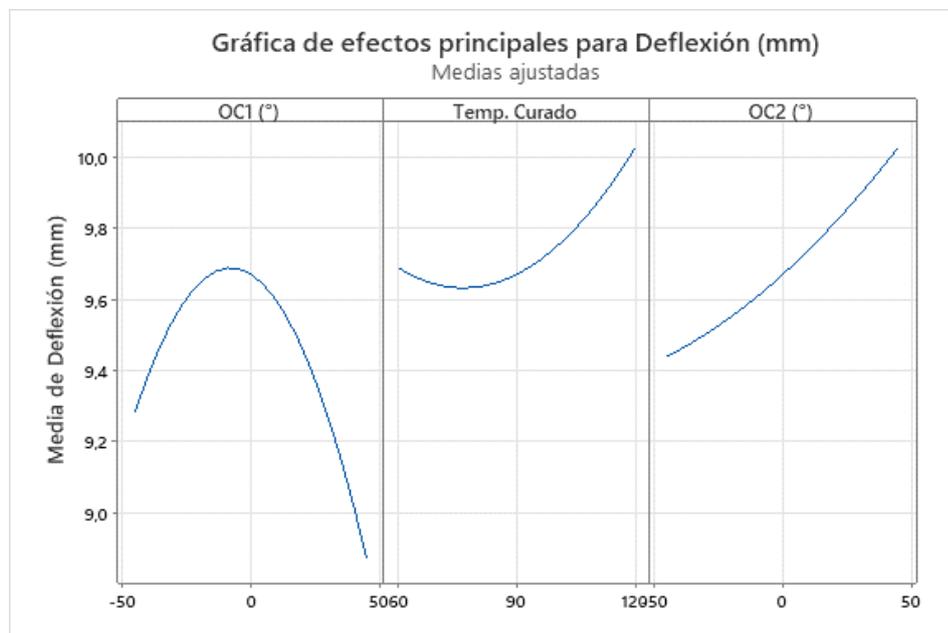


Figura 89: Análisis de efectos principales para la deflexión

En las gráficas e interacción obtenidas para la deflexión mostradas en la figura 89 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

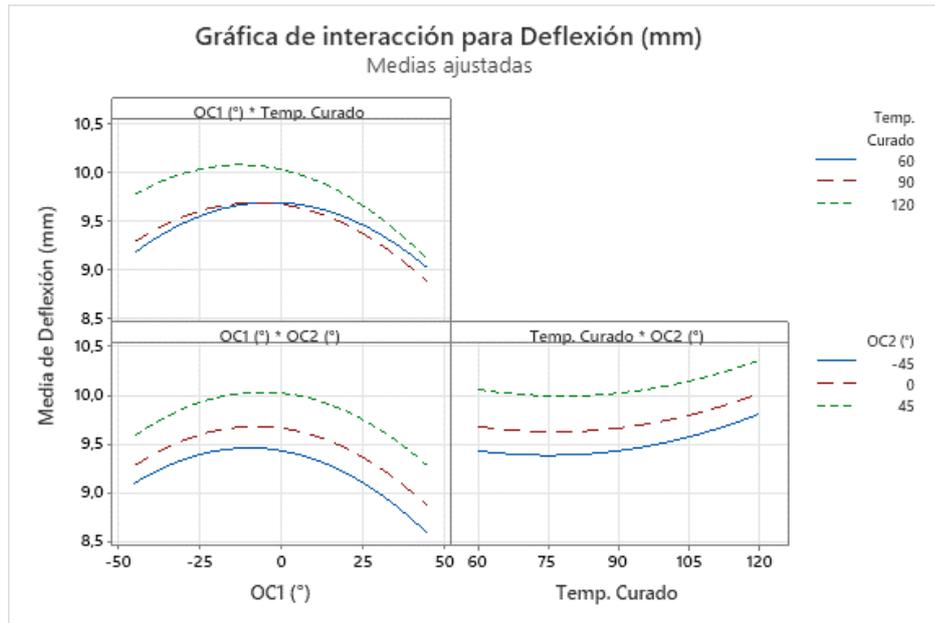


Figura 90: Análisis de interacción para la deflexión.

En la figura 90 se observa que la deflexión máxima se presenta a una combinación de 0° de orientación de la capa 1 y 0 grados de orientación de la capa 2.

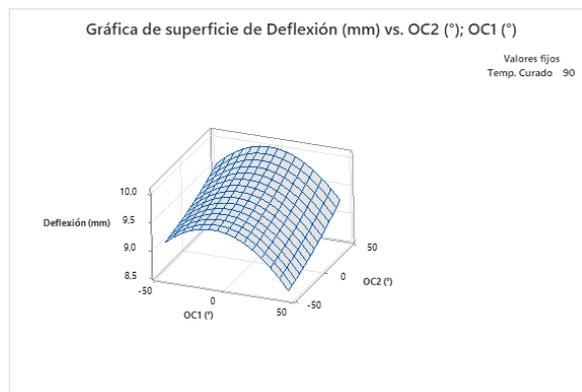


Figura 91: Gráfica de superficie de respuesta para la deflexión en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 91 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado de la deflexión se puede obtener un valor alto al combinar 0 grados de orientación de la capa 1 con 120 grados de temperatura de curado.

