



**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 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”**

---

**AUTOR:** Jhonny Michael Plasencia Tercero

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

**AMBATO – ECUADOR**

**Septiembre - 2021**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM) Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, elaborado por el señor, Jhonny Michael Plasencia Tercero, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 05041522322, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, Septiembre 2021

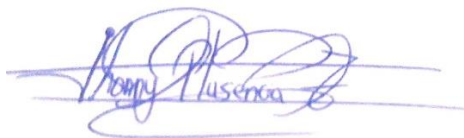
.....  
**Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas**

**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, Jhonny Michael Plasencia Tercero con C.I. 0504152232, declaro que las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM) 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 2021



.....  
**Jhonny Michael Plasencia Tercero**

**C.I. 0504152232**

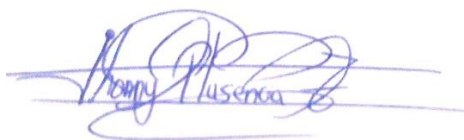
**AUTOR**

## **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 del mismo 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 2021



.....  
**Jhonny Michael Plasencia Tercero**

**C.I. 0504152232**

**AUTOR**



## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los Miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por el estudiante Jhonny Michael Plasencia Tercero, de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“OPTIMIZACIÓN BAJO METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA (MSR) DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CHAMBIRA (ASTROCARYUM) Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**.

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

.....  
**Ing. Mg Wilson Henry Vaca Ortega**

**Miembro Calificador**

.....  
**Ing. Mg. Pablo Raúl Valle Velasco**

**Miembro Calificado**

## DEDICATORIA

*Primeramente, doy gracias a DIOS por brindarme la salud y la vida para poder culminar esta formación académica de tercer nivel.*

*En especial a mi ángel que me cuida desde el cielo María Dolores Quispe Guano (+) la cual me bendice día tras día. A mí querida madre Laura que nunca me abandonó en los tiempos difíciles que supo apoyarme y estar conmigo en cada fracaso que eh pasado. A mi padre Alfonso que por su trabajo sobrevalorado como es la construcción pasaba lejos de mí, pero así desde lejos me ayudó a cumplir mi sueño. A mi hermana Pilar que me ve como un ejemplo a seguir.*

*Y no podría dejar pasar por alto que este logro también le pertenece a la mujer que estuvo ahí con sus palabras de aliento, cuando no tenía nada que ofrecer estaba y estará conmigo hasta cumplir mi meta Guadalupe Pilliza. A mi hija Brianna Plasencia que fue un motor fundamental para no rendirme.*

*A mis tíos Washington y Gladis que son como mis segundos padres, que, con su apoyo incondicional hacia mi familia, pude lograr este anhelado sueño.*

*En fin, este logro va dedicado para todas las personas que creyeron en mí, que gracias a sus palabras de apoyo moral me supieron darme fuerzas para no rendirme en esta larga travesía.*

## AGRADECIMIENTO

*Este triunfo es en agradecimiento con DIOS y la VIRGEN INMACULADA CONCEPCIÓN que con sus bendiciones hacia mi familia y a mí, logré cumplir mi sueño.*

*Agradecer de todo corazón a las personas que estuvieron conmigo en todo momento en especial a mi familia que nunca me abandonó y que gracias a ellos logré mi meta.*

*A mi compañero Luis Cando que compartió su aprendizaje, conocimiento y experiencia cuando lo necesitaba.*

*Gracias infinitas a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, que se convirtió en mi segundo hogar en especial a la carrera de Ingeniería Mecánica por educarme y formarme, por medio de docentes que con su arduo trabajo forman profesionales de competencia.*

*Agradecido con el ingeniero Juan Gilberto Paredes Salinas por confirmar el proyecto experimental en mí, más que un tutor se convirtió en un amigo de enseñanza, que compartió sus conocimientos para poder culminar el trabajo experimental.*

*Y tampoco dejar pasar por alto al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en especial al teniente coronel Cristian Arias que nos dio paso para el uso de las instalaciones del CIDFAE y así poder realizar el trabajo experimental.*

*No dejar pasar por alto a los amigos que conocí dentro de mi vida universitaria, en donde compartimos momentos gratos e inolvidables.*

## ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR .....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
ÍNDICE GENERAL DEL CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS .....	xv
RESUMEN.....	xx
ABSTRACT.....	xxi
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos .....	1
1.2. Fundamentación teórica .....	3
1.2.1. Materiales compuestos .....	3
1.2.2. Clasificación de los materiales compuestos .....	5
1.2.3. Componentes de los materiales compuestos .....	6
1.2.4. Proceso de fabricación de los materiales compuestos con matriz polimérica 19	
1.2.5. Factores considerados al momento de fabricar un composite.....	21
1.2.6. Caracterización mecánica.....	23

1.2.7.	Diseño de experimentos .....	24
1.2.8.	Supuestos paramétricos .....	26
1.2.9.	Verificación de la hipótesis .....	27
1.3.	Objetivos .....	28
1.3.1.	Objetivo general .....	28
1.3.2.	Objetivos específicos .....	28
CAPÍTULO II .....		29
2.	METODOLOGÍA .....	29
2.1.	Diagrama de flujo del trabajo experimental .....	29
2.2.	Materiales .....	31
2.3.	Métodos .....	33
2.3.1.	Nivel o tipo de investigación.....	33
2.3.2.	Población y muestra .....	34
2.3.3.	Hipótesis.....	38
2.3.4.	Señalamientos de variables .....	39
2.4.	Operacionalización de variables.....	40
2.4.1.	Variable independiente: Material compuesto.....	40
2.4.2.	Variable dependiente: Propiedades mecánicas .....	41
2.5.	Adquisición de la materia prima .....	42
2.6.	Determinación de las propiedades físicas de la fibra .....	42
2.6.1.	Determinación de la cantidad de matriz en función del peso de la fibra ...	45
2.6.2.	Determinación de la densidad calculada y medida del material compuesto	47
2.6.3.	Preparación de la fibra y tejido .....	49
2.6.4.	Elaboración de probetas .....	50

2.6.5.	Acondicionamiento de planchas .....	53
2.6.6.	Curado y corte de las probetas .....	55
2.7.	Ensayo de materiales .....	56
2.7.1.	Tracción.....	56
2.7.2.	Flexión .....	58
2.7.3.	Impacto.....	59
CAPÍTULO III .....		61
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	61
3.1.	Interpretación y tabulación de los resultados .....	61
3.1.1.	Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción.....	61
3.1.2.	Fichas de recolección de datos de probetas a flexión .....	96
3.1.3.	Fichas de recolección de datos de probetas de impacto .....	136
3.2.	Análisis y discusión de los resultados .....	166
3.2.3.	Verificación de supuestos paramétricos.....	167
3.2.4.	Análisis del Ensayo a Tracción .....	168
3.2.5.	Análisis del ensayo a flexión .....	191
3.2.6.	Análisis del ensayo de impacto .....	217
3.2.7.	Optimización simultánea.....	225
3.3.	Verificación de hipótesis .....	227
CAPITULO IV .....		230
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	230
4.1.	Conclusiones .....	230
4.2.	Recomendaciones .....	232
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		233
ANEXOS .....		237

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Estructura básica de un material compuesto.....	4
Figura 1.2. Aplicaciones principales de los materiales compuestos. ....	5
Figura 1.3 Clasificación de los materiales utilizados en Ingeniería.....	5
Figura 1.4. Clasificación de los materiales compuestos .....	6
Figura 1.5. Comportamiento de las fibras naturales: a) Carga de compresión b) Cargas a tracción.....	7
Figura 1.6. Relación esfuerzo vs deformación entre la fibra y matriz .....	11
Figura 1.7. Clasificación de las fibras Naturales [16].....	12
Figura 1.8. Diseño esquemático del tejido .....	13
Figura 1.9. Extracción de la fibra de Chambira .....	15
Figura 1.10. Zonas donde crecen las palmas de la Chambira .....	15
Figura 1.11 Proceso de obtención de la fibra de Chambira de manera artesanal.....	16
Figura 1.12 Comportamiento a la tensión de la fibra de Chambira .....	17
Figura 1.13. Simulación del material compuesto por elementos finitos (fibra de Chambira + resina bioepoxi).....	19
Figura 1.14 Proceso de fabricación del material compuesto mediante bolsa de vacío ....	21
Figura 1.15 Rendimiento de Esfuerzo Máximo de Tracción de un material híbrido con diferentes casos de configuraciones de orientación de fibras y curado al ambiente y al horno .....	22
Figura 1.16. Efecto de la orientación de la fibra sobre la resistencia a la tensión de compuestos epóxicos reforzados con fibras de vidrio.....	22
Figura 1.17. Configuración de cargas en tres puntos para el ensayo a flexión .....	24

Figura 1.18. Diseño de Box-Behnken para 2 y 3 factores .....	26
Figura 1.19. Diseño Central Compuesto para 2 Factores.....	26
Figura 2.1. diagrama de flujo del trabajo experimental .....	30
Figura 2.2 a) pedazo de fibra de carbono b) pedazo de fibra de Chambira .....	44
Figura 2.3. Distribución de probetas para tracción, flexión e impacto. ....	45
Figura 2.4. Máquina Universal para ensayo a tracción.....	56
Figura 2.5. Máquina de ensayo a flexión .....	58
Figura 2.6. Máquina de ensayo de impacto.....	59
Figura 3.1 Análisis de residuos del <i>Sut</i> : a) Gráfica de probabilidad normal, b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Gráfica de histograma, d) Gráfica de residuos vs orden .....	168
Figura 3.2 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el <i>Sut</i> . ...	170
Figura 3.3 Análisis de efectos significativos del <i>Sut</i> .....	171
Figura 3.4 Análisis de efectos principales para el <i>Sut</i> .....	172
Figura 3.5 Análisis de interacciones para el <i>Sut</i> .....	173
Figura 3.6 Gráfica de superficie de respuesta para el <i>Sut</i> .....	174
Figura 3.7 Análisis de optimización para el <i>Sut</i> .....	174
Figura 3.8 Gráfica de residuos vs ajustes del Módulo de Elasticidad.....	177
Figura 3.9 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el Módulo de Elasticidad. ....	178
Figura 3.10 Análisis de efectos significativos del módulo de Elasticidad.....	179
Figura 3.11 Análisis de efectos principales para el Módulo de Elasticidad.....	180
Figura 3.12 Análisis de interacciones para el Módulo de Elasticidad .....	181
Figura 3.13 Grafica de superficie de respuesta para el Módulo de Elasticidad .....	182
Figura 3.14 Análisis de optimización para el Módulo de Elasticidad.....	182
Figura 3.15 Diagrama de Pareto de los efectos significativos para el % Elongación....	184



Figura 3.16 Análisis de residuos del % Elongación: a) Gráfica de probabilidad normal, b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Gráfica de histograma, d) Gráfica de residuos vs orden .....	184
Figura 3.17 Gráfica de residuos vs ajustes del % Elongación. ....	186
Figura 3.18 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el % Elongación.....	186
Figura 3.19 Análisis de efectos significativos del % Elongación. ....	187
Figura 3.20 Análisis de efectos principales para el % Elongación .....	188
Figura 3.21 Análisis de interacciones para el % Elongación .....	189
Figura 3.22 Grafica de superficie de respuesta para el % Elongación.....	190
Figura 3.23 Análisis de optimización para el % Elongación .....	190
Figura 3.24 Gráfica de distracción normal para el esfuerzo máximo a flexión .....	192
Figura 3.25 Gráfica de residuos vs ajustes del esfuerzo máximo a flexión. ....	195
Figura 3.26 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el esfuerzo máximo a flexión.....	195
Figura 3.27 Análisis de efectos significativos del esfuerzo máximo de flexión. ....	196
Figura 3.28 Análisis de efectos principales para el del esfuerzo máximo de flexión ....	197
Figura 3.29 Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo de flexión.....	198
Figura 3.30 Análisis de optimización para el del esfuerzo máximo de flexión .....	199
Figura 3.31 Gráfica de distracción normal para el módulo de elasticidad a flexión.....	200
Figura 3.32 Gráfica de residuos vs ajustes de Módulo de Elasticidad de flexión.....	203
Figura 3.33 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el Módulo de Elasticidad a flexión. ....	203
Figura 3.34 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el Módulo de Elasticidad a flexión. ....	204
Figura 3.35 Análisis de efectos significativos del módulo de espasticidad de flexión..	204

Figura 3.36 Análisis de efectos principales para el Módulo de Elasticidad a flexión ...	206
Figura 3.37 Gráfica de superficie de respuesta para el Módulo de Elasticidad a flexión .....	206
Figura 3.38 Análisis de optimización para el Módulo de Elasticidad a flexión .....	207
Figura 3.39 Gráfica de distracción normal para la deflexión a flexión.....	208
Figura 3.40 Grafica de estimación para transformación de datos de deflexión .....	209
Figura 3.41 Gráfica de residuos vs ajustes de energía media de fallo. ....	212
Figura 3.42 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para la deflexión .....	212
Figura 3.43 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para la deflexión .....	213
Figura 3.44 Análisis de efectos significativos del <i>Sut</i> .....	213
Figura 3.45 Análisis de efectos principales para el Módulo de Elasticidad.....	215
Figura 3.46 Análisis de interacciones para la deflexión .....	215
Figura 3.47 Grafica de superficie de respuesta para la deflexión .....	216
Figura 3.48 Análisis de optimización para la deflexión máxima.....	217
Figura 3.49 Gráfica de residuos vs ajustes de energía media de fallo. ....	220
Figura 3.50 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para la energía media de fallo .....	220
Figura 3.51 Análisis de efectos significativos de probabilidad normal de la energía media de fallo.....	221
Figura 3.52 Gráfica de efectos principales de la energía media de fallo. ....	223
Figura 3.53 Gráfica de efectos de interacción sobre la energía media de fallo. ....	223
Figura 3.54 Gráfica de Superficie de respuesta de la energía media de fallo .....	224
Figura 3.55 Gráfica de optimización para la energía media de falla. ....	225
Figura 3.56 Grafica de optimización simultánea. ....	226

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matrices poliméricas para materiales compuestos.....	8
Tabla 1.2 Características de las matrices termoestables .....	9
Tabla 1.3. Composición química de algunas fibras vegetales .....	12
Tabla 1.4. Densidad lineal y volumétrica de haces de la fibra de Chambira .....	17
Tabla 1.5. Resistencia máxima a la tensión de los tres haces de la fibra de Chambira ..	17
Tabla 1.6. Propiedades mecánicas de fibras naturales incluido la fibra de Chambira ....	18
Tabla 2.1. Descripción de materiales para elaboración del material compuesto .....	31
Tabla 2.2 Tipos de Factores de entrada y niveles .....	35
Tabla 2.3. Matriz de diseño experimental.....	36
Tabla 2.4. Combinaciones Base para ejecutar los ensayos mecánicos en el material compuesto (RE+FCH).....	37
Tabla 2.5 Variable dependiente: material compuesto .....	40
Tabla 2.6 Variable independiente, propiedades mecánicas .....	41
Tabla 2.7. Determinación de la densidad de la fibra sin tejer mediante método gravimetría .....	43
Tabla 2.8. Determinación de la densidad de la fibra tejida mediante método gravimetría .....	43
Tabla 2.9. Cantidades necesarias de Resina y Endurecedor .....	46
Tabla 2.10 Densidad de la resina y fibra.....	47
Tabla 2.12. Densidad calculada .....	48
Tabla 2.13. Tejido de referencia .....	49
Tabla 2.14. Proceso de elaboración de probetas al vacío.....	50

Tabla 2.15. Acondicionamiento de las planchas del material compuesto.....	53
Tabla 2.16. Curado y corte de las probetas .....	55
Tabla 3.1 Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a tracción .....	61
Tabla 3.2 Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a tracción .....	63
Tabla 3.3 Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a tracción .....	66
Tabla 3.4 Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a tracción .....	68
Tabla 3.5 Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a tracción .....	70
Tabla 3.6 Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a tracción .....	73
Tabla 3.7 Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a tracción .....	75
Tabla 3.8 Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a tracción .....	78
Tabla 3.9 Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a tracción .....	80
Tabla 3.10 Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a tracción .....	82
Tabla 3.11 Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a tracción .....	85
Tabla 3.12 Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a tracción .....	87
Tabla 3.13 Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a tracción .....	90
Tabla 3.14 Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a tracción .....	92
Tabla 3.15 Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a tracción .....	94
Tabla 3.16 Ficha técnica de material compuesto, caso 1 a flexión.....	96
Tabla 3.17 Ficha técnica de material compuesto, caso 2 a flexión.....	99
Tabla 3.18 Ficha técnica de material compuesto, caso 3 a flexión.....	102
Tabla 3.19 Ficha técnica de material compuesto, caso 4 a flexión.....	104
Tabla 3.20 Ficha técnica de material compuesto, caso 5 a flexión.....	107
Tabla 3.21 Ficha técnica de material compuesto, caso 6 a flexión.....	109
Tabla 3.22 Ficha técnica de material compuesto, caso 7 a flexión.....	112
Tabla 3.23 Ficha técnica de material compuesto, caso 8 a flexión.....	114

Tabla 3.24 Ficha técnica de material compuesto, caso 9 a flexión .....	117
Tabla 3.25 Ficha técnica de material compuesto, caso 10 a flexión .....	120
Tabla 3.26 Ficha técnica de material compuesto, caso 11 a flexión .....	122
Tabla 3.27 Ficha técnica de material compuesto, caso 12 a fle .....	125
Tabla 3.29 Ficha técnica de material compuesto, caso 14 a flexión .....	130
Tabla 3.30 Ficha técnica de material compuesto, caso 15 a flexión .....	133
Tabla 3.31 Ficha técnica de material compuesto, caso 1 a impacto .....	136
Tabla 3.32 Ficha técnica de material compuesto, caso 2 a impacto .....	138
Tabla 3.33 Ficha técnica de material compuesto, caso 3 a impacto .....	140
Tabla 3.34 Ficha técnica de material compuesto, caso 4 a impacto .....	142
Tabla 3.35 Ficha técnica de material compuesto, caso 5 a impacto .....	144
Tabla 3.36 Ficha técnica de material compuesto, caso 6 a impacto .....	146
Tabla 3.37 Ficha técnica de material compuesto, caso 7 a impacto .....	148
Tabla 3.38 Ficha técnica de material compuesto, caso 8 a impacto .....	150
Tabla 3.39 Ficha técnica de material compuesto, caso 9 a impacto .....	152
Tabla 3.40 Ficha técnica de material compuesto, caso 10 a impacto .....	154
Tabla 3.41 Ficha técnica de material compuesto, caso 11 a impacto .....	156
Tabla 3.42 Ficha técnica de material compuesto, caso 12 a impacto .....	158
Tabla 3.43 Ficha técnica de material compuesto, caso 13 a impacto .....	160
Tabla 3.44 Ficha técnica de material compuesto, caso 14 a impacto .....	162
Tabla 3.45 Ficha técnica de material compuesto, caso 15 a impacto .....	164
Tabla 3.46. Propiedades mecánicas de tracción, flexión e impacto.....	166
Tabla 3.47 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el <i>Sut</i> .....	169
Tabla 3.48 Análisis de ANOVA para el <i>Sut</i> .....	171
Tabla 3.49 Valores predichos del punto óptimo del <i>Sut</i> .....	175

Tabla 3.50 Verificación del supuesto de Normalidad para el Módulo de Elasticidad a Tracción.....	175
Tabla 3.51 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el módulo de Elasticidad a tracción .....	176
Tabla 3.52 Análisis de ANOVA para el Módulo de Elasticidad .....	179
Tabla 3.53 Valores predichos del punto óptimo del Módulo de Elasticidad .....	183
Tabla 3.54 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el % Elongación..	185
Tabla 3.55 Análisis de ANOVA para el % Elongación .....	187
Tabla 3.56 Valores predichos del punto óptimo del % Elongación.....	191
Tabla 3.57 Verificación del supuesto de igualdad de varianza inicial .....	192
Tabla 3.58 Verificación del supuesto de Normalidad para el esfuerzo máximo a flexión .....	193
Tabla 3.59 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el esfuerzo máximo a flexión .....	194
Tabla 3.60 Análisis de ANOVA para el esfuerzo máximo de flexión.....	196
Tabla 3.61 Valores predichos del punto óptimo del esfuerzo máximo de flexión.....	199
Tabla 3.62 verificación inicial de igualdad de varianza.....	200
Tabla 3.63 Verificación del supuesto de Normalidad para el módulo de Elasticidad a flexión transformado .....	201
Tabla 3.64 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el módulo de Elasticidad a flexión transformado.....	202
Tabla 3.65 Análisis de ANOVA para el Módulo de Elasticidad a flexión .....	205
Tabla 3.66 Valores predichos del punto óptimo del módulo de Elasticidad a flexión...207	
Tabla 3.67 verificación inicial de igualdad de varianza.....	208
Tabla 3.68 Verificación del supuesto de Normalidad para deflexión a flexión transformado .....	210

Tabla 3.69 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para deflexión a flexión transformado .....	211
Tabla 3.70 Análisis de ANOVA para la deflexión .....	214
Tabla 3.71 Valores predichos del punto óptimo de la deflexión máxima.....	217
Tabla 3.72 Verificación del supuesto de Normalidad de energía media de fallo .....	218
Tabla 3.73 Verificación del supuesto de igualdad de varianza de energía media de fallo .....	219
Tabla 3.74 Análisis de ANOVA para la Energía Media de Fallo.....	221
Tabla 3.75 Valores predichos del punto óptimo de la energía media de fallo .....	225
Tabla 3.76 Configuración óptima del material compuesto .....	227
Tabla 3.77Valores predichos del punto óptimo simultáneo.....	227
Tabla 3.78 ANOVA de la deseabilidad global.....	228

## RESUMEN

La investigación experimental está enfocada a la caracterización mecánica del composite de resina epóxica reforzada con fibra de chambira. En el trabajo experimental se ejecutó el análisis de las propiedades mecánicas del nuevo material compuesto mismo que fue moldeado mediante estratificación al vacío y posteriormente curado a diferentes temperaturas, además, sometido a corte laser CO<sub>2</sub>.