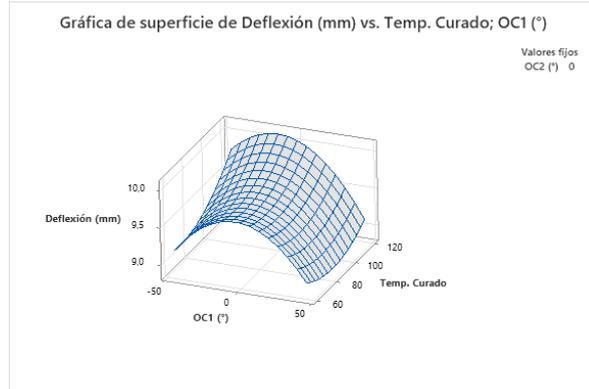


Figura 92: Gráfica de superficie de respuesta para la deflexión en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 92 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado de la deflexión, para obtener un valor alto variando estos factores es necesaria una combinación de 50° de orientación de la capa 2 con 100 grados de temperatura de curado.

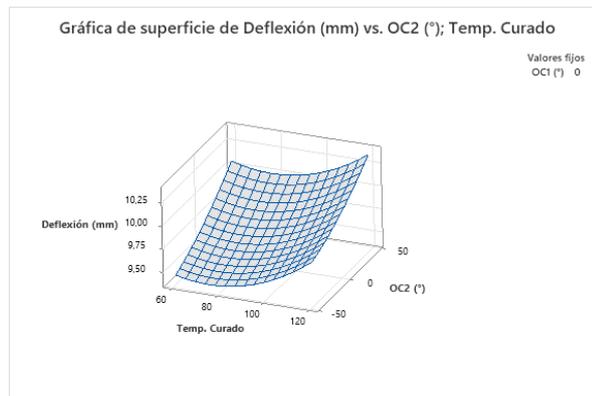


Figura 93: Gráfica de superficie de respuesta para la deflexión en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtiene la combinación más adecuada para obtener la deflexión mínima siendo la combinación más adecuada la de 45° de orientación de la capa 1, 84,84° de temperatura de curado y -45° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 94.

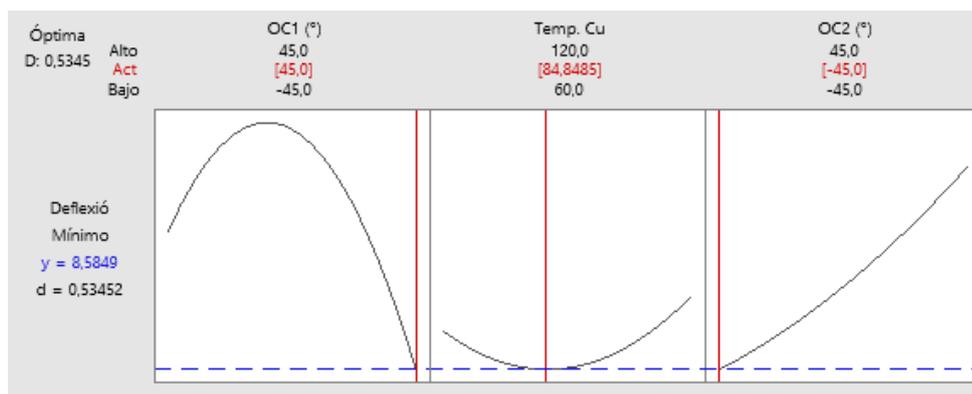


Figura 94: Análisis de optimización para la deflexión

Valores de predicción para la optimización de la deflexión.

En la tabla 33 se muestra la combinación de factores óptima para obtener la deflexión mínima el ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 80. Optimización de la deflexión.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	45
Temp. Curado	84,8485
OC2 (°)	-45

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Deflexión (mm)	8,585	0,573	(7,422; 9,748)	(6,000; 11,170)

3.2.3 Ensayo de impacto

3.2.3.1. Energía de fallo (J)

Mediante un análisis de superficie de respuesta ejecutado en los resultados del ensayo de impacto, específicamente para la energía de fallo se consideró un modelo cuadrático con interacciones de hasta segundo grado. Las gráficas muestran la relevancia de los términos y el cumplimiento de supuestos, las gráficas de la figura muestran residuos estandarizados, y se analizan en función de varios factores como porcentajes, valores de observación y valores ajustados. En la figura 95, se muestra en la gráfica de

probabilidad normal una distribución uniforme de los datos que se denota por el acercamiento de los puntos a la pendiente, por otro lado, en la gráfica de residuos vs ajustes se comprueba el supuesto de igualdad de varianza, finalmente la gráfica de residuos vs orden no presenta ningún patrón comprobable.

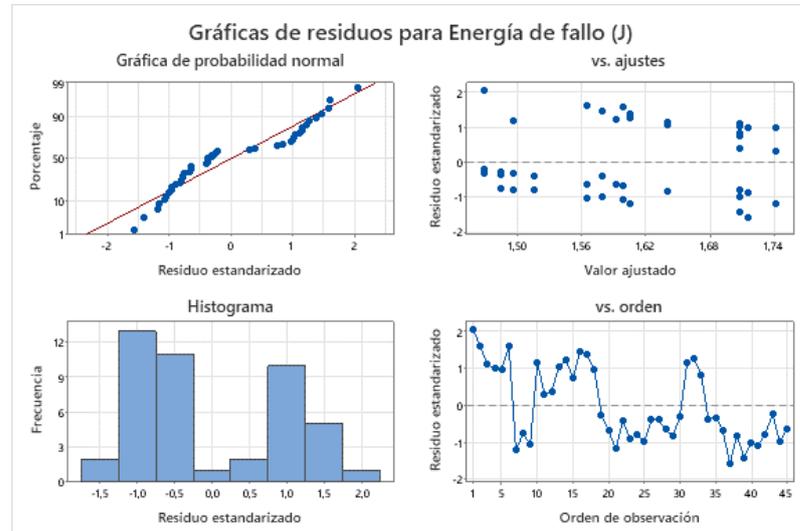


Figura 95: Gráficas de residuos para la energía de fallo a) Gráfica de probabilidad normal b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Histograma de Frecuencia vs residuos d) Gráfica de residuos vs orden.

Análisis de igualdad de varianza.

Mediante un diagrama de Pareto de efectos estandarizados se descartan parámetros que no influyen en la energía de fallo por impacto, este análisis muestra que los factores que influyen principalmente En la energía de fallo obtenida son la orientación de la capa 1 (OC1) la orientación de la capa 2(OC2) y la temperatura de curado de la fibra.

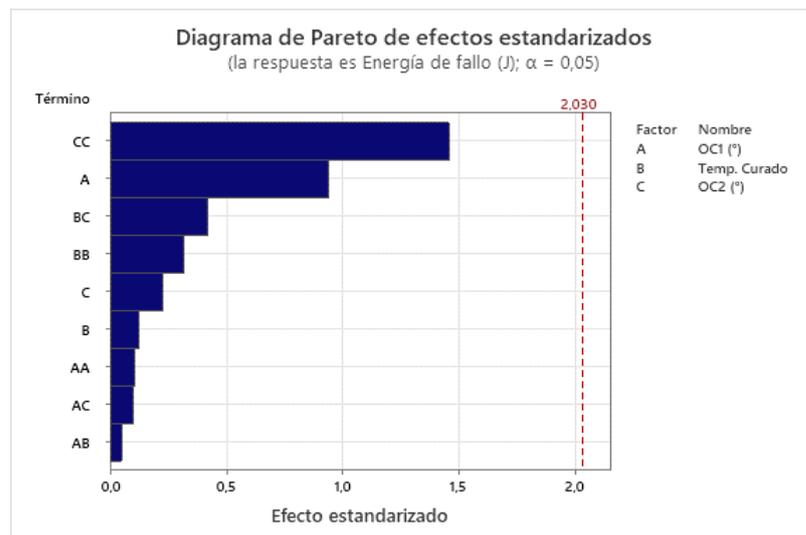


Figura 96: Diagrama de Pareto de efectos estandarizados para la energía de fallo.

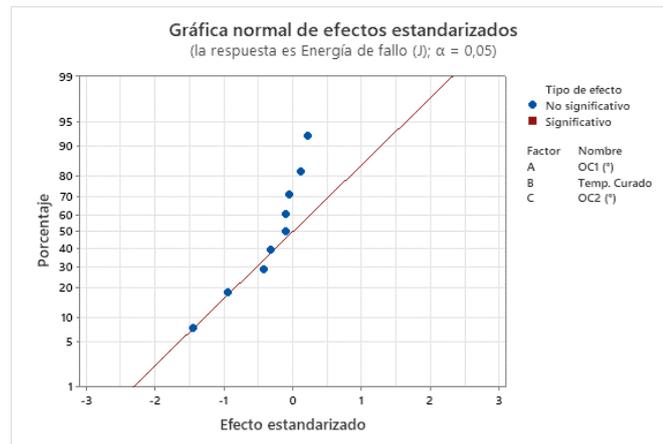


Figura 97: Gráfica normal de efectos estandarizados para la energía de fallo.

La figura 96 muestra como inciden los factores de control en la energía de fallo por impacto obtenida se evidencia que conforme se varíen los niveles en los factores estos inciden directamente en los resultados obtenidos, para este caso conforme se suben los valores de los 3 factores se incrementa también la energía de fallo del nuevo material compuesto, en este caso la mayoría de puntos se dispersan y no se relacionan con la pendiente, debido a que solo se realizó una repetición de cada experimento.

Análisis de Varianza

En la tabla 34 mediante el análisis ANOVA para los resultados de la energía de fallo por impacto se evidencia variabilidad en los datos, comprobando que existen diferencias significativas en las medias de las muestras de cada factor, la significancia corresponde a un valor de 0 y 0,05.

Tabla 81: Análisis de ANOVA para la energía de fallo.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,35931	0,039924	0,37	0,943
Lineal	3	0,10351	0,034504	0,32	0,812
OC1 (°)	1	0,09631	0,096311	0,89	0,353
Temp. Curado	1	0,00162	0,001618	0,01	0,903
OC2 (°)	1	0,00558	0,005582	0,05	0,822
Cuadrado	3	0,23539	0,078463	0,72	0,545
OC1 (°)*OC1 (°)	1	0,00123	0,001235	0,01	0,916

Temp. Curado*Temp. Curado	1	0,01111	0,011113	0,10	0,751
OC2 (°)*OC2 (°)	1	0,23063	0,230626	2,13	0,154
Interacción de 2 factores	3	0,02041	0,006804	0,06	0,979
OC1 (°)*Temp. Curado	1	0,00026	0,000264	0,00	0,961
OC1 (°)*OC2 (°)	1	0,00106	0,001057	0,01	0,922
Temp. Curado*OC2 (°)	1	0,01909	0,019091	0,18	0,677
Error	35	3,79690	0,108483		
Falta de ajuste	3	0,35083	0,116943	1,09	0,369
Error puro	32	3,44607	0,107690		
Total	44	4,15622			

En la figura 97 se muestra los efectos principales para la energía de fallo, en este caso se demuestra que la orientación de la capa 1 y la orientación de la capa 2 son significativas en el resultado. La curva que denota mayor la significancia es la de la orientación de la capa 1 ya que es pronunciada, el factor menos significativo es la orientación de la capa 2 ya que su curva se nota menos pronunciada y las que tienen mayor efecto son la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