La investigación plantea el análisis de la metodología de superficie de respuesta direccionado al diseño de Box-Behnken el cual establece tres factores de entrada con tres niveles para cada factor: orientación de la fibra OC1 -45,0, 45 grados, OC2 -45, 0, 45 grados y Temperatura de curado de 60, 90, 120 grados centígrados. El diseño sugiere un número específico de tratamientos para el ensayo destructivo de las probetas, datos que serán validados mediante el cumplimiento de los supuestos paramétricos.

A partir del análisis de varianza (ANOVA) se corroboró la adecuación del modelo para cada propiedad mecánica enfatizando los efectos significativos y su incidencia en las propiedades mecánicas, para complementar el análisis se ejecuta la optimización de cada tratamiento a través de la función de la deseabilidad. Los resultados revelan que la configuración óptima del material compuesto donde se aprovechan las propiedades mecánicas es al combinar la OC1 de -35,9 grados; la OC2 de 45 grados y una temperatura de 60 grados centígrados, valores predichos de la deseabilidad con un valor de 0,5871, además se entiende que el modelo explica el 96,6 por ciento de la variabilidad de las propiedades.

**Palabras Claves:** Box-Behnken, Optimización de materiales, MSR, Fibra de Chambira, Astrocaryum, Propiedades Mecánicas, Deseabilidad.



## ABSTRACT

The experimental research is focused on the mechanical characterization of the epoxy resin composite reinforced with chambira fiber. In the experimental work, the analysis of the mechanical properties of the new composite material was carried out, which was molded by vacuum stratification and later cured at different temperatures, in addition, subjected to CO2 laser cutting.

The research raises the analysis of the response surface methodology directed to the Box-Behnken design which establishes three input factors with three levels for each factor: fiber orientation OC1 -45.0, 45 degrees, OC2 -45, 0.45 degree and curing temperature of 60, 90, 120 degrees centigrade. The design suggests a specific number of treatments for the destructive test of the specimens, data that will be validated by fulfilling the parametric assumptions.

From the analysis of variance (ANOVA), the adequacy of the model for each mechanical property was corroborated, emphasizing the significant effects and their incidence on the mechanical properties, to complement the analysis, the optimization of each treatment is carried out through the desirability function. The results reveal that the optimal configuration of the composite material where the mechanical properties are used is by combining the OC1 of -35.9 degree; the OC2 of 45 degree and a temperature of 60 degree centigrade, predicted values of desirability with a value of 0.5871, it is also understood that the model explains 96.6 percent of the variability of the properties.

**Keywords:** Box-Behnken, Optimization of Materials, MSR, Chambira Fiber, Astrocaryum, Mechanical Properties, desirability.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

Para el presente trabajo de investigación es necesario acudir a investigaciones orientadas a materiales compuestos de matriz polimérica epoxi reforzado con fibras naturales, mismas que serán de gran aporte previo al desarrollo del trabajo experimental.

En el estudio ejecutado por el Ingeniero Ponce Lenin de la Universidad Técnica del Norte, de la Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz bajo el tema: “CARACTERIZACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE RESINA EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE CABUYA COMPARADO CON LA MISMA RESINA REFORZADO CON FIBRA DE CAÑA DE AZÚCAR”, en la cual aprecio la diferencia entre el material compuesto con refuerzo de fibra de cabuya y caña de azúcar obteniendo mejores propiedades mecánicas del material compuesto reforzado con fibra de cabuya con fracciones volumétricas de 60 % de matriz, 40 % de refuerzo para tracción y 75% de matriz, 25% de refuerzo para ensayos de flexión e impacto; apreciando una resistencia máxima a la tracción de 63,7 [Mpa], 118,81 [Mpa] y 1,53 [J], respectivamente, cabe recalcar que las probetas se elaboraron con 3 capas y orientaciones de 90°, 0° y 90°.

De acuerdo con el trabajo de investigación realizado por Ayala Fredy y Contreras Francisco de la Escuela Politécnica del Ejército ESPE. de la Carrera de Ingeniería Mecánica, titulado “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL COMPOSITE UV FOTO CURABLE RESINA ASTROCARYUM CHAMBIRA ECUATORIANA”, elaboró un material compuesto a base de resina foto curable UV reforzado con fibra de Chambira en la cual al ejecutar la caracterización de las propiedades mecánicas en probetas con configuración de fibra a 0°, 45° y 90°, obtuvo un mejor comportamiento en orientación de la fibra a 45° y 90° en la que el esfuerzo máximo de aumento de 13,5%, 11,45% y 15,02% con respecto a la probeta ensayada solo con resina. Sin embargo, al utilizar la configuración a 0° se observó una disminución del esfuerzo considerable del 72,62% y

25,45% respectivamente, además, concluyó que es imprescindible utilizar este tipo de resina por lo que la resistencia mecánica con este tipo de resina son demasiados bajos en comparación con las resinas fenólica y polipropileno.

En el trabajo investigativo en la Universidad de los Andes por Monroy María bajo el título, “CARACTERIZACIÓN MACRO MECÁNICA DE UN MATERIAL COMPUESTO A BASE DE ÁCIDO POLI LÁCTICO (PLA) Y FIBRAS NATURALES DE CUMARE (ASTROCARYUM CHAMBIRA)”, en la cual obtiene resultados comparando con materiales compuestos conformado por: fibras de vidrio (FV) y fibra de jute (FJ), describiendo un aumento significativo en las propiedades mecánicas a la tracción, flexión e impacto. La resistencia a la tracción de 522 MPa, (PLA+FJ=583 MPa,) la resistencia a la flexión 124 MPa, en comparación a otros materiales compuestos conformados por PLA+FV (110 MPa) y PLA +Fibra de Jute (100 MPa). Concluye también que el módulo de elasticidad y resistencia a la tracción aumenta significativamente dependiendo de la fracción volumétrica de fibra hasta un máximo de 45% de fibra refuerzo.

Mediante el trabajo de titulación realizado por el ingeniero Alex Jácome, bajo el tema “ESTUDIO DE LA CONFIGURACIÓN DE FIBRAS DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA DE PIÑA Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICA EN LA FABRICACIÓN DE BUTACA DEPORTIVAS”, observó mejores resultados en las propiedades mecánicas al combinar 70% de matriz epoxi y 30% de refuerzo (fibra larga de piña), visualizando un esfuerzo máximo a la tracción de 108, 8 MPa y un esfuerzo máximo a la flexión de 108 ,6 MPa, mismo que fue compara con el material compuesto fabricado con matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio en la construcción de butacas deportivas, siendo el material de estudio una alternativa en la fabricación de dichas butacas.

En referencia al trabajo experimental de Cunalata Cesar de la Universidad Técnica de Ambato de la Carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema “ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO CON MATRIZ EPOXI REFORZADA CON

FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ”; en la cual al utilizar factores de entrada como orientación de las fibras (0; 45 y 90 grados), temperatura de curado (20, 40, 80 grados centígrados), mediante proceso de estratificación del material compuesto al vacío, aplicando un diseño de Box-Behnken; obtiene resultados óptimos globales enfatizando que para aprovechar la propiedades mecánicas del material híbrido es mediante la orientación del tejido de la fibra de abacá de 0 grados con un espesor de la fibra de vidrio de 1,2 mm y una temperatura de curado 55,8 grados centígrados, obteniendo un modelo de regresión de diseño de 96,69 % de la variabilidad de las propiedades mecánicas, con un valor de deseabilidad global del 0,7931; esfuerzo máximo a la tracción de 181,51 [MPa], esfuerzo máximo a la flexión de 163,64 [MPa], y una energía medio de fallo de 1,85 [J].

## **1.2.Fundamentación teórica**

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se vio la necesidad de indagar información necesaria con la finalidad de profundizar el conocimiento con respecto a los materiales compuestos a base de fibras naturales, así como también del proceso de estratificación para su elaboración pertinente, además, se abordará temas como: la metodología de superficie de respuesta para determinar el número de probetas para ejecutar los ensayos mecánicos, los mismos que se facilitará de libros, tesis, artículos científicos, normas, siguiendo una secuencia de los temas como se presenta a continuación.

### **1.2.1. Materiales compuestos**

En la actualidad la ciencia e ingeniería de los materiales requiere de materiales cada vez más especializados con el objetivo de que este aporte equilibrio de las propiedades estructurales y dé como resultado un material con características similares o superiores a los materiales convencionales. [1]

La definición de un material compuesto está orientada a la combinación o formación de dos o más componentes estructuralmente contribuidos de una matriz y fibra o partículas de refuerzo; que pueden ser fibras largas o cortas dispersas aleatorias o uniformemente. Estos materiales presentan propiedades físicas, mecánicas y químicas diferentes a los

materiales tradicionales, por su naturaleza están constituidos por refuerzos de fibra natural (coco, abacá, algodón, etc.), incorporado en matriz polimérica o cerámicos. [2]

La **matriz** es el componente de mayor porcentaje en un composite, su objetivo principal es servir de aglutinante, además, transmitir los esfuerzos que se le aplica al material de refuerzo. El **refuerzo** a su vez es el complemento de un material compuesto cuya finalidad es aportar rigidez y resistencia, aumentar las propiedades físicas, química y mecánicas de la matriz, para que así se forme una interfaz fuerte.

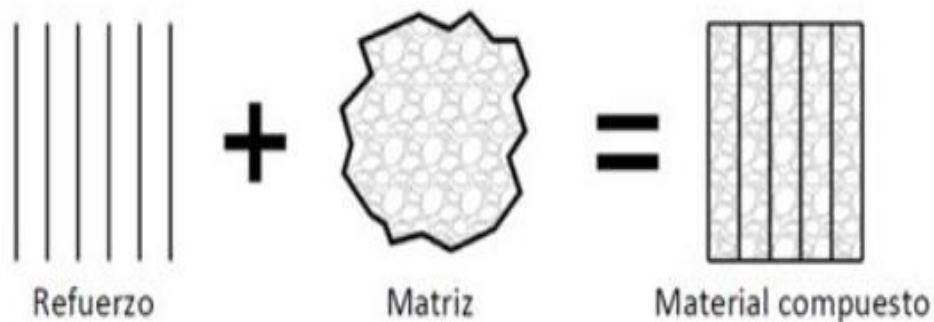


Figura 1.1. Estructura básica de un material compuesto. [3]

La importancia de obtener materiales compuestos se basa en la necesidad de adquirir materiales con mejores propiedades como la resistencia y la tenacidad, además, de que sean amigables con el medio ambiente [3]. Cabe recalcar que para aplicaciones en ingeniería son aprovechados ya que han abierto gran campo en el área de la industria naval, energética, y especialmente en el transporte, etc. En la figura se presentan las posibles aplicaciones de los materiales compuestos que han ganado territorio en las diferentes industrias. [4]

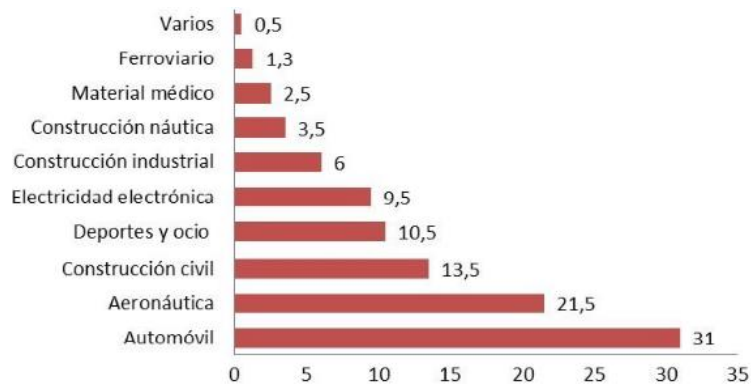


Figura 1.2. Aplicaciones principales de los materiales compuestos. [4]

En ingenier3a, la mayor3a de los materiales que han sido elaborados se ha encaminado para el mejoramiento de las propiedades mec3nicas de los mismos tales como: resistencia, rigidez, tenacidad, as3 como tambi3n propiedades a altas temperaturas, es prudente realizar una clasificaci3n razonable sobre el mecanismo que se considera esta mejor. bajo este contexto se presenta la siguiente clasificaci3n indicada en la figura

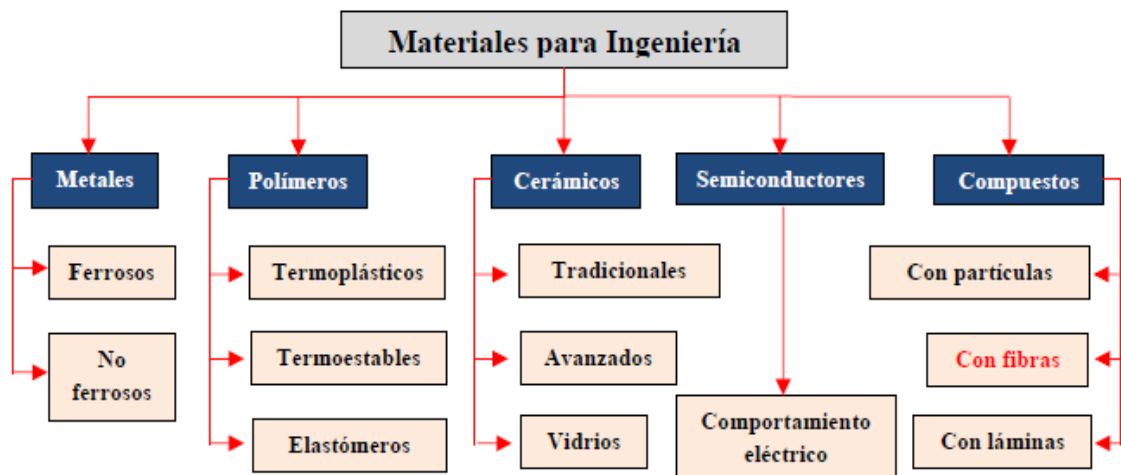


Figura 1.3 Clasificaci3n de los materiales utilizados en Ingenier3a [5]

### 1.2.2. Clasificaci3n de los materiales compuestos

Siendo m3s espec3fico, la clasificaci3n de los materiales compuestos en ingenier3a est3n orientados de acuerdo a la matriz que la contiene o a su vez al tipo de refuerzo que utilice, por lo general en funci3n a la matriz se distinguen tres tipos: material compuesto de matriz met3lica, de matriz cer3mica y matriz polim3rica. Por otro lado, al referirse a la

particularidad del tipo de refuerzo que utilice se efectúan dos tipos: compuestos reforzados con partículas y compuestos reforzados con fibras. Esta última a su vez está encaminada a materiales con refuerzos continuos y refuerzo discontinuos. Con se presenta a continuación en la figura 1.4.

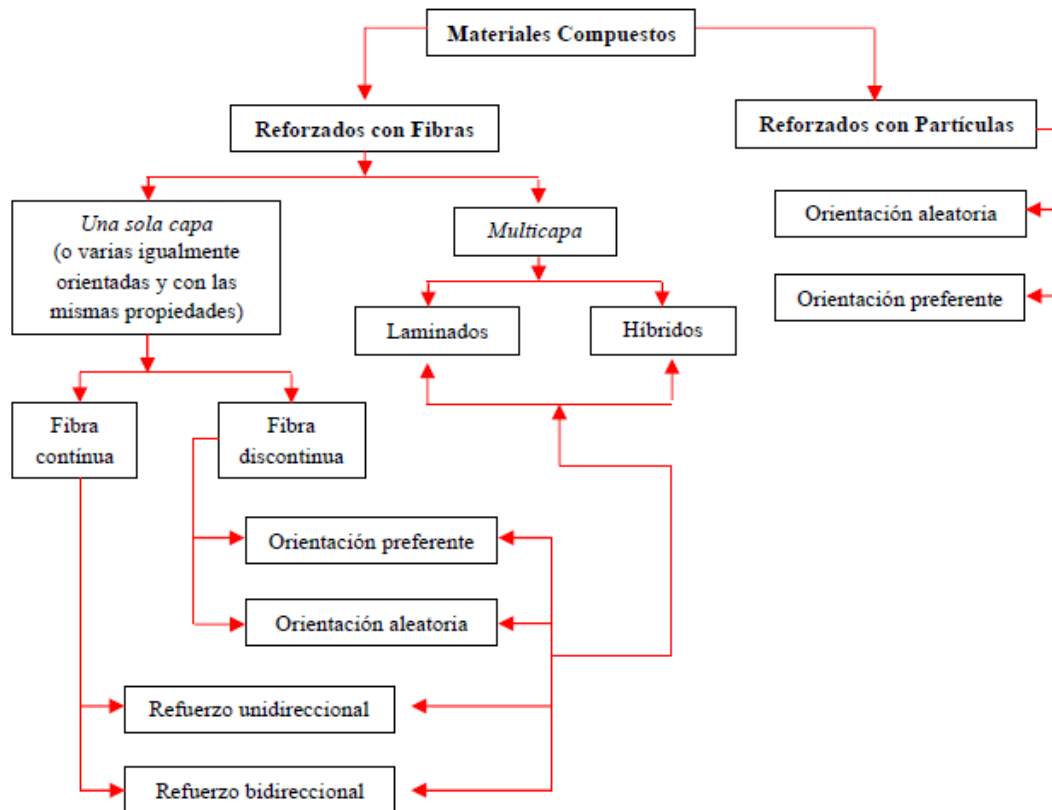


Figura 1.4. Clasificación de los materiales compuestos [5]

### 1.2.3. Componentes de los materiales compuestos

Básicamente en los materiales compuestos es prudente considerar dos fases contribuyentes: una fase denominada matriz y la otra llamada fibra. Las fibras por excelencia son denominadas refuerzo, puesto que, la matriz se define como el encargado de otorgar propiedades físicas y químicas, pero también encargadas de transmitir los esfuerzos a los elementos de los refuerzos. Por otro lado, el refuerzo es el elemento que proporciona las propiedades mecánicas al nuevo material. [6]

Con respecto a las matrices generalmente suelen ser metálicas o no metálicas, este último se considera a las matrices poliméricas que incluyen resinas tales como poliéster y epoxi. [7]

En esta investigación se efectuarán la elaboración de los materiales compuestos a base de matriz no metálicas con resina epoxi

### 1.2.3.1. Matrices poliméricas

La matriz polimérica en el material compuesto se denomina la fase continua donde el refuerzo queda “embebido”, en principio, es posible utilizar como matriz cualquier material que cumpla con las siguientes funciones principales: definir las propiedades físicas y químicas, transmitir las cargas al refuerzo, proteger y brindar cohesión al material compuesto. Además, determinar características como la conformabilidad y el acabado superficial que está directamente relacionado con la capacidad de que el material compuesto para ser conformado en geometrías complejas donde se involucran etapas de acabado [4]. El material compuesto al ser sometido a diferentes tipos de cargas juega un papel fundamental.

Bajo cargas compresivas: la matriz soporta el esfuerzo, puesto que se trata de la fase continua.

Bajo cargas de tracción: la matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada uno de las fibras o partículas, de tal manera que este soporte el esfuerzo, por esto es fundamental que exista una excelente adhesión entre la matriz y refuerzo

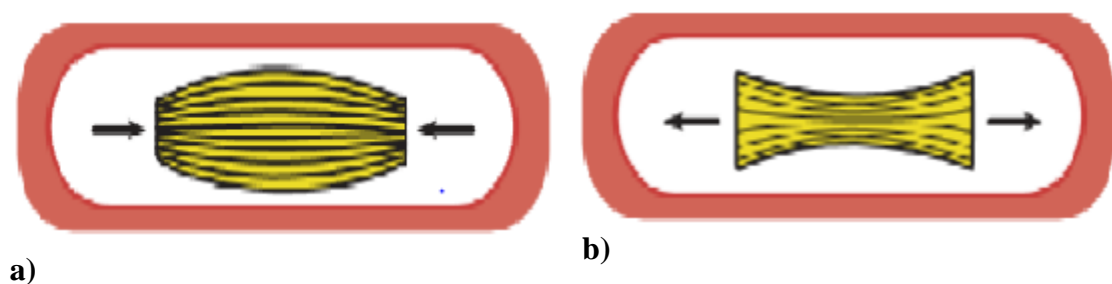


Figura 1.5. Comportamiento de las fibras naturales: a) Carga de compresión b) Cargas a tracción [4]



En general existen tres grupos de matrices poliméricas: termoestables, termoplásticas y elastómeras [8]. La siguiente tabla describe algunos tipos de matrices poliméricas más comunes que se pueden encontrar en el mercado.

Tabla 1.1 Matrices poliméricas para materiales compuestos

Tipos	Ejemplos	
Termoestables	Polipropileno (PP)	Poliacetales (POM)
	Poliamida (PA)	Polisulfonas (PSU)
	Policarbonato (PC)	Polieteretercetonas (PEEK)
	Poliéster Saturado (PET, PBT)	Polímeros fluorados (PF)
Termoestables	Poliésteres insaturados (UP)	Poliimidias (PI)
	Poliépidos (EP)	Poliesterilpirioinas (PSP)
		Fenoplastos (PF)
Elastómeros	Poliuretanos (PU)	
	Siliconas (SI)	

Fuente: [8]

Para esta investigación se hará énfasis en la clasificación de las matrices poliméricas con respecto a las matrices termoestables. Si bien es cierto, en la actualidad se puede encontrar gran variedad de resinas orientadas a matrices termoestables, unas de estas son la resina poliéster y epoxi mismas que son de mayor utilización en diversas aplicaciones industriales [8]. Para este trabajo experimental se enfocará en la resina Epoxi como matriz principal en el material compuesto.

### **Matrices poliméricas Termoestables**

Este tipo de matrices poliméricas se caracterizan porque no son fundibles ya que al aumentar la temperatura ocurre una degradación química llamada carbonización en este grupo están las resinas poliéster, viniléster, epoxi, fenólicas entre otras [9].

### **Resina epoxi**

Este tipo de resina es especialmente utilizada en la industria de la construcción, en comparación con la resina poliéster tiene un uso especializado más no limitado [10]. La

resina epoxi tiene mejores propiedades que la resina poliéster, pero suele tener un proceso de curado lento ya que llega alcanzar hasta dos horas en presentar el estado gelatinoso [8]. Generalmente tiene amplia aplicación en la fabricación de componentes de aviones por su buenas propiedades mecánicas y resistencia a la degradación ambiental, además, para la elaboración de embarcaciones puesto que posee propiedades adhesivas y alta resistencia a la degradación en el agua [11]. Además, se usa para recubrimiento, pinturas y aislante eléctrico [12].

La formulación de la resina epoxi consiste en un átomo de oxígeno unidos a dos átomos de carbono unidos en cierta medida. Generalmente se identifica por su color ámbar o marrón, y se curan rápidamente y fácilmente a cualquier temperatura comprendida entre los 5° C y 150 °C, según la elección del agente de curado (endurecedor). Sin embargo, en caso de alta viscosidad, pueden requerir etapas de post curado para obtener propiedades finales [11]. Las propiedades de la resina epoxi difieren del poliéster ya que posee gran resistencia a altas temperaturas, buena adhesión y bajo contracción durante la polimerización [10]. En la siguiente tabla se identifica la diferencia de estas resinas termoestables.

Tabla 1.2 Características de las matrices termoestables

Propiedad	Matriz				
	Poliéster Insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Viniléster	Resina Poliimidias
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1,17-1,26	1,17-1,25	1,25-1,3	1,17-1,25	1,27-1,42
Alargamiento (%)	<3	6-ago	<3	3,5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de Moldeo (°C)	T <sub>amb</sub> hasta 180	T <sub>amb</sub> hasta 170	150-190	T <sub>amb</sub> hasta 175	=350
Temperatura de Reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260
Propiedades reológicas	Muy buenas				Función de la resina
Calor de reacción	Reacción exotérmica dependiente de la geometría de la pieza				

<b>Contracción de fraguado (%)</b>	6-10	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7
<b>Contracción posterior (%)</b>	Hasta 3	Prácticament e ninguna	Hasta 0,4	Hasta 1	Casi ninguna
<b>Resiste a:</b>	Agua, soluciones acuosas, fuel, gasolina	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	Alcohol, gasolina, benzol, aceites y grasas	37% HCL, ClO <sub>2</sub> , agua salina, alquitranes	
<b>No resiste a:</b>	Agua hirviendo, ácidos y lejías, benzol y alcohol	Agua hirviendo, ésteres, ácidos y bases, cetonas	Ácidos y bases concentradas	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 75% NaCl al 6% NaOH al 15% agua hirviendo	
<b>Inflamabilidad</b>	No auto extinguable	Difícilmente inflamable, después arde	Dífilamente inflamable	No auto extinguable	

Fuente: [13]

### 1.2.3.2. Material de Refuerzo

Esta representa a la fase discontinua o dispersa que se agrega a la matriz, en general el refuerzo se utiliza para aumentar la resistencia y rigidez mecánica, además, se emplean refuerzo para mejorar la resistencia a la temperatura y resistencia a la abrasión [4].

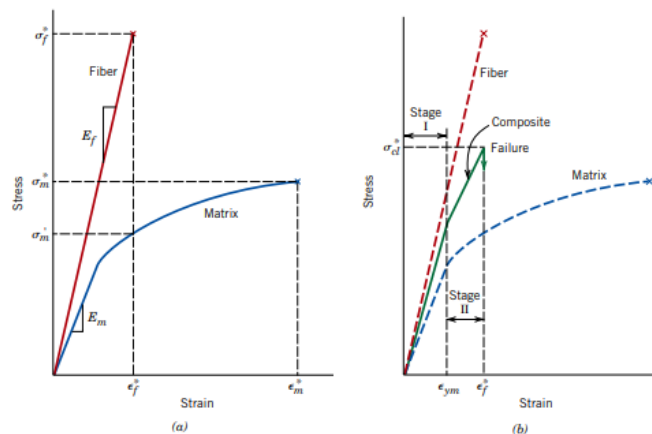


Figura 1.6. Relación esfuerzo vs deformación entre la fibra y matriz [1]

Como se puede observar en la figura la resistencia de la fibra es mayor que el compuesto este tiene un comportamiento lineal con un módulo más bajo que el de las fibras y donde la cantidad que soporta la fibra es mayor.

### **1.2.3.3.Fibras naturales**

Las fibras naturales utilizadas en los compuestos son fibras lignocelulósicas como sisal, lino, cáñamo, yute, bambú, kenaf y fibras de madera, mientras tanto las fibras minerales están compuestas de asbesto, puesto que su estructura es completamente cristalina lo que se diferencia de las fibras vegetales y animales [14].

El rendimiento de los compuestos de polímeros reforzados con fibras naturales depende de varios factores, incluida la composición química, las dimensiones de las células, ángulo de micro fibrillas, defectos, estructura, propiedades físicas y mecánicas de la fibra y también la interacción de la fibra con el polímero. Sin embargo, existen inconvenientes con respecto a sus propiedades, y es que dependen del lugar donde se cultivan, de qué planta se obtiene, la madurez, o de qué forma se recolecta, si son cortas, tejidas o no. Estos factores varían las propiedades a comparación de las fibras sintéticas (vidrio, aramida y carbono) [15]. Un ejemplo de fibras más utilizadas en aplicaciones industriales, en especial para estructuras automovilísticas livianas; es el yute, kenaf, algodón, coco, entre otras [16].

### **1.2.3.4.Clasificación de las fibras naturales**

Las fibras naturales se subdividen según su origen como plantas, vegetales, animales y minerales como se muestra en la figura.

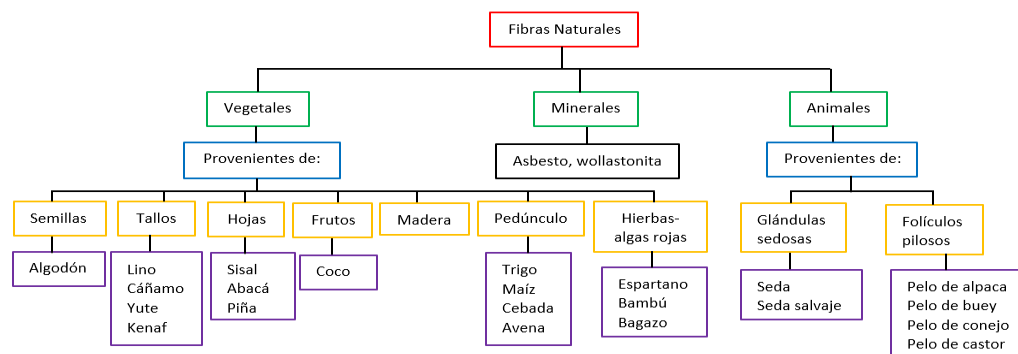


Figura 1.7. Clasificación de las fibras Naturales [16]

### Composición de las fibras naturales

Todas las fibras vegetales a excepción del algodón, están constituidas por diferentes porciones de celulosa, hemicelulosa, lignina, pectinas, ceras y sustancia solubles en agua, siendo las tres primeras los principales componentes. La celulosa brinda propiedades de resistencia a la tracción y a la flexión además de otorgar rigidez, mientras que la lignina ayuda a permeabilizar a la fibra. Por tanto, los factores que influyen directamente en su composición como su estructura viene relacionada con la edad, y el procesamiento de las mismas, y dependerá de las aplicaciones industriales a la que van a ser sometidas el porcentaje del contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina, como se muestra en la siguiente tabla 1.3. [17] [3]

Tabla 1.3. Composición química de algunas fibras vegetales

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (% peso)	Lignina (% peso)
Lino	71,2	18 – 20	2,2
Cáñamo	70 - 75	17 – 22	3,7 - 5,7
Yute	61 - 71	13 – 20	8,1 - 13
Kenaf	45 - 57	21	8 – 13
Ramio	68 - 76	13 – 16	0,6 – 0,7
Abacá	63 - 70	20 – 21	5 – 6
Sisal	67 - 78	10 -14	8 – 14
Algodón	82 - 93	3 – 6	---
Bambú	35 - 61	15	27 - 32
Coco	32 - 43	0,15 – 0,25	40 - 45
Banana	63 - 64	10	5
Formio	71,3	---	---

Fuente: [3]

### 1.2.3.5. Tejidos de fibra naturales

De acuerdo con [3] los materiales fibrosos se han convertido en una excelente alternativa como refuerzos en matrices poliméricas ya que se reduce el número de defectos que puede inducir a fallas en el nuevo material, puesto que, mientras más fino es el tejido de los mismos, pueden ser mejor aprovechados cuando la estructura de las fibras se encuentra aglutinado por la matriz. Además, la configuración y las modificaciones por el entrelazamiento de las fibras que pueden ser cortas, largas, tejidas y no tejidas es un factor muy importante para las características y propiedades mecánicas finales en el composite. Cabe recalcar que si las fibras son colocadas en un solo sentido la resistencia en el material aumenta más al colocarlos en capas con direcciones perpendiculares entre sí el material es más isotrópico pero su resistencia y tenacidad interlaminar disminuye, defectos que pueden ser reducidos al usar fibra tejida, para así conseguir una conformación más estable y mejor estructurada sin mencionar una superficie rugosa que permite una interfaz más adecuada. Con respecto al tejido está formado por dos partes importantes una parte llamada urdimbre (filamentos fijos longitudinales) y la otra conocida como trama (filamentos horizontales), y consiste en entrelazar las fibras longitudinales con los horizontales que se pasa en forma alterna por arriba y debajo de la urdimbre. Los tejidos pueden ser clasificados en tres tipos: tipo plano, tipo diagonal o sarga y tipo satén.

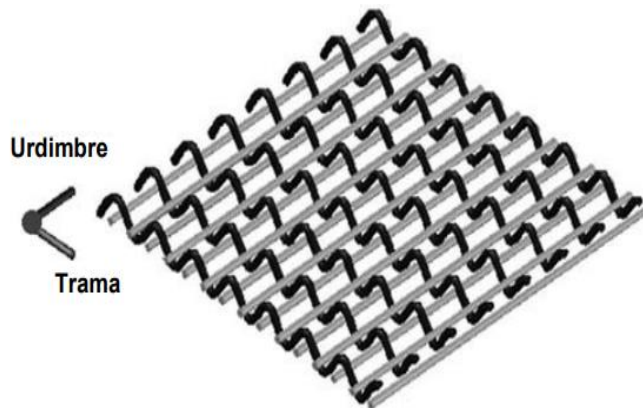


Figura 1.8. Diseño esquemático del tejido [3]

### 1.2.3.6. Refuerzo “Fibra de Chambira”

La fibra foliar extraída de la *Astrocaryum Chambira* (Arecaceae) comúnmente denominado como *Astrocaryum* o *Cumare* dependiendo del lugar de procedencia,

pertenece al grupo de fibras vegetales blandas no vasculares celulósicas, que se extrae de la palma de Chambira, generalmente de palmeras nativas ubicadas en las cuencas de la región amazónica intertropicales de América del Sur, donde se pueden encontrar diferentes especies de fibra existentes en Brasil, Perú, Colombia, Ecuador, Panamá y Costa Rica [17]. En el Perú existen 16 especies de *Astrocaryum*. Cuatro de estas se encuentran en Ecuador, este es el caso de la *Astrocaryum Aculeatum* y la *Astrocaryum Vulgare* que crece en el este amazónico del Perú y son utilizados principalmente para confección de bolsa nativas, hamacas y redes de pesca. Mientras que en Brasil se halla la fibra del tipo de *Astrocaryum Arenarium* que crecen en zonas semiáridas y se utiliza para fabricaciones de cuerda. Por otro lado, en países como Ecuador, Colombia, Costa Rica y Panamá que generalmente poseen bosques con humedad relativamente alta, existe la *Astrocaryum Standleyanum* mismos que son aprovechados para la confección de sombreros, hamacas y cestos [18]. Sin embargo, existe una menor importancia en la producción y extracción de fibras de especies como es el caso de la *Astrocaryum Jaguaní* y la *Urostachys*. Afortunadamente, no sucede lo mismo con la *Astrocaryum Chambira* ya que es considerada una de las especies más importantes para la producción de fibras vegetales en la región occidental amazónica ecuatoriana donde habitan etnias indígenas como: los Borá, Chacobo, Cofán, Huaorani, Secoya, entre otras; mismas que son las principales etnias que poseen como principal fuente de empleo la domesticación de fibras, redes de pesca, shigras, hamacas tejidos a partir de la fibra [19].

### **Producción de la Chambira en el Ecuador**

Como se mencionó anteriormente existen varias especies de la fibra *astrocaryum* de acuerdo a su procedencia de producción se los puede encontrar en diferentes localidades de la selva Amazónica, Yamayakat, Amazonas y Santa Luz, Ucayali se encuentra la fibra de tipo (*Astrocaryum Chambira*), Iquitos (*A. Jauari*), Pozuzo (*A. Perangustatum*) y Puerto Quito, Ecuador (*A. Standleyanum*) [17]

La fibra de Chambira en una planta arborescente grande, con tallo solitario de hasta 30 m, un diámetro entre 25 y 45 cm, cubierto con espinas planas amarillentas, su corona se encuentra formado por 9-16 hojas pinnadas erguidas y con una longitud de hasta 5 m de

largo con un pecíolo y raquis cubierto de espinas. La infrutescencia tiene hasta 500 frutos ovoides (6-7 eje mayor y 4-5 eje menor), de color verde claro o amarillo cuando ya está maduros [20]. La fibra se extrae de los folíolos que son las pequeñas hojas que nacen del raquis de la hoja. [20] [21]



Figura 1.9. Extracción de la fibra de Chambira [21]

La *astrocaryum*, se encuentra en el parque nacional yasuní, amazonia ecuatoriana, con más abundancia en los bosques de tierra firme hasta los 350 msnm y de manera esporádica a mayor altitud, aproximadamente hasta los 500-600 msnm (patrimonio 2015), aunque en ocasiones se la puede encontrar en pantanos. [20]

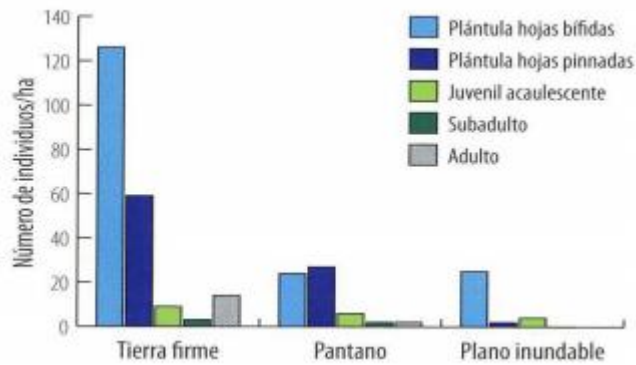


Figura 1.10. Zonas donde crecen las palmas de la Chambira [20]



La fibra de Cumare se obtiene de los folios que son pequeñas hojas que nacen del raquis de la hoja. La extracción de la fibra se realiza manualmente. El corte se hace con la ayuda de un machete y los cogollos se sacuden para permitir que los folios se separen, se cortan manualmente el nervio de cada uno, la obtención de la fibra inicia con el desprendimiento de la epidermis de los foliolos para extraer las fibras, se cocinan en agua hervida durante 30 minutos, se lavan con jabón una vez limpias las fibras y se secan al sol, posteriormente se hilan previamente las fibras y se procede al trenzado de las fibras que consiste en colocar la fibra en el muslo y torcer con la palma de la mano hasta formar fibras o piolas continuas compuestas de varias fibras, adaptándolas y superponiéndolos entre sí, unos 20 cm para obtener hilos de mayor longitud. [20] [21]. Adicionalmente, Según [22] en el Ecuador esta fibra se produce en los sectores amazónicos en provincias como Napo y Puyo el consumo anual de la fibra de Chambira es 223 kilogramos utilizados en artesanías.



Figura 1.11 Proceso de obtención de la fibra de Chambira de manera artesanal. [20]

### **Características físicas**

La fibra *Astrocaryum* Chambira en comparación de los otros tipos de fibras *Astrocaryum* Jauari, *Perangustatum* y *Standleyanum* las cuales no proveen fibras de calidad. La densidad, el espesor y la resistencia a la tracción son mayores en la fibra de Chambira. tiene un alto contenido de celulosa (93.9% ) y un bajo contenido de lignina (4,2%) y desarrolla una alta tracción a la tracción [17] [23].

La fibra comercial de la cambiar es de forma acintada-aplanada de color crema y con un espesor promedio de 0,19 mm en sección trasversal muestra una epidermis adaxial uniestratificada de células redondas de paredes internas delgadas y cutículas delgada [21].

La densidad de la fibra de Chambira se expone en la tabla 1.13 esto comprende a los haces de fibra, no procesada.

Tabla 1.4. Densidad lineal y volumétrica de haces de la fibra de Chambira

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

Fuente: [21]

### Propiedades mecánicas de la fibra de Chambira

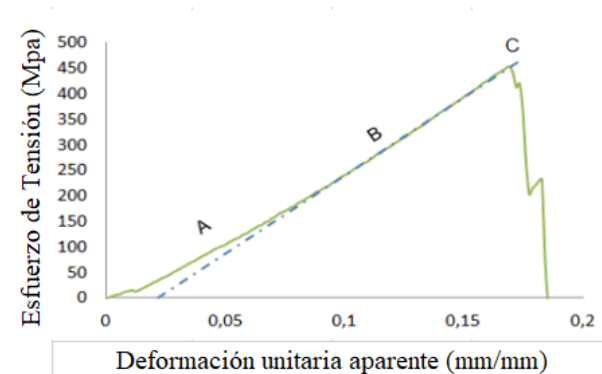


Figura 1.12 Comportamiento a la tensión de la fibra de Chambira [21]

En la figura se puede observar el comportamiento de la fibra de Chambira de la deformación vs el esfuerzo de tensión la misma que llega a un esfuerzo comprendido entre 450-500 MPa.