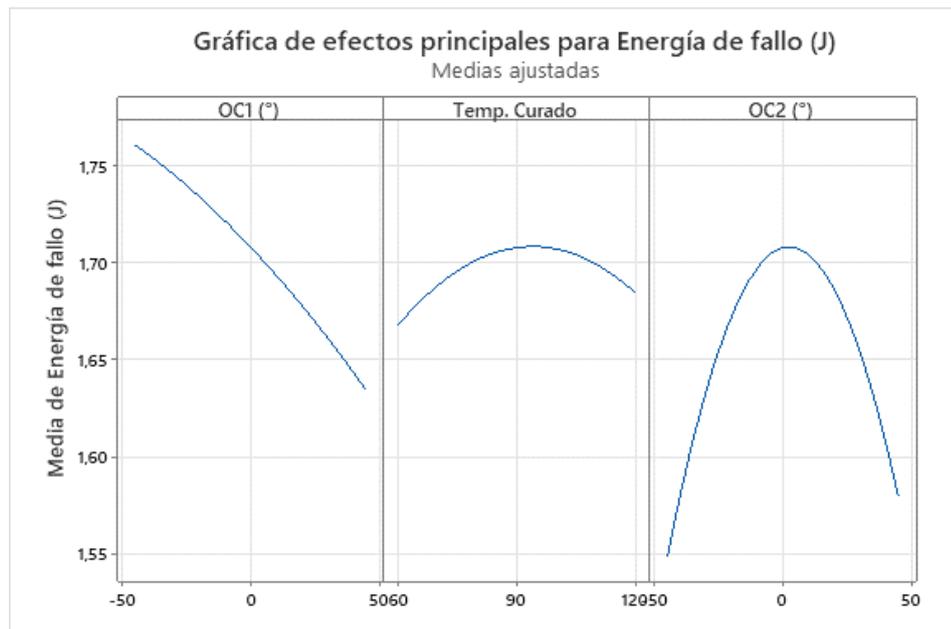


Figura 98: Análisis de efectos principales para la energía de fallo.

En las gráficas e interacción obtenidas para la energía de fallo mostradas en la figura 98 se evidencian los efectos significativos, presentándose la interacción entre la orientación de ambas capas y la temperatura de curado.

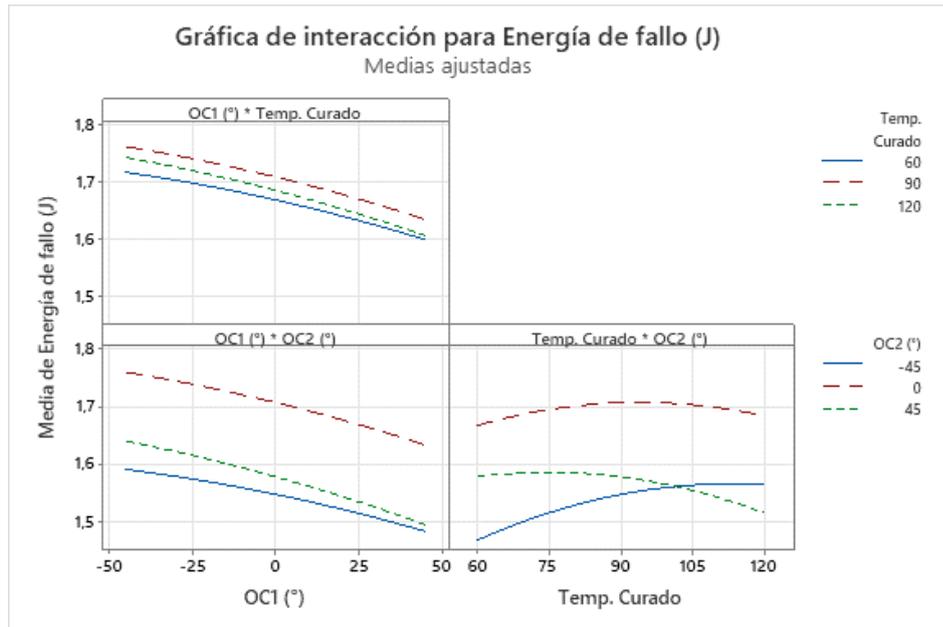


Figura 99: Análisis de interacción para la energía de fallo.

En la figura 99 se observa que la energía de fallo máxima se presenta a una combinación de 0° de orientación de la capa 1 y -50 grados de orientación de la capa 2.

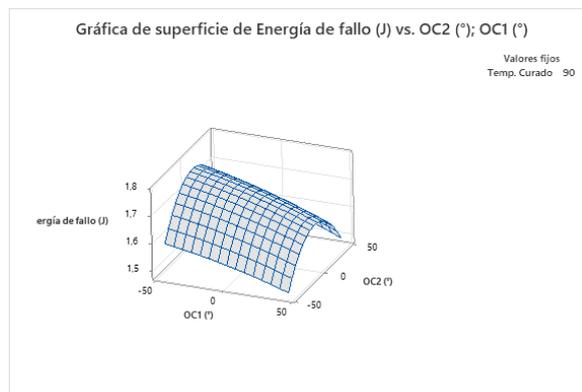


Figura 100: Gráfica de superficie de respuesta para la energía de fallo en relación con la orientación de las dos capas.

En la figura 100 se evidencia la influencia de la temperatura de curado y la orientación de la capa 1 en el resultado de la energía de fallo por impacto se puede obtener un valor alto al combinar -50 grados de orientación de la capa 1 con 90 grados de temperatura de curado.

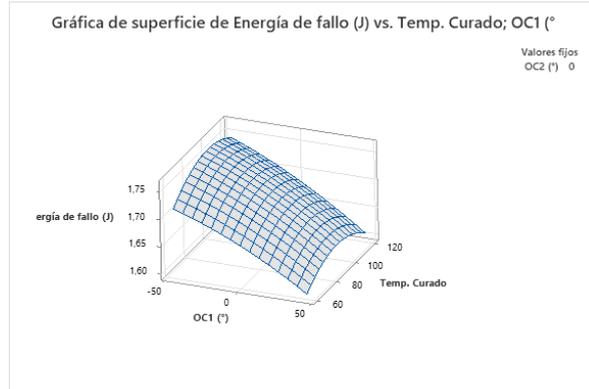


Figura 101: Gráfica de superficie de respuesta para la energía de fallo en relación con la orientación de la capa 1 y la temperatura de curado.