Tabla 1.5. Resistencia máxima a la tensión de los tres haces de la fibra de Chambira

	1 Hilo	2 Hilos	3 Hilos
Módulo de Weibull $\sigma_0$ (MPa)	4	4	5

$\sigma_0$ (MPa)	503,2	522,6	507
Desviación estándar (MPa)	90	100	85

Fuente: [21]

Cuando las fibras han pasado por un proceso de hilado, su resistencia a la tensión es inferior a la de las fibras sin hilar. Este es el caso del bambú hilado y la cuerda de Cumare. Por otro lado, el haz de fibras de Cumare tiene una resistencia a tensión en el rango de las demás fibras naturales presentes, tiene propiedades superiores a las de las fibras de algodón, bambú y henequén e inferior a las de fibra de lino, sisal y cáñamo. En cuanto a la resistencia específica se puede decir que está en el rango de casi todas las fibras naturales. [21]

Tabla 1.6. Propiedades mecánicas de fibras naturales incluido la fibra de Chambira

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

Fuente: [21]

### Aplicaciones industriales

En la actualidad se están realizando diversas investigaciones con respecto a la aplicación de la fibra de Chambira enmarcada a la industria automotriz el mismo que es comparada con otros sistemas de materiales compuestos con fibra natural y que presenta características similares o superiores reportados por otros autores. Para la aplicación industrial se combina fibra de Chambira con resina bioepoxi para la aplicación de una

manija interior de la apertura de la puerta de un vehículo, análisis realizado por elementos finitos [24].

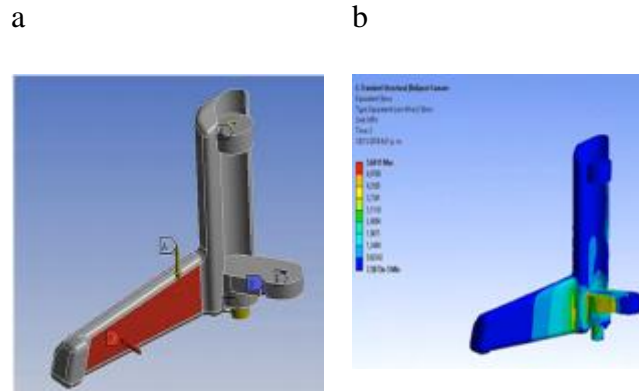


Figura 1.13. Simulación del material compuesto por elementos finitos (fibra de Chambira + resina bioepoxi) [24]

#### 1.2.4. Proceso de fabricación de los materiales compuestos con matriz polimérica

Es importante considerar la distribución uniforme de matriz sobre la fibra al momento de elaborar los materiales compuestos, ya que la presencia de impurezas, desperfectos, burbujas de aire, zonas vacías sin impregnar, generan puntos débiles en la conformación del compuesto, estos puntos con concentradores de esfuerzos, los cuales generan falla del sistema una vez sometidos a carga [25].

En base a la información revisada y consultada en la literatura, industrialmente existen diferentes métodos de fabricación de materiales compuestos con matrices termoestables. Entre estos se puede encontrar los siguientes [25].

- Proceso de armado impregnado
- Proceso de pulverización
- Proceso de devanado de filamentos
- Proceso de pultrusión
- Proceso de moldeo por transferencia de resina
- Proceso de moldeo por inyección de reacción estructural (SRIM)
- Proceso de moldeo por compresión
- Proceso de envoltura de rollo
- Moldeo por inyección de compuestos termoestables

Para la elaboración del material compuesto de matriz polimérica de resina epoxi reforzado con fibra de Chambira el presente trabajo investigativo se va utilizar el proceso de estratificación de bolsa al de vacío, ya que según [26] comercialmente es uno de los procesos más utilizados en la industria naval. Cabe destacar que este proceso es conocido también como proceso de autoclave o proceso de embolsado al vacío.

#### **1.2.4.1.Estratificación de materiales compuestos mediante bolsas de vacío “autoclave”**

Es un proceso en el cual los impregnados se cortan se colocan en la orientación de la fibra deseada y luego se empacan al vacío, posteriormente el compuesto con el molde se coloca dentro de un horno o autoclave y luego se aplica calor y presión para el curado y consolidación de la pieza final [26].

Además, de acuerdo con [27] este proceso de fabricación de composite se realiza mediante el proceso de infusión sobre una superficie plana mediante una bolsa polimérica, se utiliza una bomba de vacío que se encuentra conectado con tuberías flexibles al esquema formado entre la bolsa de vacío y la superficie plana. Se extrae todo el aire almacenado en la configuración establecida y se inicia la infusión de la resina, una vez que toda la fibra queda embebida, se deja reaccionar hasta que se cura toda la superficie y empieza el proceso de solidificación. Sin embargo, este proceso es muy complejo por el requerimiento del horneado para el curado de las probetas, pero según [25], se puede ejecutar también sin la aplicación posterior del horneado para el curado del compuesto puesto que es posible curar al ambiente.

Además, este proceso es utilizado en la producción de laminados de alto rendimiento generalmente en compuestos de matriz epoxi reforzados con fibras y ofrece la ventaja de eliminar las burbujas de aire que formadas en la combinación de los composites, además, ayuda en la compactación de las capas de refuerzo y evita que la orientación del mismo se modifique durante el curado antes que el material se cristalice el cual desarrolla mejores condiciones mecánicas en el mismo. Este método se usa mucho para componentes que son aplicados en la aeronáutica y aeroespacial, puesto que los distintos pasos que se ejecutan para conformar una pieza son impregnar las fibras con la matriz, estos pliegues

se colocan unos sobre otros en distintas direcciones para obtener el patrón de resistencia deseado para posterior enfundar el compuesto y aplicar la presión de vacío [28].

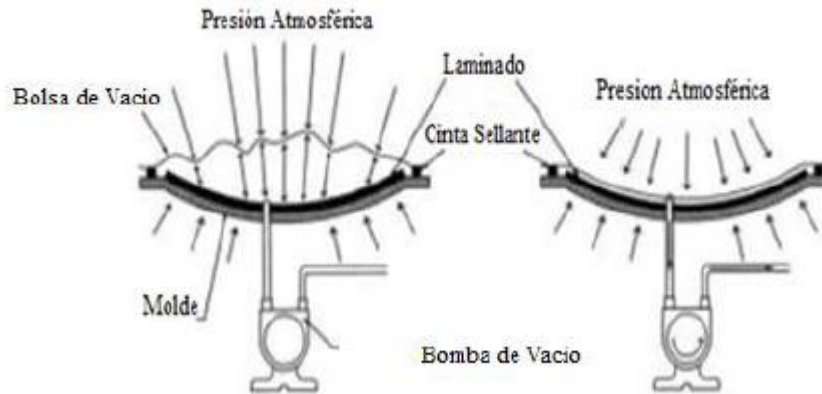


Figura 1.14 Proceso de fabricación del material compuesto mediante bolsa de vacío [10]

### 1.2.5. Factores considerados al momento de fabricar un composite

#### Temperatura de secado

Generalmente todas las resinas termofijas requieren de un proceso de curado, que básicamente consiste en el encadenamiento transversal del polímero que pasa de un estado líquido o altamente plástico a un estado sólido o totalmente endurecido, los parámetros involucrados en para este proceso son: tiempo, temperatura y presión, en varias ocasiones se necesita de algunos días para alcanzar un curado total, pero en algunos casos es posible suministrar calor mediante un horno que proporcionando temperaturas controladas.

#### Orientación

Según [29] se obtienen rendimientos mayores referente al esfuerzo de tracción del material compuesto cuando la fibra está orientada en la misma dirección de la carga aplicada es decir a  $0^\circ$  en este caso la figura muestra los casos 1 y 2, a su vez cuando la fibra se orienta a  $45^\circ$  se aprecia rendimiento deficiente para los casos 3 y 4.

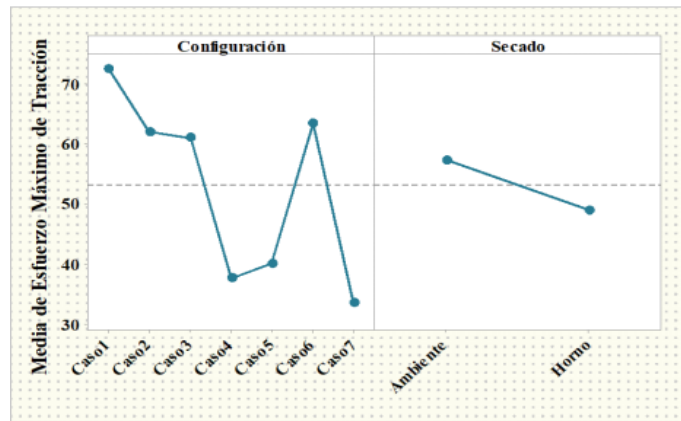


Figura 1.15 Rendimiento de Esfuerzo Máximo de Tracción de un material híbrido con diferentes casos de configuraciones de orientación de fibras y curado al ambiente y al horno [29]

Además, en la figura se observa cómo cambia la resistencia mecánica de un material compuesto según la orientación de las fibras, puesto que, las configuraciones de fibras largas, continuas y unidireccionales producen propiedades anisotrópicas, con una resistencia y rigidez particularmente buenas en dirección paralela a las fibras. Estas fibras se conocen como capas a  $0^\circ$ , lo cual muestra que todas las fibras están alineadas en dirección al esfuerzo aplicado, sin embargo, las orientaciones unidireccionales originan malas propiedades si la carga es perpendicular a dichas fibras [30].

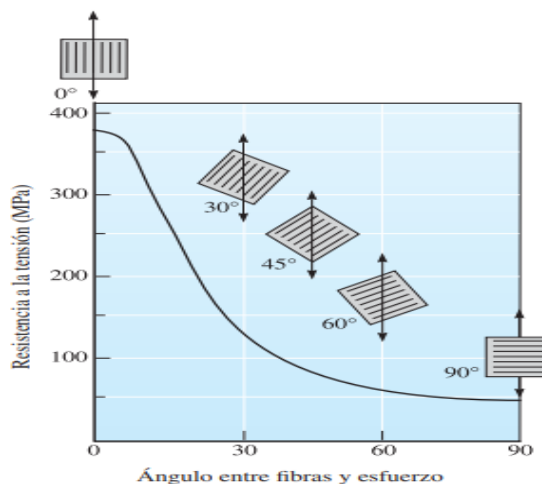


Figura 1.16. Efecto de la orientación de la fibra sobre la resistencia a la tensión de compuestos epóxicos reforzados con fibras de vidrio E [30].

### **1.2.6. Caracterización mecánica**

La caracterización mecánica de los materiales compuestos se fundamenta en la utilización de ensayos destructivos la cual permite evaluar sus propiedades mecánicas. Para Este proceso se toma determinadas muestras del material (bajo norma) para ejecutar cierto número de pruebas o ensayo, esto con la finalidad de observar el comportamiento del mismo a través de equipos adecuados mismos que deben estar calibrados y certificados para que los resultados sean factibles, los institutos como la ASTM, ASME, ISO, UNE INCOTEC, INEC, etc. Se orientan a la caracterización mecánica. El primero ha desarrollado normas enfocadas a la caracterización mecánica de compuestos que son básicamente tracción, flexión e impacto. [3]

#### **1.2.6.1. Ensayo de materiales**

##### **Ensayo de tracción**

El ensayo a tracción es uno de los ensayos mecánicos comúnmente más utilizados, en la cual el material o probeta a ensayar se fractura hasta alcanzar su deformación máxima mediante la aplicación de una fuerza axial a lo largo del eje principal aumentando de manera gradual. En materiales compuestos con fibra los ensayos se ejecutan bajo norma ASTM D3039/D3039M-08 y se realizan mediante una máquina universal de ensayos. [3]

##### **Ensayo a flexión**

Este ensayo permite identificar la rigidez a la flexión, así como propiedades de resistencia de un compuesto de matriz polimérica, este ensayo se efectúa mediante la norma ASTM D 7264/7264M-07, el procedimiento de este ensayo corresponde a un sistema que aplica carga en tres puntos utilizando una carga central en una viga con apoyos simples. Además, para ejecutar este ensayo se quiere como mínimo 5 probetas a menos que se requiera obtener resultados válidos como es el caso de ensayos experimentales, las dimensiones de las probetas se encuentran especificadas en la norma, así como también las respectivas ecuaciones que permiten calcular valores para las propiedades a flexión analizados [3].



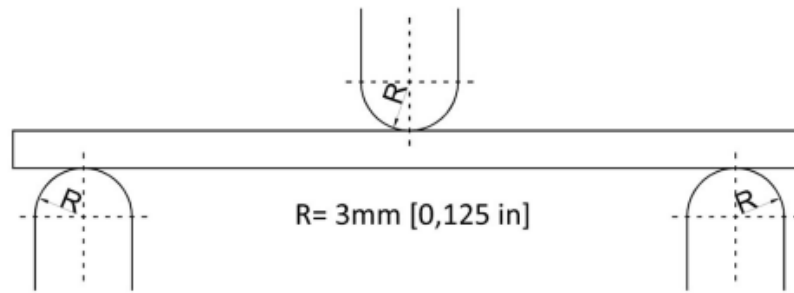


Figura 1.17. Configuración de cargas en tres puntos para el ensayo a flexión [3]

### **Ensayo de impacto**

Para efectuar este tipo de ensayo se realiza mediante caída de dardo bajo la norma técnica ASTM D 5628, el cual es prevista para materiales compuestos, con este método se prevé determinar la energía de falla del material en la cual se presenta fisuras al dejar caer el dardo sobre la probeta, cabe mencionar que en el ensayo de impacto se determina la característica del material sometido a una determinada fuerza de choque para evaluar la capacidad de firmeza de los materiales a las cargas de impacto y establecer su predisposición a la destrucción frágil y la cantidad de energía absorbida al romperse la probeta en un solo golpe [3].

#### **1.2.7. Diseño de experimentos**

Básicamente el diseño de experimentos se compone de métodos estadísticos que consiste en asignar tratamientos experimentales a las muestras de estudios. Cuando se aplica el diseño de experimentos en el campo industrial es posible obtener mayor cantidad necesaria de información reduciendo costos y con mejor eficiencia [31].

Aplicados en ingeniería, existen diferentes tipos de diseños de experimentos, pero los más importantes se mencionan: al diseño completamente aleatorio, diseño completo en bloques al azar, diseños factoriales, método de superficies de respuesta, taguchi, etc. En este trabajo experimental se utilizará el método de superficie de respuesta para el análisis de los datos.

### 1.2.7.1. Método de superficie de respuesta

El Método de superficie de respuesta conocido por sus siglas (MSR) tiene como objetivo optimizar la variable de interés, generalmente vinculada a las técnicas matemáticas y estadísticas usada particularmente para ajustar y analizar el problema en los que una variable de interés es influenciada por otra. Los niveles de cada factor se loquita a la region experimental, además, la región de normalidad se forma con la posibles combinaciones de las condiciones o tratamientos de un proceso en particular [32].

El análisis del método de superficie de respuesta permite identificar factores significativos en cada fase, ya que mediante una adecuación del modelo permite determinar la dirección donde se encuentra las condiciones óptimas de experimentación. Particularmente para identificar la influencia que tiene cada factor en la respuesta y examinar la bondad del ajuste del modelo se utiliza el análisis de varianza, a partir de esto se determina la dirección en la cual se encuentra la región óptima mediante el método de máximo de pendiente que corresponderá en aceptar o rechazar la hipótesis establecida en la investigación. [33]

Para apreciar el punto óptimo en la investigación el MSR utiliza tres etapas básicas que son : cribado, búsqueda de primer orden y búsqueda de segundo orden.

Los modelos manejados en la superficie de respuesta son polinomios puesto que si tiene k factores el modelo del primer orden está expresado por:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \varepsilon \quad \text{Ec. 1.1}$$

Mientras que para un modelo de Segundo orden la ecuación queda expresada por:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} * x_i * x_j + \varepsilon \quad \text{Ec. 1.2.}$$

Usualmente en el diseño de segundo orden se establece dos diseños recomendados que son el diseño de Box-Behnken y el diseño central compuesto

**Diseño de Box-Behnken:** este diseño se aplica siempre que en los factores de análisis se tengan tres factores cuantitativos, pero no se cuenten con variables categóricas, además es menos costoso a diferencia de un diseño central compuesto.

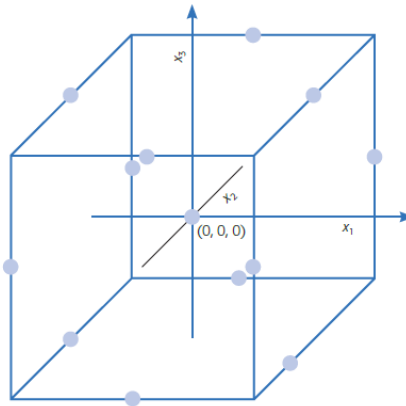


Figura 1.18. Diseño de Box-Behnken para 2 y 3 factores [32]

**Diseño Central compuesto:** El diseño central compuesto se ajusta a un modelo cuadrático completo y se caracteriza porque tiene tratamientos factoriales  $2^k$ , además poseen 5 niveles por factor, y es comúnmente utilizados cuando un plan de diseño solicita un experimento secuencial [32].

Además, este diseño es empleado siempre que se tengan factores cuantitativos y cualitativos, cabe recalcar que en el DCC se estima tres tipos de puntos importantes la cuales forman este diseño: puntos de porción factorial, puntos centrales y puntos de porción axial.

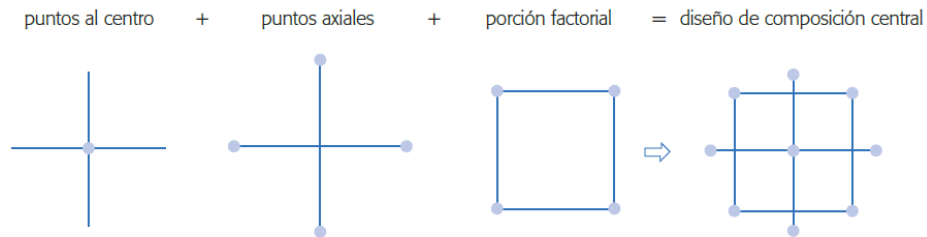


Figura 1.19. Diseño Central Compuesto para 2 Factores [32]

### 1.2.8. Supuestos paramétricos

Dentro del análisis estadísticos se debe tomar en cuenta los criterios de cumplimiento de los supuestos paramétricos, esto se traduce que en cada tratamiento se debe cumplir que los datos tengan una distribución normal, igualdad de varianzas e independencia los residuos, este último se cumple al momento que las corridas se efectúan de manera

aleatoria. Cabe recalcar que en caso de no cumplirse esto se debe recurrir a técnicas de transformación de los datos [32].

### **1.2.9. Verificación de la hipótesis**

Generalmente los valores sobre los parámetros de una población o proceso se efectúan mediante la hipótesis que es susceptible a aprobación y viene expresada por:

$H_0$ : Hipótesis nula

$H_1$ : Hipótesis alternativa

La significancia predefinida se expresa con  $\alpha$ , que viene a ser el riesgo máximo que el investigador está dispuesto a correr para rechazar  $H_0$  y por lo general está en un valor de  $\alpha = 0,05$  o  $0,01$ . En cambio, la significancia calculada, P-valor es el área bajo la distribución de referencia más allá del valor del estadístico de prueba [32]. Además, los criterios de aceptación o rechazo de la hipótesis nula se basa cuando el p-valor cumple con los criterios conociendo que el nivel de significancia  $\alpha$  es del 5%

$P - \text{valor} \geq \alpha, \text{aceptar } H_0$

$P - \text{valor} \leq \alpha, \text{aceptar } H_1$

#### **1.2.9.1. Transformación de datos**

Esta opción se aplica al momento que los datos puestos en análisis no cumplen con los supuestos paramétricos se pueden transformar los datos para convertirlos en supuestos válidos para no tener problema al momento de analizar los datos. La correlación de sesgos en la distribución de errores varianzas desiguales mejorará la correlación entre variables mediante la aplicación de transformaciones de Box y Cox.