En la figura 101 se observa la interacción de la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado en el resultado de la energía de fallo por impacto, para obtener un valor alto variando estos factores es necesaria una combinación de 0° de orientación de la capa 2 con 90 grados de temperatura de curado.

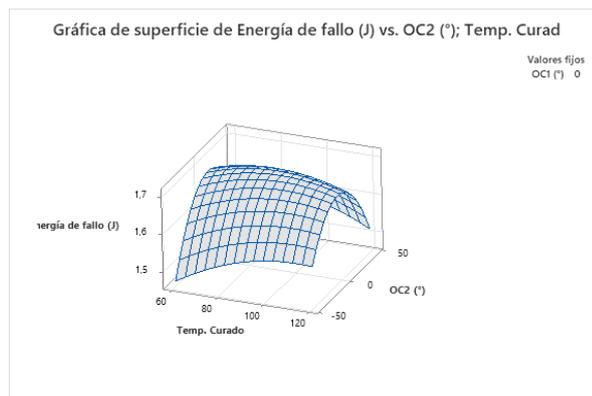


Figura 102: Gráfica de superficie de respuesta para la energía de fallo en relación con la orientación de la capa 2 y la temperatura de curado.

Con la función de deseabilidad se obtiene la combinación más adecuada para obtener la energía de fallo por impacto máxima siendo la combinación más adecuada la de -45° de orientación de la capa 1, 94,55° de temperatura de curado y 3,18° de orientación de la capa 2, esto se aprecia en la figura 103.

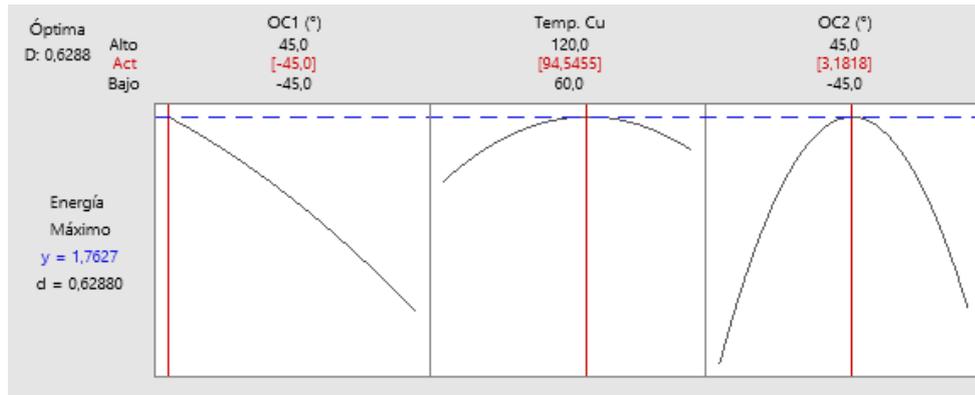


Figura 103: Análisis de optimización para la energía de fallo.

Valores de predicción para la optimización de impacto.

En la tabla 35 se muestra la combinación de factores óptima para obtener la energía de fallo por impacto máxima además del ajuste y los indicadores de confiabilidad de la optimización.

Tabla 82: Optimización de la energía de fallo.

Variable	Valor de configuración
OC1 (°)	-45
Temp. Curado	94,5455
OC2 (°)	3,18182

Respuesta	Ajuste	EE de ajuste	IC de 95%	IP de 95%
Energía de fallo (J)	1,763	0,120	(1,519; 2,006)	(1,051; 2,474)

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

- Como se puede observar en la presente investigación lo que se trato es de mejorar ciertas propiedades mecánicas de un material ya conocido bajo un nuevo método de conformación del mismo en el cual se una vez luego de ser analizadas se puede llegar a concluir que para obtener mejores resultados dependerá mucho de la orientación de las capas por ejemplo que para la óptima configuración y un resultado adecuado en el esfuerzo máximo se requiere que la OC1 este a 31.3636 y el OC2 -45 siendo con una temperatura de curado de 60 °C.
- Para obtener mejores resultados, cada una de las capas fueron tejidas en un telar, esto facilito que al momento de ser ensayadas tuviesen mejores propiedades, ya que con tela de algodón se pudo unificar las fibras ayudando a una mejor proporción y distribución de cargas a lo largo del material.
- En el caso de los parámetros óptimos, para obtener un módulo de elasticidad en este caso adecuado en tracción, lo óptimo seria tener una configuración donde el OC1 este a 45° y el OC2 a -45° dicho esto bajo una temperatura de curado de 60 °C.
- En el caso de flexión las variables tuvieron otra configuración, como lo es para el esfuerzo máximo a flexión se tomó en cuenta de igual manera la orientación de las capas, las cuales se pudieron constatar que mientras se tenga una temperatura de curado de 120°C y las capas OC1 estén a -31.3636° y el OC2 a 45 se podría decir que se esté llegando a una optimización del Sut (Esfuerzo ultimo a tensión).
- Se puede llegar a considerar que muchas veces lo que determina generalmente las propiedades mecánicas en este caso son las orientaciones de capas y las temperatura de curado del material sin que a su vez también se tuvo como base las probetas que se ensayaron solo de fibra en las cuales se pudieron apreciar que al momento de soportar un esfuerzo máximo se obtuvo como resultado de

promedio 89 MPa y de módulo de elasticidad se obtuvo un promedio de 3422.50 MPa, cabe indicar que estos ensayos se realizaron con fibras a 0° de orientación dando como resultado mejores propiedades mecánicas.

RECOMENDACIONES.

- Para que los resultados a futuro obtenidos sean los adecuados se debería empezar en el proceso de infusión al vacío vacum Baggin realizar una humidificación de las capas ya sea con alguna brocha previamente en resina para que esta pueda introducirse en lugares del tejido que comúnmente no suele hacerlo.
- Se debe considerar los factores de cálculo al momento de considerar cantidades de resina y catalizador puesto que esto puede ocasionar desperdicio de material.
- Se debe manejar con mucho cuidado los materiales tóxicos como lo es en el caso de la resina se aconseja utilizar elementos de protección ya que son materiales sumamente dañinos para la salud del que los manipula y así evitar daños a largo o corto plazo en el operario.
- Cuando se realiza el proceso de succión de aire siempre se debe tomar en cuenta los pliegues que se hace con la cinta y el plástico debido a que si se llega a realizar alguna fuga de presión esto puede perjudicar a la conformación de las muestras y a su vez no brindarnos los datos que realmente se necesita.
- Una vez que se ha logrado realizar la succión de material excedente como lo es en el caso de la resina se aconseja cerrar muy bien los conductos de entrada y de salida siendo que si no se los realiza de una manera adecuada se pierde la presión ejercida hacia las capas y esto hace que estas mismas pierdan consistencia en su acabado.
- Al momento del conformado de capas dejar una cierta medida pasado de lo establecido ya que al momento de cortar no se tenga problemas ya que en los bordes de las capas muchas veces no se encuentran al 100% establecidas las propiedades que se necesitan.
- Las probetas que se vayan a lograr cortar deben mantener una superficie totalmente plana para que esto no llegue a incidir al momento del ensayo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. G. Iza Tutillo, «Caracterización mecánica del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra vegetal (algodón) y fibra natural de Stipa Ichu (pasto de páramo) con secado natural y precocido para determinar propiedades mecánicas,» Tesis de grado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador , 2017. Disponible en <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26085>.
- [2] P. H. Vilañez Espinoza , «Caracterización de las propiedades mecánicas de un material compuesto fabricado con matriz de resina epóxica y refuerzo de fibra natural de Tatora',» Tesis de postgrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí. Ecuador , 2020. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21656>.
- [3] W. López y C. Silva , «Biomimesis de la estructura de la chonta (bactris gasipaes) para el desarrollo de un material compuesto utilizando fibras micrométricas obtenidas mediante electrospinning.» Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí. Ecuador , 2019. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15767>.
- [4] J. M. Plasencia Tercero, «Optimización bajo metodología de superficie de respuesta (MSR) del material compuesto de matriz Epoxi reforzado con fibra de Chambira (Astrocaryum) y su incidencia en las propiedades mecánicas,» Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador , 2021. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33598>.
- [5] C. M. Cunalata Caiza , «Análisis estadístico con metodología de superficies de respuesta para la optimización de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epóxica, reforzada con fibra de vidrio y Abacá,» Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador , 2020. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/31619>.
- [6] P. D. Vargas Flores, «Aplicabilidad de un material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibras de hoja de tuna en usos industriales,» Tesis de

- pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador, 2018. Disponible en <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/27447>.
- [7] L. D. Cando Mullo , «Análisis del proceso de ranurado del material compuesto de matriz polimérica con resina epoxi y poliéster reforzado con cascarilla de arroz,» Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador , 2019. Disponible en <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29854>.
- [8] M. V. Pucha Tambo , «Caracterización de materiales compuestos con matriz fotopolimérica reforzados con fibras de abacá y cabuya mediante impresión 3D,» Tesis de postgrado, Universidad Internacional SEK, Quito. Ecuador , 2018. Disponible en <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/3138>.
- [9] J. D. Tejos Traborda , «Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio,» Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia , 2014. Disponible en <http://hdl.handle.net/11059/4466>.
- [10] P. A. Albarracin Cabrera y L. G. Hurtado Rivera, «Caracterización mecánica y modelamiento del material compuesto entre polialuminio tetra pak® reciclado, polipropileno y polietileno tereftalato reciclado,» Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga. Ecuador, 2020. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/21907>.
- [11] C. D. Mejía Echeverría , «Caracterización de un material con matriz de resina poliéster y refuerzo con fibra natural de totora (Schoenoplectus Californicus), mediante simulación a partir de microfotografía,» Tesis de grado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí. Ecuador , 2017. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13283>.
- [12] V. P. Pachacama Nasimba , « Diseño, caracterización y aplicación de un material compuesto con base de resina epoxi y refuerzo de fibras orgánicas para la aplicación en un prototipo de capot de la camioneta mazda bt50 2010.,» Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Latacunga. Ecuador , 2015. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/10129>.