#### **1.2.9.2. Optimización de respuestas mediante Función de deseabilidad**

El concepto de la función de la deseabilidad se encamina como la solución para cambiar la respuesta de múltiples factores en un espacio de deseabilidad global. Este enfoque evita los niveles inaceptables de factores e incluso en un solo factor, las respuestas de cada factor se transforman en una medida ordinal adimensional  $d_i, 0 \leq d_i \leq 1$ , donde 0 es una

respuesta indeseable y 1 es una respuesta deseable. La función de deseabilidad se define por la media geométrica siguiente:

$$DG = \sqrt[m]{d_1 * d_2 \dots d_m} = (d_1 * d_2 \dots d_m)^{1/m} \quad \text{Ec. 1.3}$$

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Optimizar bajo metodología de superficie de respuesta (MSR) el material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira (Astrocaryum) las propiedades mecánicas a tracción flexión e impacto.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

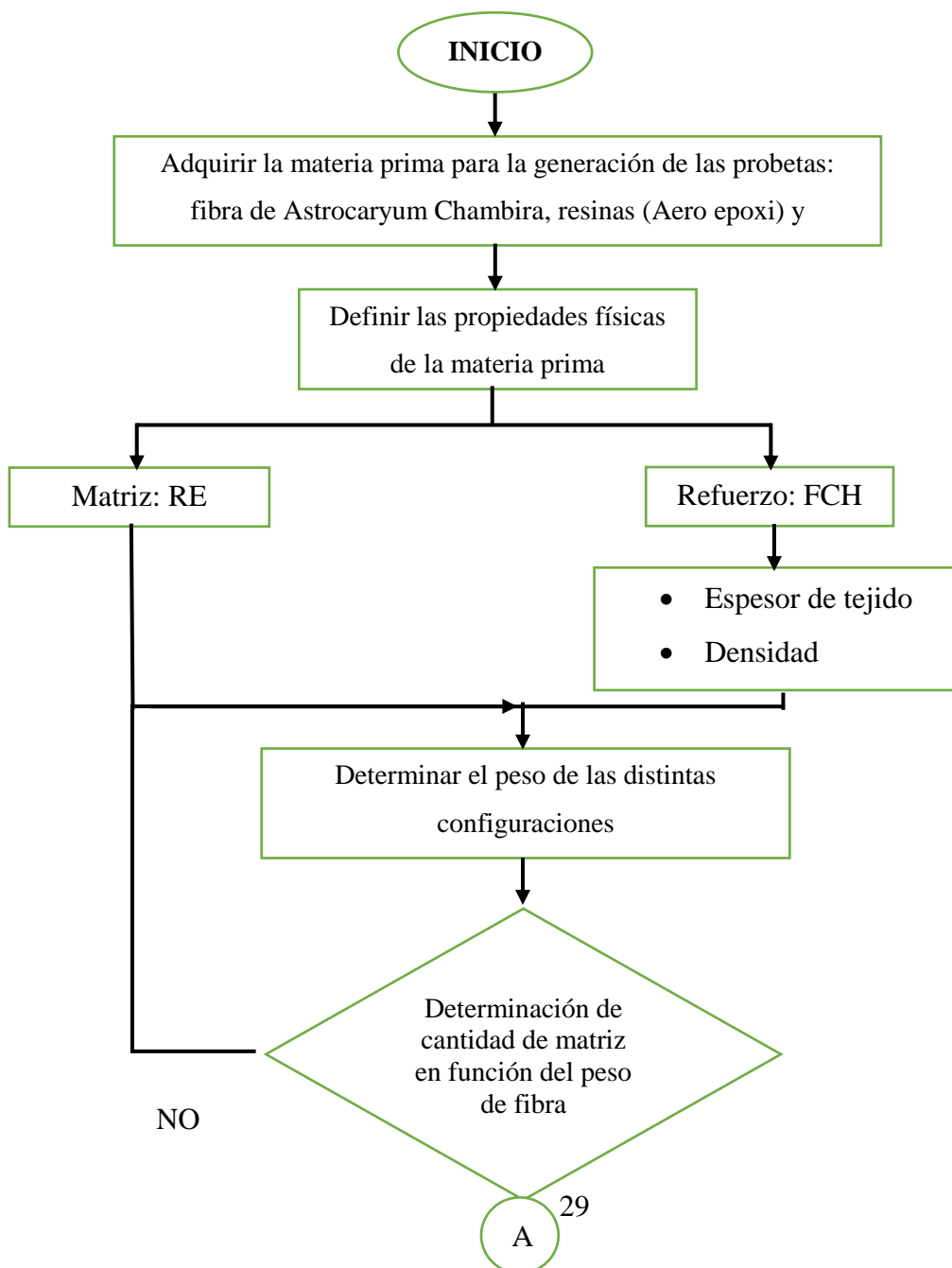
- Elaborar el modelo de la matriz de diseño experimental para la determinación del número de ensayos a ejecutarse.
- Realizar los ensayos mecánicos del material compuesto mediante las normas (Tracción; ASTM D3039, Flexión; ASTM D7264, Impacto; ASTM D5628) respectivamente.
- Evaluar el comportamiento del material compuesto de acuerdo al número de capas y temperatura de secado, a través del método de superficie de respuesta.
- Optimizar el material compuesto de matriz de resina epoxi reforzada con fibra de Chambira para la determinación del óptimo global que aproveche las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Diagrama de flujo del trabajo experimental

Para una correcta elaboración del trabajo experimental es necesario generar un diagrama de proceso el cual especifica de manera ordenada como se va a obtener el material hasta la conclusión del análisis del trabajo de investigación.



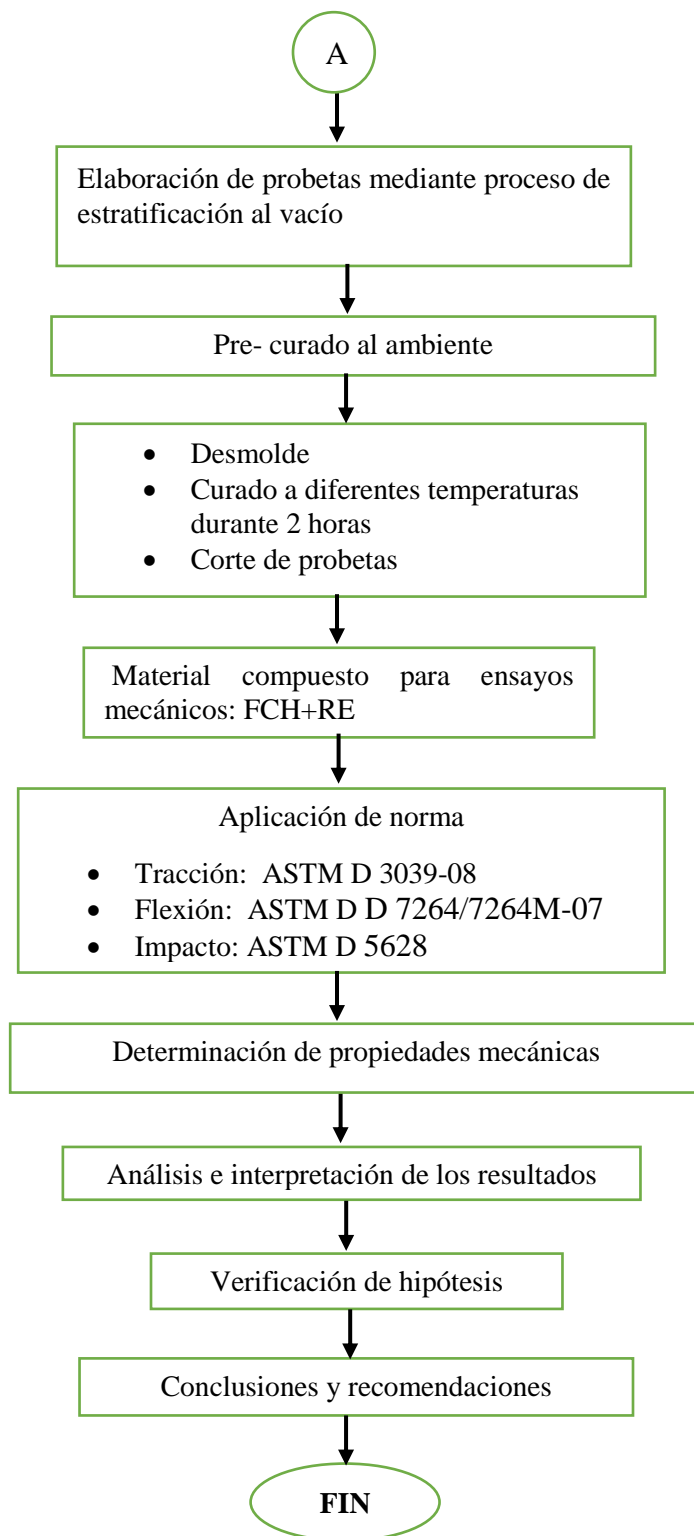


Figura 2.1. diagrama de flujo del trabajo experimental

Fuente: Autor

## 2.2.Materiales


Los materiales utilizados para la elaboración del material compuesto mediante estratificación al vacío se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2.1. Descripción de materiales para elaboración del material compuesto

Denominación	Especificación	Ilustración
Fibra de Chambira	<p>La fibra de chambira proveniente de la provincia de Pastaza, es una fibra especial que se obtiene en zonas húmedas</p>	
Resina Epoxi	<p>Marca: Aero epoxi Resina PR2023 Endurecedor PH3660</p> $\rho = 1,16 \text{ g/cm}^3$	
Bomba de vacío	<p>Marca Viot 2,75 CFM ¼ HP</p>	



Cinta de vacío	Adhiere el plástico de enfundado a una superficie plana evitando fugas de aire	
Películas y telas plásticas para el proceso de estratificación al vacío.	Peel PLY: Tela desmoldante, facilita que la resina no se adhiera al ponerse en contacto con la misma.	
	Bagging Film: película plástica que ayuda al forrado en vacío.	
	Breather: tela que se utiliza para absorber la resina excedente	
Balanza electrónica	Facilita el pesado del tejido y de la resina	

Equipo de protección personal	Mandil Guantes Mascarilla Gafas	
-------------------------------	--	---

Fuente: Autor

## 2.3.Métodos

### 2.3.1. Nivel o tipo de investigación

El presente trabajo experimental se basa en los siguientes niveles de investigación

#### 2.3.1.1. Investigación exploratoria

Se utiliza el método exploratorio, esto, por la elaboración de un nuevo material compuesto conformado por la matriz polimérica de resina epoxi reforzada con fibra de Chambira analizando factores como la orientación de las capas y temperatura de curado, teniendo en cuenta se efectuarán diferentes factores de configuración para poder encontrar la combinación más óptima del material compuesto.

#### 2.3.1.2. Investigación descriptiva

Mediante este método se puede determinar las propiedades mecánicas como son: tracción, flexión e impacto del material compuesto en términos cuantitativos, además, permitirá determinar el comportamiento de las configuraciones de los factores propuestos con anterioridad.

#### 2.3.1.3. Investigación bibliográfica

Este tipo de investigación es primordial, puesto que permitirá una amplia recopilación de información en fuentes confiables como: tesis, artículos científicos, libros, paginas, etc., los cuales se encuentran familiarizados con materiales compuestos, caracterización

mecánica de los mismos, además dirigidos a los factores tomados en cuenta para esta investigación.

#### **2.3.1.4. Investigación experimental**

Este tipo de investigación analiza el efecto producido por la acción o manipulación de uno o más variables, sean estas dependientes o independientes como objeto del trabajo experimental. Además, permitirá dar una explicación sobre la aplicación del nuevo material en la industria.

#### **2.3.2. Población y muestra**

##### **2.3.2.1. Población**

El presente trabajo experimental tiene como población la elaboración de probetas a ensayar para determinar las propiedades mecánicas de las mismas. Las probetas están compuestas de matriz polimérica de resina Epoxi y como refuerzo la fibra de Astrocaryum Chambira, para lo cual según investigaciones anteriores donde se obtuvieron mejores resultados en cuanto a propiedades mecánicas se estima una fracción volumétrica del 70% de matriz y 30% de refuerzo. Cabe recalcar que el refuerzo que constituye la fibra natural está configurado en un tejido plano, las probetas están configuradas por dos capas a distinta orientación según especifica el MSR. La elaboración de las probetas será mediante estratificación al vacío en una superficie de 150x210, el espesor será fijado de acuerdo al 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 el cual 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  $-45^\circ$ , la orientación de la capa 2 a  $+45^\circ$  y la temperatura de curado en el horno de  $60^\circ\text{C}$  y  $120^\circ\text{C}$ ), respectivamente, como se presenta a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 2.2 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 2.3. 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 2.4. 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	
8	0	0	90	Tracción	3	9
				Flexión	3	
				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	
<b>Total</b>						135

Fuente: Autor

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 bajo metodología de superficie de respuesta del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira permitirá optimizar las propiedades mecánicas.

#### **2.3.4. Señalamientos de variables**

##### **2.3.4.1.Variable independiente**

La optimización bajo metodología de superficie de respuesta del material compuesto

##### **2.3.4.2.Variable dependiente**

Propiedades mecánicas

##### **2.3.4.3.Término de relación**

Permitirá



## 2.4.Operacionalización de variables

### 2.4.1. Variable independiente: Material compuesto

Tabla 2.5 Variable dependiente: material compuesto

Concepto	Categoría	Indicadores	ítem	Herramienta
El material compuesto reforzado con fibras naturales considerado como material alternativo para las aplicaciones industriales están combinados por una fase de matriz polimérica y una fase refuerzo	Material compuesto	Fracción volumétrica	$C.R = \frac{100}{127} * PF$ $C.E = \frac{27}{127} * PF$	Referencias bibliográficas Registro de datos Software estadístico: MSR
		Orientación de las capas de la fibra	Bajo: -45° Medio: 0° Alto: 45°	Conformado al vacío del composite Horno de curado
		Temperatura de curado	Bajo: 60°C Medio: 90°C Alto: 120°C	

Fuente: Autor

## 2.4.2. Variable dependiente: Propiedades mecánicas

Tabla 2.6 Variable independiente, propiedades mecánicas

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

Fuente: Autor

## **2.5. Adquisición de la materia prima**

La fibra natural de Chambira generalmente es proveniente de zonas húmedas específicamente en zonas tropicales siendo la provincia donde se obtiene Pastaza, a su vez, la fibra que se obtuvo fue en hilos grueso y, además, para obtener la fibra delgada el tejido se elaboró en el cantón de Salasaca en el centro artesanal del sr. Rubén.

La resina AEROPOXY PR2032 y el endurecedor se obtuvo de SIMA AUTOMOTRIZ, por parte del ING. Ludwin Daniel Núñez Barriga

Los implementos para la elaboración del material compuesto mediante estratificación al vacío se obtuvieron de JEVSOLUCIONES EN INGENIERÍA.

## **2.6. Determinación de las propiedades físicas de la fibra**

La densidad de la fibra es una de las propiedades físicas más relevantes en esta investigación misma que será de vital importancia, es por eso que se determinara mediante la aplicación del método gravitatorio para determinar dicha propiedad, el mismo que utiliza las propiedades de la masa y el volumen para general resultados necesarios para cálculos futuros. Teniendo en cuenta que la densidad es la relación de la masa sobre el volumen como se expresa a continuación.

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

Donde:

$$\rho = \text{densidad } \text{gr}/\text{cm}^3$$

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

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

Para este método se tomaron tres muestras del tejido tomando en cuenta que se va a medir el volumen inicial y el volumen final, como se muestra en la tabla

Según estudios anteriores la densidad de la Chambira oscila entre 0,87-1,247 gr/cm<sup>3</sup> determinado bajo proceso gravitatorio utilizando como líquido de inmersión alcohol isopropílico.

Para la determinación de la densidad de la fibra de Chambira se utilizó elementos como probeta graduada de 250 ml, un vaso de precipitación de 250 ml y una balanza con escala en gramos. Se utilizó un volumen constante de 190 ml, con masa variable tanto para el caso de la fibra sin tejer y la fibra tejida (ANEXO 1), con el propósito de observar la variación del volumen como se muestra en la tabla.

Tabla 2.7. Determinación de la densidad de la fibra sin tejer mediante método gravimetría

<b>Densidad de la Fibra de Chambira sin tejer</b>					
Muestras	Masa (g)	Volumen $cm^3$		Variación	Densidad $g/cm^3$
		Inicial	Final		
<b>1</b>	15,66	190	204	14	1,119
<b>2</b>	19,95	190	208	18	1,108
<b>3</b>	19,3	190	206,5	16,5	1,170
<b>4</b>	18,45	190	206	16	1,153
<b>Densidad Promedio (<math>g/cm^3</math>)</b>					1,132

Fuente: Autor

Tabla 2.8. Determinación de la densidad de la fibra tejida mediante método gravimetría

<b>Densidad de la Fibra de Chambira tejida</b>					
Muestras	Masa (g)	Volumen $cm^3$		Variación	Densidad $g/cm^3$
		Inicial	Final		
<b>1</b>	12,85	190	202	12	0,934
<b>2</b>	13,48	190	202	12	0,890
<b>3</b>	14,17	190	204	14	0,988
<b>Densidad Promedio (<math>g/cm^3</math>)</b>					0,937

Fuente: Autor

La densidad teórica que se obtuvo del método gravitatorio es de ( $1,132 \text{ gr}/cm^3$ ) esto con respecto a la fibra sin tejer, además, se vio la necesidad en observar la variación de la fibra tejida con algodón del mismo que se obtuvo una densidad de  $0,937 \text{ gr}/cm^3$ , el cual se tomó como promedio el valor de  $1,035 \text{ gr}/cm^3$  valor por el cual se va a trabajar para posteriores cálculos

### **Fracción volumétrica considerada para el material compuesto**

Para la estratificación del material compuesto con fibras se tomó como referencia trabajos de investigación anteriores cual especifica una configuración conformada para ciertos materiales compuestos elaborados el cual se especifica la fórmula Ec 2.2 y Ec. 2.3. En la investigación se va utilizar 2 capas del refuerzo entonces esto equivale al 15% por cada capa.

### **Cálculo volumétrico**

La norma ASTM tanto para tracción, flexión e impacto recomienda como mínimo 5 probetas a ensayar, entonces de acuerdo a las dimensiones de las probetas establecidas en las normas pertinentes el área de trabajo establecido tendrá las siguientes dimensiones, como muestra la figura 2.2, cabe recalcar que el número de probetas mostrada en la figura está establecido por las combinaciones resultado del MSR presentadas anteriormente en la tabla 2.3, así mismo el espesor para las probetas se tomó como referencia de la investigación del Ing. Juan Paredes, además, se determinó en base al espesor del tejido final de la fibra natural mismo que para ello se tomó un trozo de 19,3x 5,5 cm de fibra de vidrio en donde se igualó el peso de la fibra de carbono con la fibra de Chambira en la cual se tomó un haz de la fibra de la misma que se obtuvo 4 hilos mismos que fueron tejidos obteniendo un espesor de 1 mm, mismo que se consiguió un peso de 4,15 gramos.

a)



b)



Figura 2.2 a) pedazo de fibra de carbono b) pedazo de fibra de Chambira

Para establecer el volumen requerido que va a tener el material compuesto se determinó mediante una distribución de las 9 probetas que se va a obtener por cada combinación como muestra la figura 2.3 cabe mencionar que se adiciona 3 mm de separación para corte de las probetas.

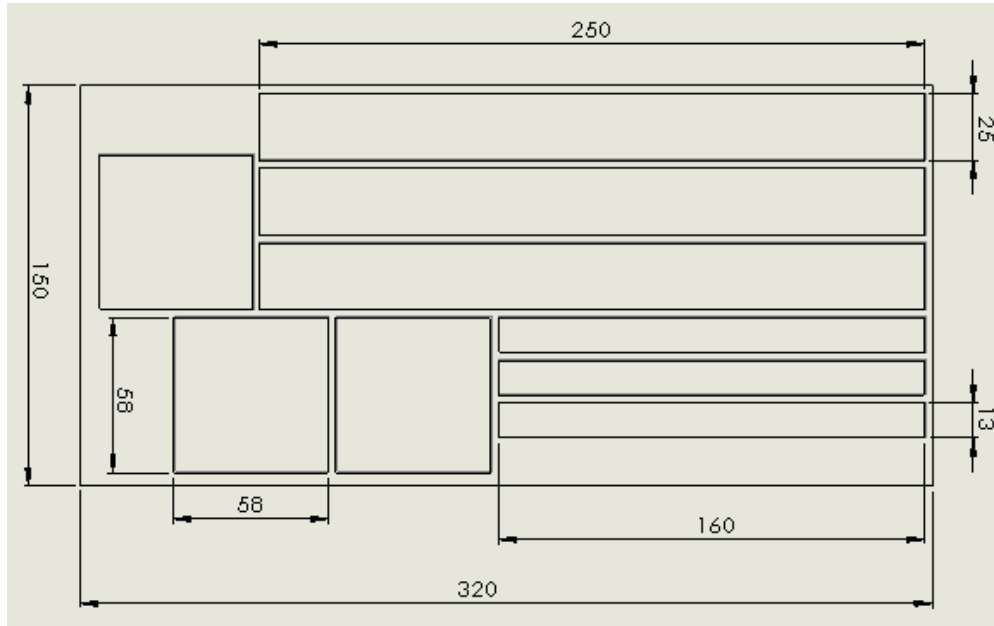


Figura 2.3. Distribución de probetas para tracción, flexión e impacto. (Autor)

- Largo: 320 mm
- Ancho: 150 mm
- Espesor: 3 mm

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

La medición del peso de cada configuración es primordial para el cálculo de la cantidad de resina que se va a utilizar y que es recomendación del fabricante. La cantidad de Resina y endurecedor la determinaremos mediante las siguientes fórmulas

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

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

Donde:

*C. R: Cantidad de Resina (g)*

*C. E: Cantidad de Endurecedor (g)*

*P. F: Peso de la Fibra (g)*

Establecidos la aplicación de las ecuaciones 2.2 y 2.3 se propone la siguiente información.