- [13] F. Ayala Rodríguez y F. Contreras Yáñez, «Caracterización mecánica del composite uv fotocurable resina astrocaryum chambira ecuatoriana,» Tesis de pregrado, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí. Ecuador, 2020. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/22582>.
- [14] P. Gavilanes Medina , «Caracterización mecánica del material compuesto de matriz poliéster reforzada con fibra de chambira para determinar las propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,» Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador , 2021. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33083>.
- [15] K. Charlet y J. P. Jernot, «Multi-scale morphological characterisation of flax: From the stem to the fibrils,» *JOUR*, vol. LXXXII, n° 2, pp. 54-61, 2010.
- [16] M. C. Monroy Cárdenas, «Caracterización macromecánica de un material compuesto a base de ácido poliláctico (PLA) y fibras naturales de cumare (Astrocaryum chambira),» Tesis de Maestría, Departamento de Ing. Méc., Univ. de los Andes , 2011. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/11432>.
- [17] S. Z. Rogovina, E. V. Prut y A. A. Berlin, «Composite Materials Based on Synthetic Polymers Reinforced with Natural Fibers,» *Polym. Sci. Ser. A 61*, p. 417–438, 2019 <https://doi.org/10.1134/S0965545X19040084>.
- [18] W. Mora, B. Ramón y G. Moreno, «Fibras Naturales como alternativa de refuerzo en materiales compuestos. Una revisión,» *Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, vol. II, n° 17, pp. 60-72, 2019.
- [19] W. Mora y A. Ramon, «Materiales Compuestos,» *Revista de la Asociación Española de Materiales Compuestos* , vol. II, n° 3, pp. 28-34, 2018.
- [20] J. Zamudio, «Diseño del sistema de infusión de resina para la fabricación de aspas utilizadas en un aerogenerador de 30 kw,» Tesis de maestría, Centro de Tecnología Avanzada, Querétaro, México , 2020. Disponible en: <http://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1020/391>.

- [21] A. Dereims y L. Dufort, «Simulación exacta de procesos de fabricación de Infusión de resina a través de modelos de elementos finitos con acoplamiento fluido-mecánico,» *Revista de la Asociación Española de Materiales Compuestos* , vol. III, nº 3, pp. 1-5, 2019.
- [22] A. Besednjak, *Materiales Compuestos*, Catalunya: Univ. Politèc. de Catalunya, 2009, 2009.
- [23] F. Mata, «Utilización de compuestos de matriz polimérica en la fabricación de automoviles,» *Técnica Industrial*, vol. I, nº 1, pp. 43-47, 2005.
- [24] M. Córdova, «Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y cabuya como material alternativo y su incidencia en las propiedades mecánicas en guardachoques para buses,» Tesis de grado, Fac. de Ing. Civ. y Mec., Univ. Técnica de Ambato, Ecuador , 2021. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/2609>.
- [25] G. Tejero y Z. Bi, «Composite: matriz de resina poliéster insaturada con fibras de refuerzo vegetales (cañamo),» *Ingeniería Materiales* , vol. I, nº 1, pp. 63-67, 2020.
- [26] J. L. Dávila, S. Galeas, V. H. Guerrero, P. Pontón, N. M. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, *Nuevos Materiales: Aplicaciones estructurales e industriales*, Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [27] H. D. Erazo Sánchez, «Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abacá en matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración,» Tesis de grado, Fac. de Ing. Civ. y Mec., Univ. Téc. de Ambato, 2019. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/29639>.
- [28] «ASTM D3039/D3039M-08 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials,» 4 Junio 2014. [En línea]. Available: https://www.astm.org/d3039_d3039m-08.html. [Último acceso: 10 Enero 2022].

- [29] «Designation: D 3039/D 3039M – 00 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1,» *A. International and indexed*, vol. XV, 2002.
- [30] «ASTM D7264/D7264M-15 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials,» 19 Febrero 2021. [En línea]. Available: https://www.astm.org/d7264_d7264m-15.html. [Último acceso: 10 Enero 2022].
- [31] J. Carrillo y D. Silva, «Ensayos a flexión de losas de concreto sobre terreno reforzadas con fibras de acero,» *Ingeniería Investigación y Tecnología*, vol. XVII, n° 3, pp. 317-330, 2016.
- [32] «D5628 – 18 Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass),» 15 Noviembre 2001. [En línea]. Available: <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2751/3/ANEXO%20%20NORMA%20ASTM%20D5628.pdf>. [Último acceso: 10 Enero 2022].
- [33] L. Núñez, « Estudio de polímeros híbridos estratificados de matriz epóxica reforzada con tejido mixto elaborado con fibras de carbono y kevlar y su incidencia en las propiedades mecánicas de partes externas de autos,» Tesis de grado, Fac. de Ing. Civ. y Mec., Univ. Téc. de Ambato, 2014. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/8327>.
- [34] L. Ilzarbe, M. Tanco, E. Viles y M. J. Álvarez, «EI diseño de experimentos como herramienta para la mejora de los procesos. Aplicación de la metodología al caso de una catapulta,» *Tecnura* , vol. X, n° 20, pp. 128-138, 2007.
- [35] R. Castro Montoya y Casro, «Metodología Superficie de Respuesta: Tres aplicaciones a conjuntos de datos reales,» *Academia Journals*, vol. I, n° 13, pp. 282-426, 2019.

- [36] H. Flores, C. León, M. Estarrón y I. Orozco, «Optimización del proceso de extracción de sustancias antioxidantes a partir del orégano mexicano (*lippia graveolens*) utilizando la metodología de superficie de respuesta (MSR),» *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, vol. XV, n° 3, pp. 773-785, 2016.
- [37] D. R. Askeland y W. J. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, Santa Fe: Cengage Learning Editores, S.A, 2017.
- [38] P. Argenti, «Metodología de Superficie de Respuesta. Aplicaciones a la Ingeniería,» Universidad Nacional de Salta , Salta, 2018.
- [39] H. Dieterich, *Nueva guía para la investigación científica*, Grupo Editor Orfila Valentini, 2021.
- [40] R. Siche, V. Aredo, L. Velásquez y I. Castillo, «El Diseño Simplex-Centroide y la Función de Deseabilidad en la optimización de la aceptabilidad sensorial de pan dulce enriquecido con *Chenopodium quinoa*,» *Enfoque UTE Revista*, vol. XII, n° 3, pp. 70 - 81, 2016.
- [41] E. Bustos Tipantasig y R. Guerrero Villacres , «Selección y construcción de un sistema Vacuum Bagging (envasado al vacío) para el conformado de materiales compuestos en el Laboratorio de Materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato,» Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. Ecuador , 2021. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/33776>.