Tabla 2.9. Cantidades necesarias de Resina y Endurecedor

Combinación	Refuerzo	Orientación de las capas (°)		Temperatura de Curado (°C)	Peso de la fibra (g)	Cantidad de Resina (g)	Cantidad de Endurecedor (g)
		Capa 1	Capa 2				
1	FCH	0	-45	60	67,53	53,17	14,36
2	FCH	-45	0	60	66,64	52,47	14,17
3	FCH	45	0	60	67,59	53,22	14,37
4	FCH	0	45	60	67,47	53,12	14,34
5	FCH	-45	-45	90	65,58	51,64	13,94
6	FCH	45	-45	90	68,08	53,60	14,47
7	FCH	0	0	90	67,59	53,22	14,37
8	FCH	0	0	90	66,58	52,42	14,15
9	FCH	0	0	90	65,58	51,64	13,94
10	FCH	-45	45	90	66,37	52,26	14,11
11	FCH	45	45	90	67,03	52,78	14,25
12	FCH	0	-45	120	65,81	51,82	13,99
13	FCH	-45	0	120	68,08	53,60	14,47
14	FCH	45	0	120	67,37	53,05	14,32
15	FCH	0	45	120	66,88	52,66	14,22

Fuente. Autor

Donde:

FCH: Fibra de chambira

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

Tabla 2.10 Densidad de la resina y fibra

Densidad	g/cm <sup>3</sup>
Resina Epoxi (AEROPOXY)	1,16
Chambira	1,035

**Fuente:** Autor

Para determinar la densidad calculada del material compuesto, procedemos a calcular por medio de la ecuación 2.3, respectivamente.

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

Donde:

$\rho_c$ : Densidad calculada del material compuesto ( $\frac{g}{cm^3}$ )

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

$\rho_f$ : Densidad de la fibra ( $\frac{g}{cm^3}$ )

$f_R$ : Fracción volumétrica de la resina (%)

$\rho_R$ : Densidad de la resina ( $\frac{g}{cm^3}$ )

Al tener la ecuación 2.4 y poder calcular la densidad del compuesto, debemos encontrar la fracción volumétrica de la fibra y de la resina como se detalla a continuación:

Encontramos el peso del material compuesto:

$$P_C = P_f + P_R \quad \text{Ecu 2.5}$$

Donde:

$P_C$ : Peso calculado del material compuesto (gr)



$P_f$ : Peso de la fibra natural (gr)

$P_R$ : Peso de la resina (gr).

**Nota:** El valor del peso de la fibra y el peso de la resina se calculó con las fórmulas de las ecuaciones 2.2 y 2.3 respectivamente.

Luego de tener el peso del material compuesto, procedemos a encontrar la fracción volumétrica de la fibra y resina, lo cual se hace por medio de una regla de 3:

$$f_f = \frac{P_f * 100\%}{P_C} \quad Ecu. 2.6$$

$$f_r = \frac{P_R * 100\%}{P_C} \quad Ecu. 2.7$$

**Nota:** Los valores para el peso de la fibra ( $P_f$ ) y el peso de la resina ( $P_R$ ), están establecidas en la tabla 2.9 calculadas anteriormente.

Al encontrar los valores para aplicar la ecuación 2.4, se establece los valores de la densidad calculada para las 15 combinaciones, esta información se detalla en la tabla 2.12

Tabla2.12. Densidad calculada







Combinación	Refuerzo	Orientación de las capas (°)		Temperatura de Curado (°C)	Peso de la fibra (g)	Cantidad de Resina (g)	Cantidad de Endurecedor (g)	Densidad calculada
		Capa 1	Capa 2					
1	FCH	0	-45	60	67,53	53,17	14,36	1,09
2	FCH	-45	0	60	66,64	52,47	14,17	1,09
3	FCH	45	0	60	67,59	53,22	14,37	1,09
4	FCH	0	45	60	67,47	53,12	14,34	1,09
5	FCH	-45	-45	90	65,58	51,64	13,94	1,09
6	FCH	45	-45	90	68,08	53,60	14,47	1,09
7	FCH	0	0	90	67,59	53,22	14,37	1,09
8	FCH	0	0	90	66,58	52,42	14,15	1,09
9	FCH	0	0	90	65,58	51,64	13,94	1,09
10	FCH	-45	45	90	66,37	52,26	14,11	1,09

11	FCH	45	45	90	67,03	52,78	14,25	1,09
12	FCH	0	-45	120	65,81	51,82	13,99	1,09
13	FCH	-45	0	120	68,08	53,60	14,47	1,09
14	FCH	45	0	120	67,37	53,05	14,32	1,09
15	FCH	0	45	120	66,88	52,66	14,22	1,09

Fuente: Autor

### 2.6.3. Preparación de la fibra y tejido

Tabla 2.13. Tejido de referencia


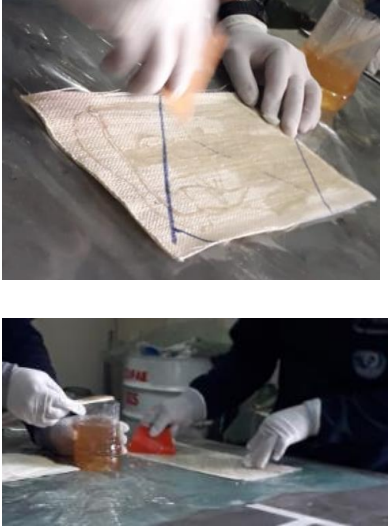
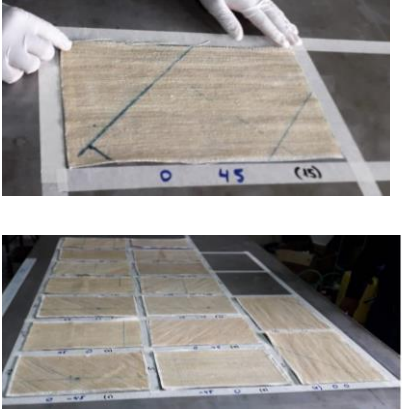
Cantidad de fibra a utilizar	Haz de fibra	Desfibrado en 4 hilos
		
Tejido preliminar con 4 hilos y 1 pasada	Tejido preliminar con 4 hilos y 1 pasada	Tejido de referencia de 5,5x19,5 cm
		



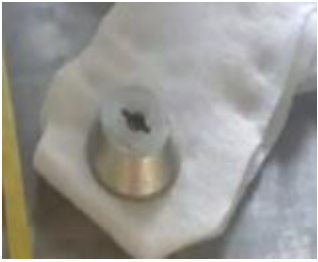

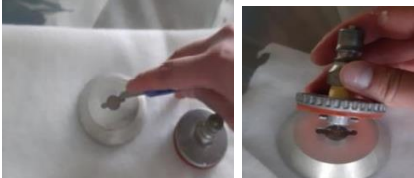
Fuente: Autor



### 2.6.4. Elaboración de probetas

Tabla 2.14. Proceso de elaboración de probetas al vacío.

Ítem	Actividades	Descripción	Ilustración
1	Trazo y corte de dimensiones en la fibra	Se requiere trazar planchas de 330x170 mm incluido el acondicionamiento en los bordes para evitar inconvenientes en el corte	
2	Trazo de dimensiones en la mesa de trabajo	Se traza en la mesa las dimensiones expuestas anteriormente con masqué.	
3	Preparación de la superficie a utilizar en la mesa de trabajo	Para remover desperdicios anteriores y evitar cualesquiera impurezas que afecten a la geometría de las planchas se limpia la superficie con cera desmoldante en la mesa de trabajo	

4	Preparación de resina	Se prepara la resina el catalizador con masa establecido en la fórmula para cada plancha definida.	
5	Impregnación de resina en la fibra	Con una brocha vamos colocando resina en la plancha de fibra para que esta se “remoje” antes de iniciar con el proceso al vacío.	
6	Colocación de la fibra en la distribución predefinida en la mesa de trabajo	Colocamos todas las planchas de fibra de acuerdo a la combinación establecida en la tabla 2.9.	


7	Colocación de cinta de vacío	Colocar la cinta de vacío a 10 cm de las fibras humectadas	
8	Colocación del Peel PLY y Breather	Colocamos los respiradores para evitar que exista aire en las probetas.	
9	Elaboración de un respiradero	Ubicar un respirador denominado "Breather" para la succión de aire y sobre este orientar el acople hembra de bomba de vacío	
10	Enfundado de vacío	Adherir el Bagging film procurando establecer un sellado completo con la cinta de vacío.	
11	Corte para Salida de aire	Cortamos el Bagging film para salida de aire, donde se va acoplar el ducto hembra de la bomba de vacío	

12	Acondicionamiento de bomba de vacío	Una vez conectados los acoples macha y hembra encender la bomba de vacío dejando que actúe y saque todo el aire donde están la fibra y resina.	
13	Extracción de planchas	Cuidadosamente desenfundar el Peel PLY y Breather 24 horas después de haber culminado el proceso.	

Fuente: Autor

### 2.6.5. Acondicionamiento de planchas

Tabla 2.15. 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



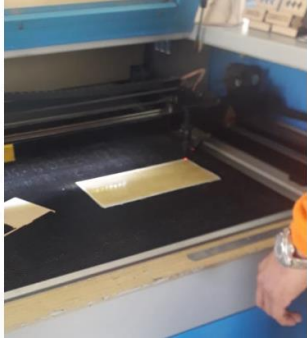
Fuente: Autor

### 2.6.6. Curado y corte de las probetas

Tabla 2.16. Curado y corte de las probetas

ítem	Actividad	Descripción	Ilustración
1	Sujeción de las probetas	Colocar las planchas del material compuesto con pesos para evitar pandeos debido a la actuación de calor	
2	Pre curado de planchas	Pre-curar las planchas durante 2 horas a una temperatura de 60 ° C y dejar enfriar a temperatura ambiente con el horno apagado por 24 horas.	
3	Curado a 60, 90 y 120 °C	Curar las probetas a las temperaturas establecidas en el estudio.	



4	Corte de las probetas	Se corta las probetas a laser CO2 con una potencia de 80 watts.	
---	-----------------------	---	---

Fuente: Autor

## 2.7. Ensayo de materiales

La caracterización de los materiales se basa en la evaluación de las propiedades mecánicas de los materiales, esto se determina mediante ensayos destructivos para obtener dichas propiedades.

### 2.7.1. Tracción

Se encamina a la determinación diferentes propiedades mecánicas en los materiales cuyo objetivo es generar esfuerzo máximo a la tracción, módulo de elasticidad, y porcentaje de elongación el cual consiste en aplicar una fuerza axial de forma progresiva en el eje central de la probeta a ensayar hasta provocar su ruptura.



Figura 2.4. Máquina Universal para ensayo a tracción.

Fuente: Autor

## **Propiedades obtenidas en el ensayo a tracción.**

Mediante este ensayo podemos obtener información de la resistencia, rigidez y ductilidad del material. Es importante considerar que para el cálculo de las propiedades mecánicas se efectuarán las siguientes fórmulas.

### **a). Resistencia a la tracción**

#### **Esfuerzo máximo**

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

Donde:

$\sigma$ : Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)

$A$ : área de la sección transversal ( $m^2$ )

$P$ : Fuerza aplicada (N)

#### **Deformación por tracción**

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

Donde:

$\varepsilon_i$ : Deformación máximo (u)

$\delta_i$ : desplazamiento del cabezal móvil (mm)

$L_g$ : longitud calibrada (mm)

### **b). Propiedades elásticas**

#### **Módulo de Elasticidad o módulo de Young**

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

Donde:

*E*: Módulo de elasticidad o módulo de young

$\sigma$ : Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)

$\varepsilon$ : 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

El propósito de este ensayo es determinar la rigidez a la flexión y las propiedades de resistencia como especifica la norma ASTM D 7264, teniendo en cuenta que las propiedades pueden variar de acuerdo a la superficie de la probeta, además del espesor, condiciones ambientales, así como también la velocidad de la aplicación de la fuerza.



Figura 2.5. Máquina de ensayo a flexión

Fuente: Autor

Las propiedades a determinar mediante este ensayo son: el esfuerzo máximo de deflexión, módulo de elasticidad y deflexión máxima. Las fórmulas a considerar son:

### Propiedades obtenidas

#### a). Resistencia a la flexión o módulo de ruptura

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

Donde:

$\sigma$ : 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

El propósito fundamental de la norma ASTM D 5628 es determinar la energía media de fallo. Mediante la utilización de una máquina estándar por medio de caída de dardos, la prueba evalúa una altura a la cual falle el material sometido a la probeta a la caída de una masa con diferentes alturas, aumentando la altura si el material no falla, sin embargo, se disminuye la altura si el material falla.



Figura 2.6. 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 conversión a Joules*

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Interpretación y tabulación de los resultados

Los datos recolectados en los ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto de las diferentes combinaciones que obedecen al diseño de box-Behnken, se efectuaron mediante gráficas recopilados en fichas técnicas mostradas a continuación.

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

Tabla 3.1 Ficha técnica del material compuesto, caso 1 a tracción

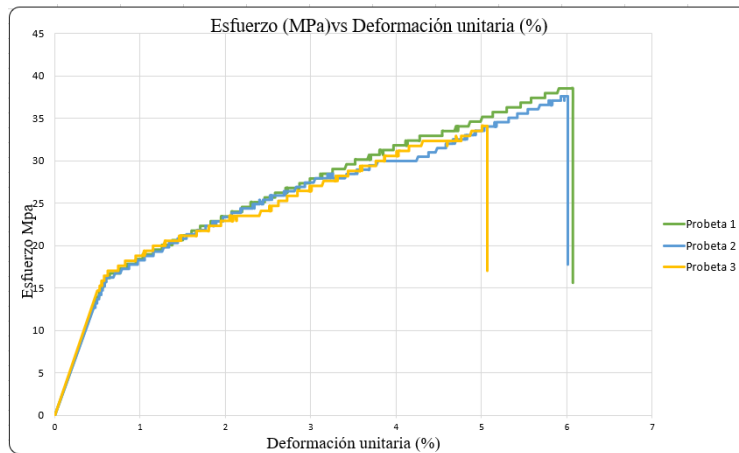
	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C1/0.-45/60-T		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°, -45°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,44
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					

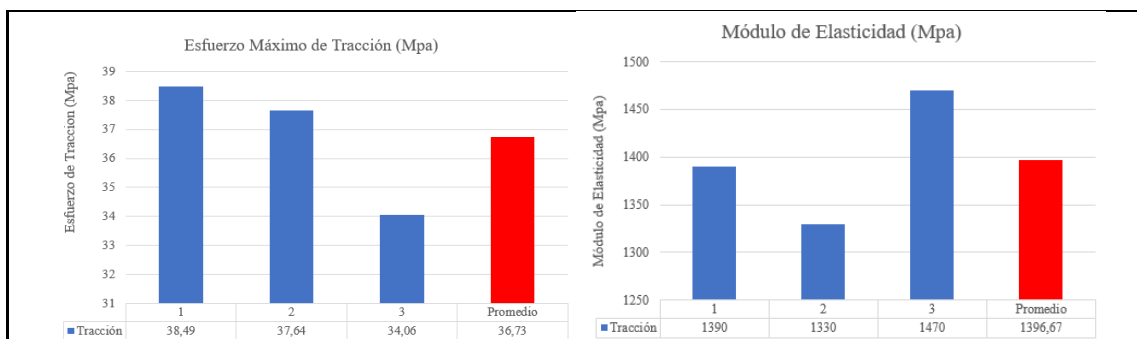
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	1380	19,52	38,49	1390	6,07	AGM1
2	1480	19,33	37,64	1330	6,01	AGM1
3	1160	18,2	34,06	1470	5,07	LGM
<b>Promedio</b>	1340	19,02	36,73	1396,67	5,72	

**PROBETAS ENSAYADAS**



**GRÁFICAS**





### OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia.
- La probeta 1 y 2 presenta un tipo de Falla del tipo AGM1, que se refiere a que la ruptura es angular, mientras que la probeta 3 presenta un tipo de falla LGM la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	36,73	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	5,717	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1396,67	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	1340	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

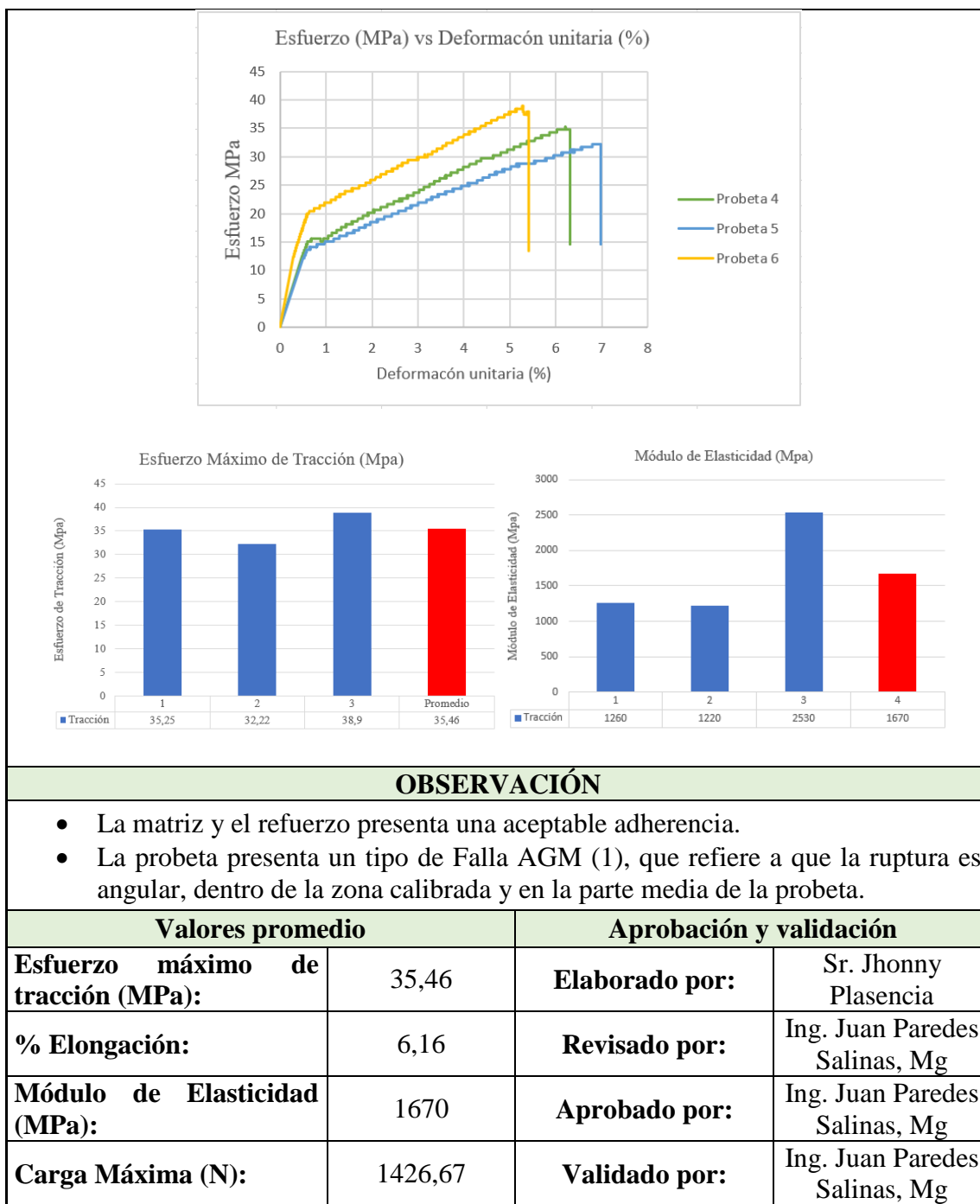
Fuente: Autor

Tabla 3.2 Ficha técnica del material compuesto, caso 2 a tracción

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C2/-45.0/60-T		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		



<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>						
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3	
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16	
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	al vacío	
<b>Orientación de fibra:</b>	/-45°,0°/	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,44	
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno	
<b>RESULTADOS</b>						
<b>N° de probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Fluencia (Mpa)</b>	<b>Esfuerzo Máximo a la tracción (Mpa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>% Elongación</b>	<b>Tipo de fallo evaluado</b>
1	1400	18,13	35,25	1260	6,21	AGM 1
2	1320	16,6	32,22	1220	6,99	AGM 1
3	1560	20,95	38,9	2530	5,29	AGM1
<b>Promedio</b>	1426,67	18,56	35,46	1670	6,16	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>						
						
<b>GRÁFICAS</b>						



**OBSERVACIÓN**

- La matriz y el refuerzo presenta una aceptable adherencia.
- La probeta presenta un tipo de Falla AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	35,46	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	6,16	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1670	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	1426,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

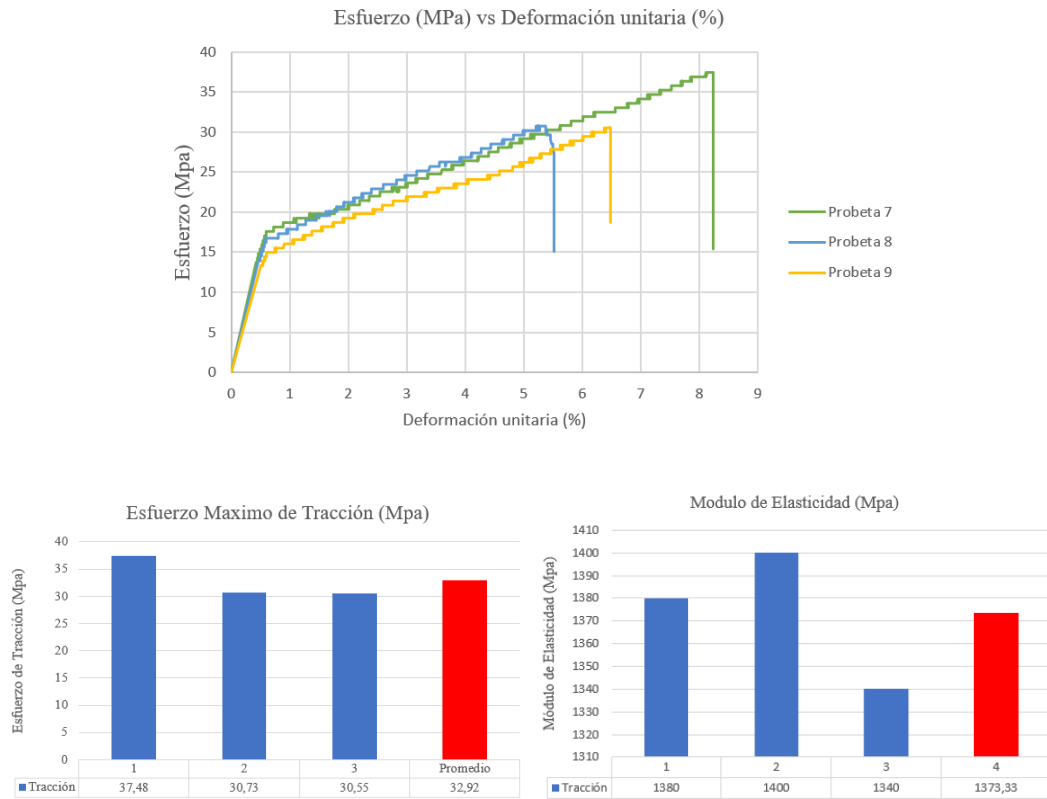
Fuente: Autor

Tabla 3.3 Ficha técnica del material compuesto, caso 3 a tracción

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>							
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C3/45.0/60-T				
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3		
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación:</b>	al vacío		
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,0°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,44		
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado</b>	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	1360	19,29	37,48	1380	8,23	AGM 1	
2	1100	17,32	30,73	1400	5,37	GAT	
3	1140	15,55	30,55	1340	6,48	LGM	
<b>Promedio</b>	1200	17,39	32,92	1373,33	6,69		
PROBETAS ENSAYADAS							



## GRÁFICAS



## OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presenta una aceptable adherencia.
- La probeta 1 presenta un tipo de Falla AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta, la probeta 2 GAT la ruptura se manifiesta fuera de la zona calibrada y la Probeta 3 LGM la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta.



**Valores promedio**

**Aprobación y validación**

<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	32,92	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	6,69	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1373,33	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	1200	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

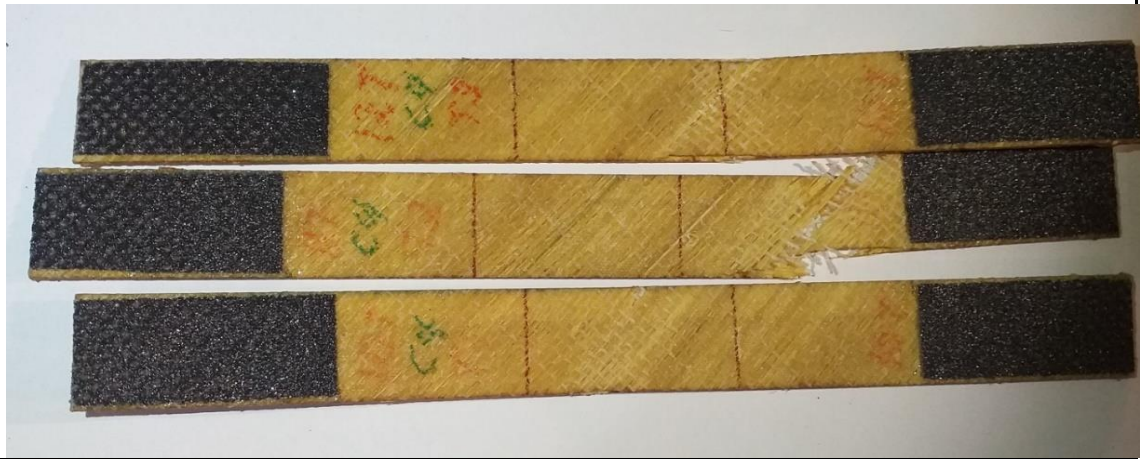
Fuente: Autor

Tabla 3.4 Ficha técnica del material compuesto, caso 4 a tracción

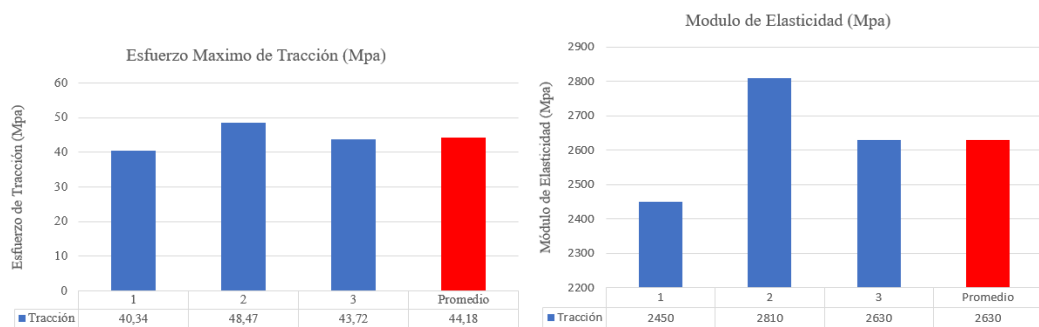
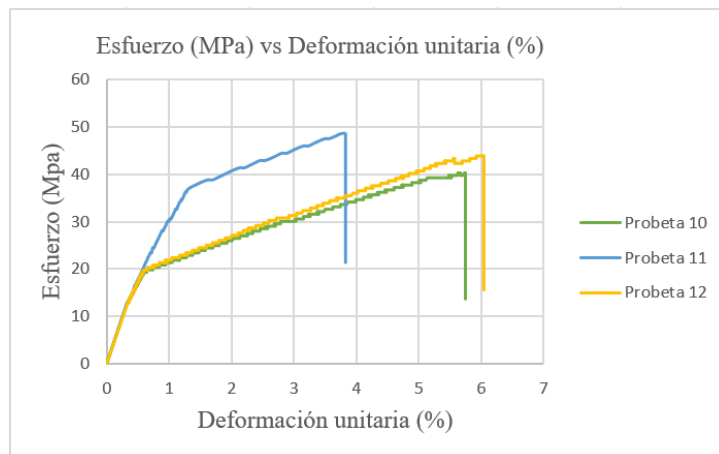
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>							
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C4/0.45/60-T				
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3		
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación:</b>	al vacío		
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,45°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,44		
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno		
<b>RESULTADOS</b>							
<b>N° de probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Fluencia</b>	<b>Esfuerzo Máximo a la tracción (Mpa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad</b>	<b>% Elongación</b>	<b>Tipo de fallo evaluado</b>	

			ia (Mpa)		dad (Mpa)		
1		1580	20,42	40,34	2450	5,74	AGM 1
2		1900	37,75	48,47	2810	3,82	AGM 1
3		1680	22,38	43,72	2630	6,05	AGM 1
<b>Promedio</b>		1720	26,85	44,18	2630	5,20	

### PROBETAS ENSAYADAS



### GRÁFICAS





<b>OBSERVACIÓN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La matriz y el refuerzo presenta una aceptable adherencia.</li> <li>• La probeta 1 presenta un tipo de Falla AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta.</li> </ul>			
<b>Valores promedio</b>		<b>Aprobación y validación</b>	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	44,18	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	5,20	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	2630	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	1720	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.5 Ficha técnica del material compuesto, caso 5 a tracción

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C5/-45.-45/90-T		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°, -45°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6

<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
-------------------------------	-------	-----------------------------	---------	--------------------------	-------------

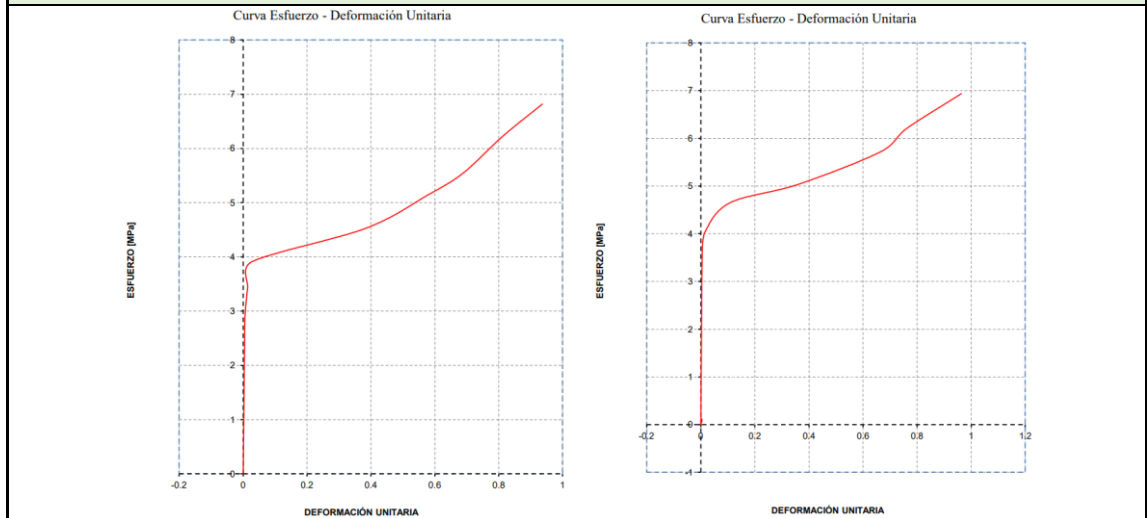
### RESULTADOS

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	310	3,75	6,82	70,32	93,72	AGM 1
2	300	3,9	6,94	3127	96,36	AGM 1
3	330	5,5	9,73	206,7	99,3	AGM 1
<b>Promedio</b>	313,33	4,38	7,83	1134,67	96,46	

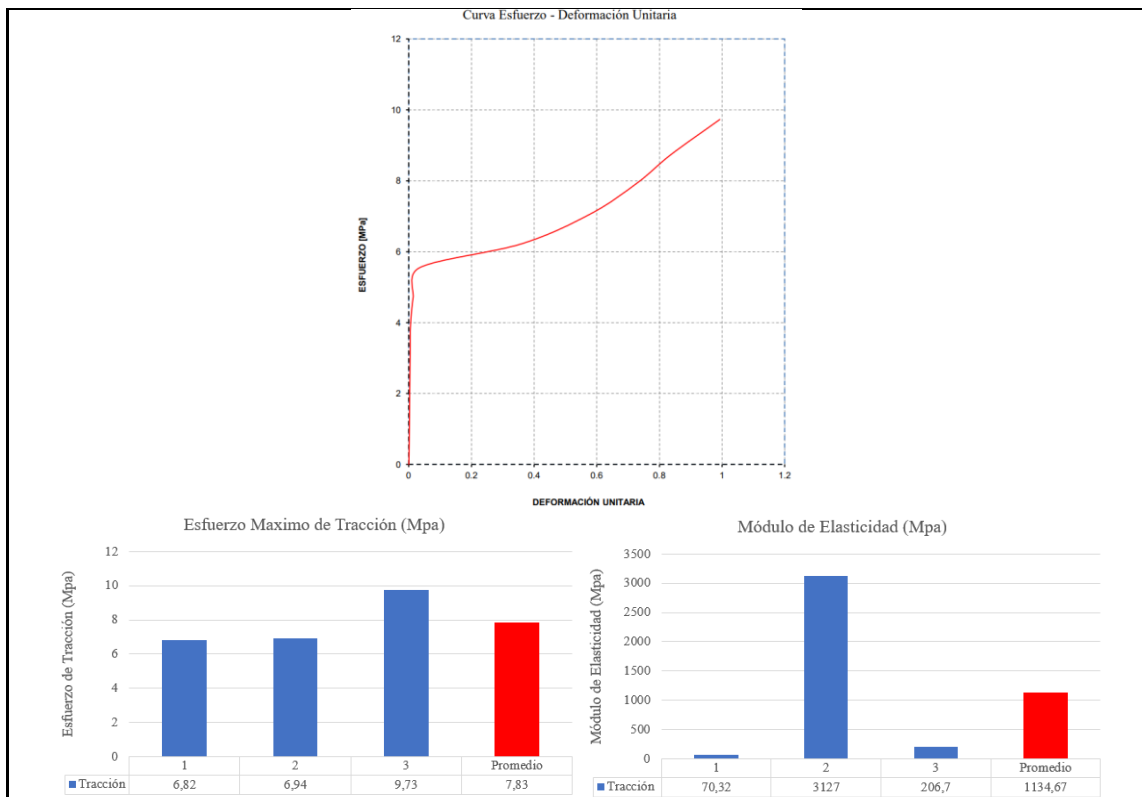
### PROBETAS ENSAYADAS



### GRÁFICAS







### OBSERVACIÓN

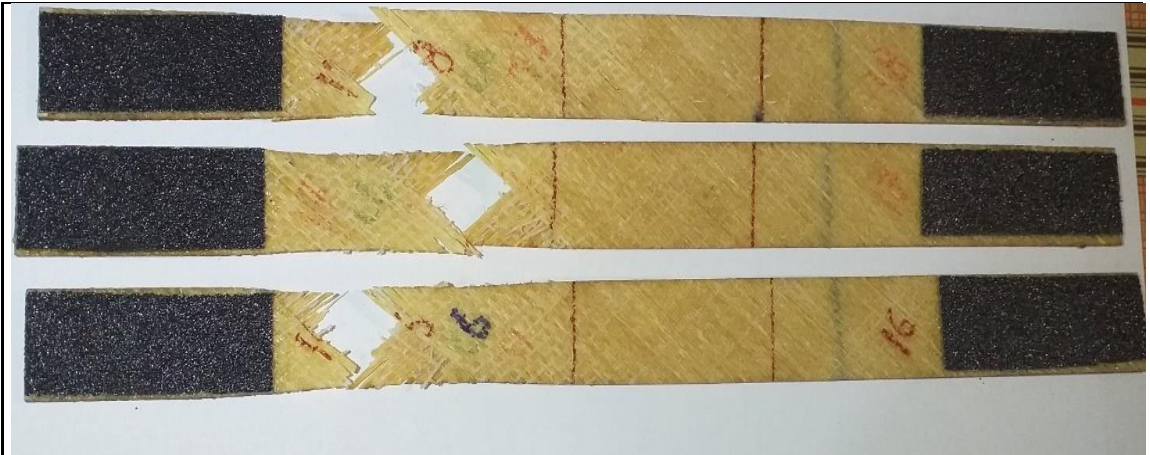
- La matriz y el refuerzo presenta una aceptable adherencia.
- La probeta 1 presenta un tipo de Falla AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	7,83	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	96,46	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1134,67	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	313,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

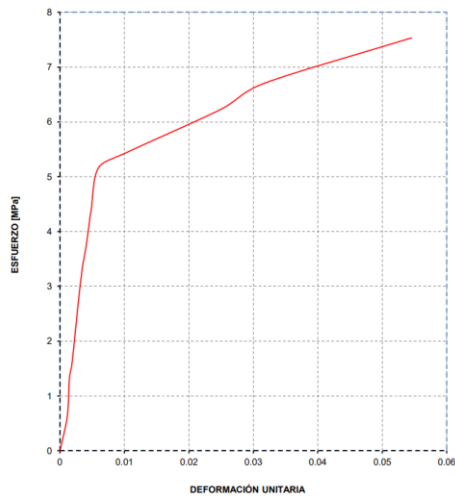
Tabla 3.6 Ficha técnica del material compuesto, caso 6 a tracción

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>						
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C6/45.-45/90-T			
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>						
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3	
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16	
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	al vacío	
<b>Orientación de fibra:</b>	45,-45°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,73	
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado</b>	2h en horno	
<b>RESULTADOS</b>						
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	310	5,3	7,53	872,2	5,46	GAT
2	310	4,4	7,1	983,9	39,3	AGM 1
3	370	4,9	8,07	958,8	11,44	GAT
<b>Promedio</b>	330	4,87	7,57	938,30	18,73	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>						