ANEXOS

Anexo 1:





PR2032
Laminating Resin
For Composite Parts

DESCRIPTION

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

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

★ PH3630 is a newer addition to the AEROPOXY line that offers some unique characteristics for certain uses. The mixed viscosity of the system when using PH3630 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 PH3630 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 methylenedianiline (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	280-290 cps	D2382
Specific Gravity, gms./cc	1.15	0.96	0.95	0.97	0.95	D1475
Mix Ratio, By Wt.		30 minutes	1 hour	90 minutes	2 hours	PTM5W
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.

Page 1

PTM5W as PTM5W Industries, Inc. has no control over the use in 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 provided to 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 PTM5W 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 product at no charge.

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH2030	PR2032 with PH2060				PR2032 PH2063	PR2032 PH2065	ASTM Method
		Heat 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 hours	2 hours	D2471
Color	Li. Amber	Light Amber				Light Amber	Li. Amber	Visual
Mixed Viscosity, @77°F, cps	800-875 cps	900 - 950 cps				440 cps	825-875 cps	D2393
Cured Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, gram, cc	1.16	1.11				1.180	1.12	D1475
Density, lb./cu. inch	.0420	.0401				.0461	.0418	D192
Specific Volume, cc. lb./lb.	21.8	25.0				24.96	24.4	D192
Tensile Strength, psi ⁽¹⁾	45,300 psi	8020 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % ⁽¹⁾	1.81 %	1.98 %	1.96 %	6.91 %	1.21 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile Modulus, psi ⁽¹⁾	2,000,000 psi	411,525 psi	2,620,000 psi	1,170,000 psi	2,720,000 psi	2,642,520 psi	2,520,000 psi	D303
Flexural Strength, psi ⁽²⁾	68,967 psi	16,027 psi	62,205 psi	86,541 psi	24,524 psi	65,463 psi	66,467 psi	D790
Flexural Modulus, psi ⁽²⁾	2,720,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,580,000 psi	2,620,246 psi	2,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., T _g	194-F	190-F				194-F	194-F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 ⁻⁴ in./in.-°F	4.3 x 10 ⁻⁴ in./in.-°F				4.14 x 10 ⁻⁴ in./in.-°F	4.15 x 10 ⁻⁴ in./in.-°F	D690

⁽¹⁾ Fiberglass Properties Derived with a 18 Ply Laminata, Hand Lay-up, Style 101 Glass Fabric, 55% Glass Content;
Graphite Properties with a 18 Ply Laminata of S.S. Lay, 2K Fabric; and Kevlar Properties with a 18 Ply Laminata of S or, Kevlar

PACKAGING WEIGHTS



	Quart Kit	Gallon Kit	Pail Kit	Drum Kit
PR2032	2.25 lb.	7.5 lb.	40 lb.	500 lb.
PH2060, PH2063 or PH2065	.66 lb.	2 lb.	13 lb.	125 lb.
PR2063	.6 lb.		1.8 lb.	126 lb.
Kit	2.9 lb.	2.85 lb.	9.5 lb.	61 lb.
			61 lb.	625 lb.
				626 lb.

SAFETY and HANDLING

PTM&W AERPOXY 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 AERPOXY 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.

AERPOXY PR2032 and Hardener Bulletin / 200-38 / 04-2008-C1



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.aerpoxy.com Send Questions To: info@aerpoxy.com

Anexo 2:



Designation: D 3039/D 3039M – 07

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

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

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

- 2.1 *ASTM Standards:*²
 - D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
 - D 883 Terminology Relating to Plastics
 - D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
 - D 2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
 - D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials
 - D 3878 Terminology for Composite Materials

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D09 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D09.04 on Laminas and Laminated Test Methods.

Current edition approved Dec. 15, 2007. Published January 2008. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2006 as D 3039 – 06(2006).

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.

- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes
- E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E 1012 Practice for Verification of Test Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

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 dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [Θ] for thermodynamic temperature, and [n] for nondimensional quantities. Use of these symbols is

Anexo 3:

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



Designation: D7264/D7264M – 21

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

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

D883 Terminology Relating to Plastics

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

D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins

D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics

D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials

D3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

2.2 Other Documents:³

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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D30 on Composite Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D30.01 on Laminas and Laminate Test Methods.

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

² 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>.

Anexo 4:

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



Designation: D5628 – 18

Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)¹

This standard is issued under the fixed designation D5628; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope^a

1.1 This test method covers the determination of the threshold value of impact-failure energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup), based on testing many specimens.

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

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. Specific hazard statements are given in Section 8.

Note 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry F1 and the Braceton Stainess method of calculation are used.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D883 Terminology Relating to Plastics

D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics

D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method

D2444 Practice for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)

D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6779 Classification System for and Basis of Specification for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)

E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

2.2 ISO Standards:³

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D883 and D1600.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 *failure (of test specimen)*—the presence of any crack or split, created by the impact of the falling tup, that can be seen by the naked eye under normal laboratory lighting conditions.

3.2.2 *mean-failure energy (mean-impact resistance)*—the energy required to produce 50 % failures, equal to the product of the constant drop height and the mean-failure mass, or, to the product of the constant mass and the mean-failure height.

3.2.3 *mean-failure height (impact-failure height)*—the height at which a standard mass, when dropped on test specimens, will cause 50 % failures.

Note 2—Cracks usually start at the surface opposite the one that is struck. Occasionally incipient cracking in glass-reinforced products, for example, is difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye can confirm the onset of crack formation.

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 42nd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2900, United States