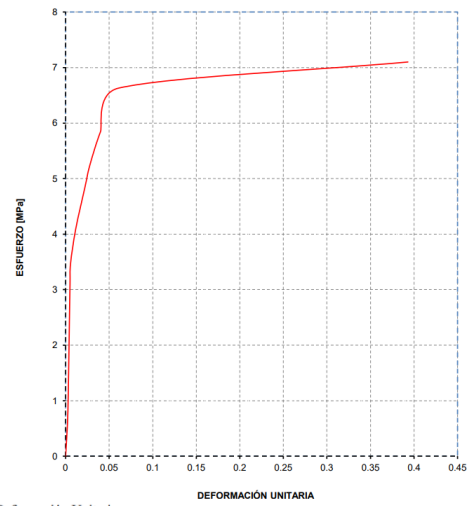


## GRÁFICAS

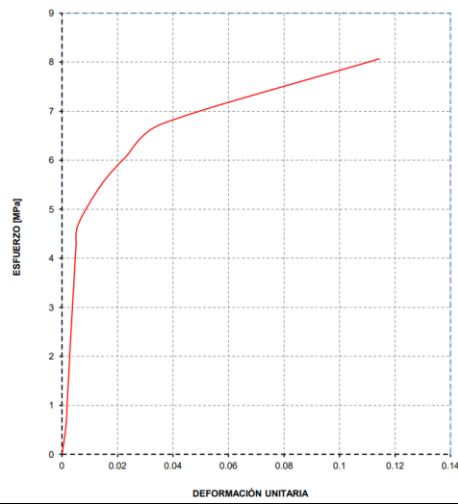
Curva Esfuerzo - Deformación Unitaria

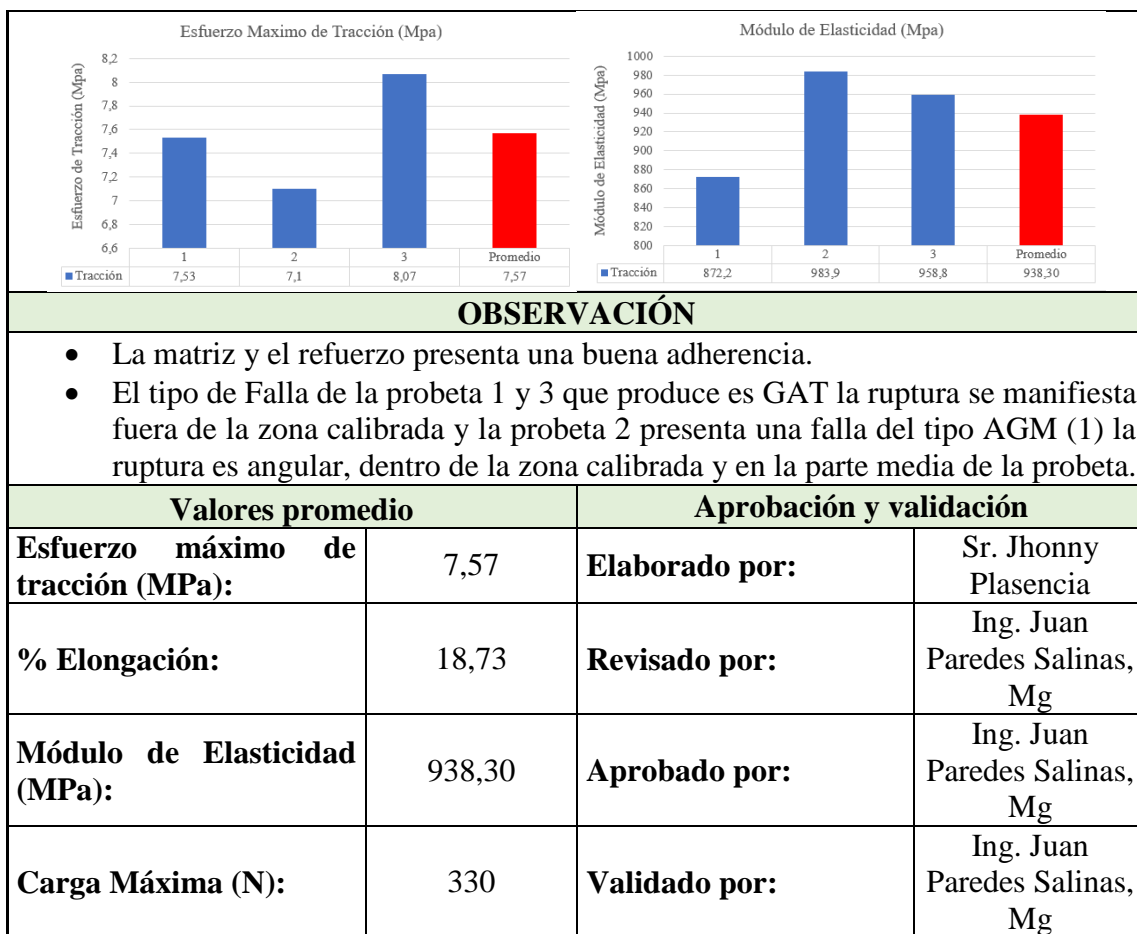


Curva Esfuerzo - Deformación Unitaria



Curva Esfuerzo - Deformación Unitaria





Fuente: Autor

Tabla 3.7 Ficha técnica del material compuesto, caso 7 a tracción

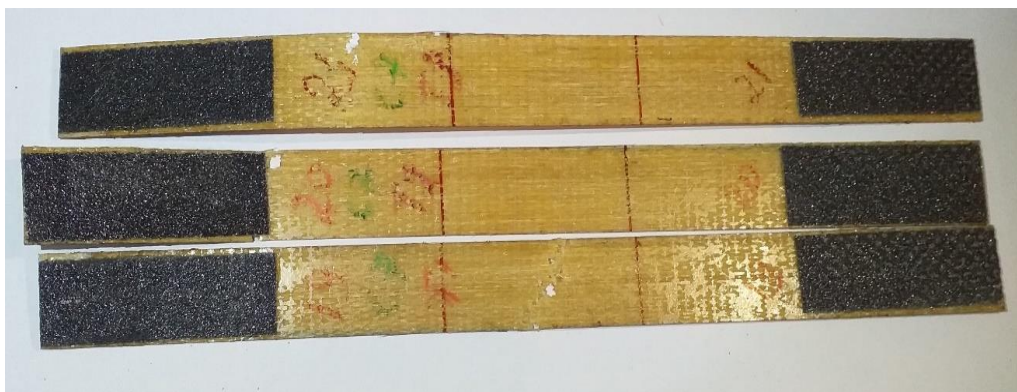
 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>			
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C7/0.0/90-T
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			

<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno

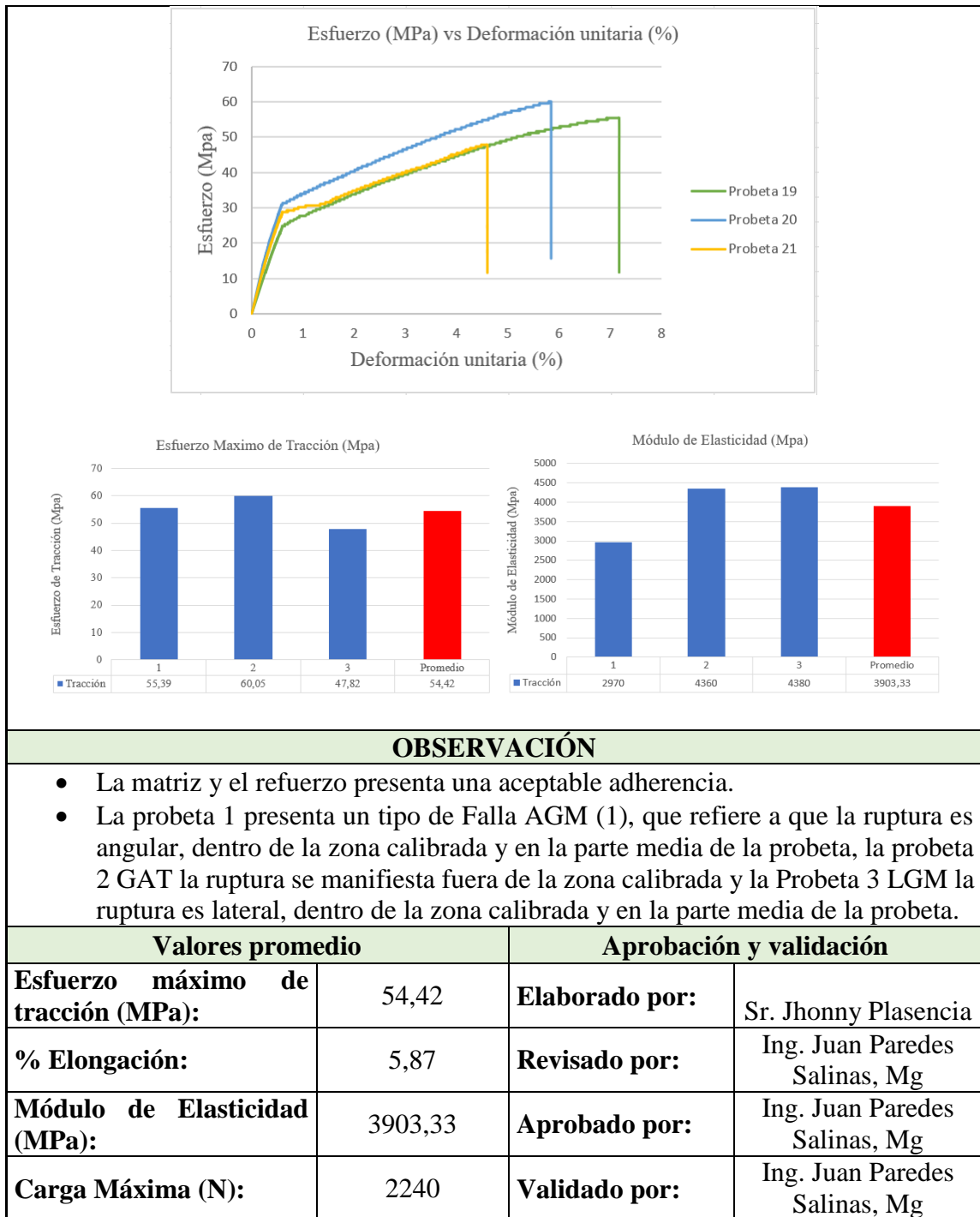
### RESULTADOS

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	2360	28,17	55,39	2970	7,17	AGM 1
2	2300	32,37	60,05	4360	5,85	GAT
3	2060	29,25	47,82	4380	4,6	LGM
<b>Promedio</b>	2240	29,93	54,42	3903,33	5,87	

### PROBETAS ENSAYADAS



### GRÁFICAS



### OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presenta una aceptable adherencia.
- La probeta 1 presenta un tipo de Falla AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta, la probeta 2 GAT la ruptura se manifiesta fuera de la zona calibrada y la Probeta 3 LGM la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta.

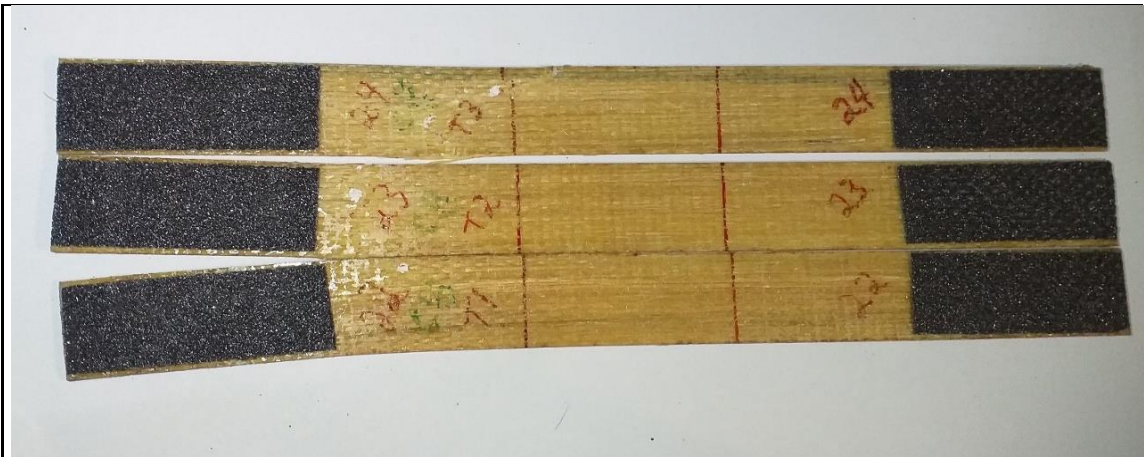
Valores promedio		Aprobación y validación	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	54,42	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	5,87	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	3903,33	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	2240	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

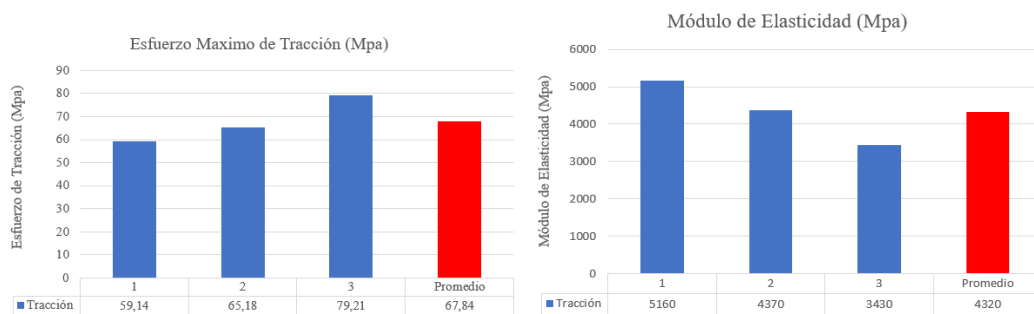
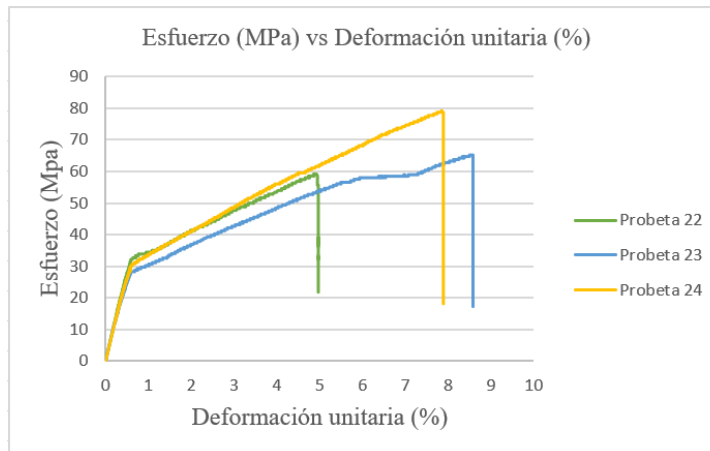
Tabla 3.8 Ficha técnica del material compuesto, caso 8 a tracción

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 						
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>						
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C8/0.0/90-T			
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>						
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3	
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16	
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	al vacío	
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5	
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado</b>	2h en horno	
<b>RESULTADOS</b>						
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	2060	33,88	59,14	5160	4,97	LAR
2	2720	33,07	65,18	4370	8,58	LAT
3	3140	39,86	79,21	3430	7,89	LAT
<b>Promedio</b>	2640	35,60	67,84	4320	7,15	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>						





## GRÁFICAS



## OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presenta buena adherencia.
- El tipo de Falla que produce la probeta 1 es LAR, que se refiere que la ruptura es lateral, fuera de la zona calibrada y en la parte derecha de la probeta, la probeta 2 produce un fallo LAT, que se refiere que la ruptura es lateral, cerca al agarra y en la parte superior de la probeta.



Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	67,84	Elaborado por:	Sr. Jhonny Plasencia
% Elongación:	7,15	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	4320	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	2640	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.9 Ficha técnica del material compuesto, caso 9 a tracción

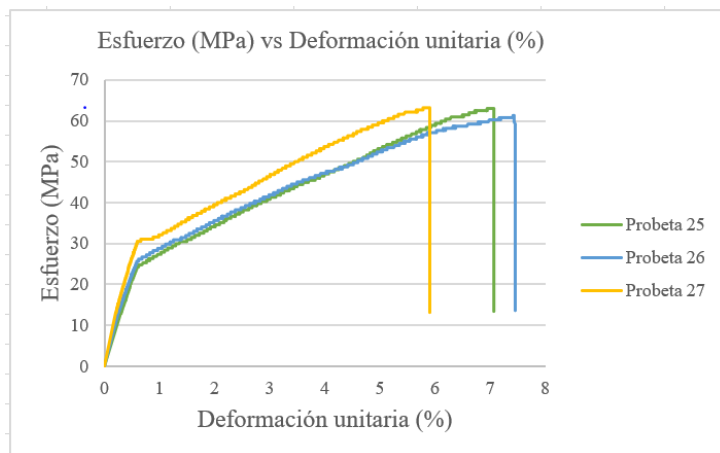
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C9/0.0/90-T		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					

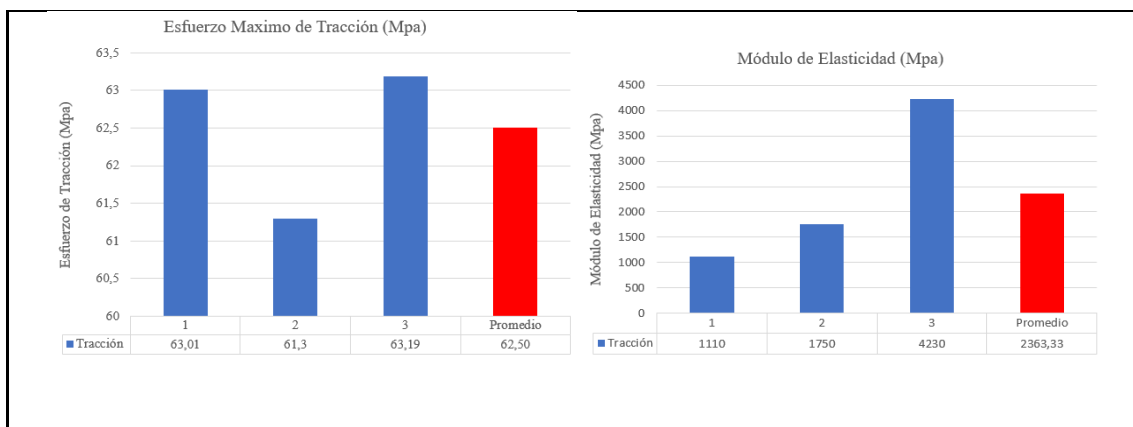
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (Mpa)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	2440	32,02	63,01	1110	7,07	AVV
2	2340	30,91	61,3	1750	7,43	AVV
3	2400	32,12	63,19	4230	5,9	LIT
<b>Promedio</b>	2393,33	31,68	62,50	2363,33	6,80	

**PROBETAS ENSAYADAS**



**GRÁFICAS**





### OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presenta.
- El tipo de Falla que produce la probeta 1 y 2 es AVV la falla esta en varias zonas y la probeta 2 es LIT, que se refiere que la ruptura es lateral, dentro del agarre.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	62,50	Elaborado por:	Sr. Jhonny Plasencia
% Elongación:	6,80	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	2363,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	2393,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.10 Ficha técnica del material compuesto, caso 10 a tracción

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>			
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C10/-45.45/90-T
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>			

<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°,45	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno

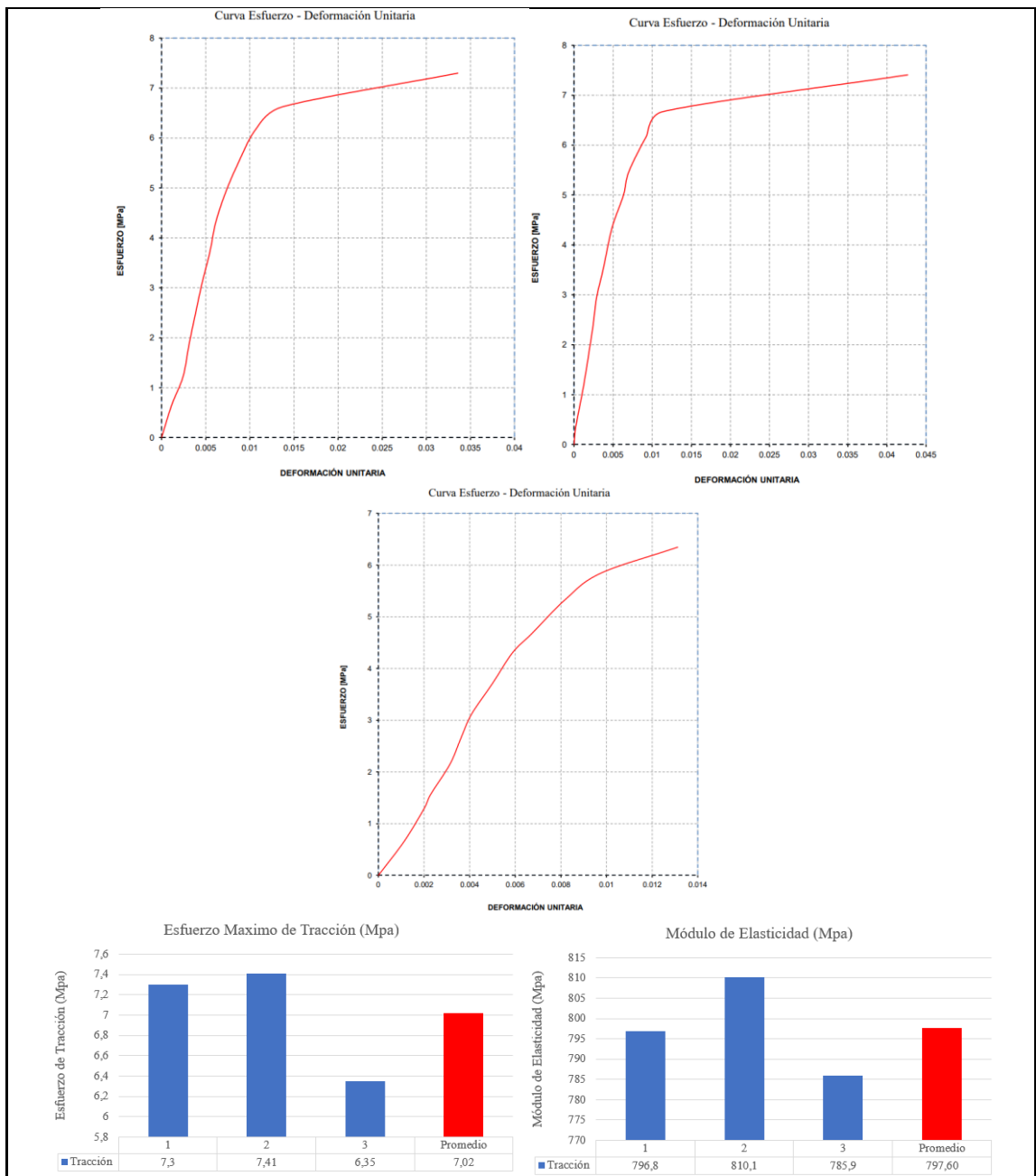
### RESULTADOS

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	300	6,5	7,3	796,8	3,36	AGM 1
2	300	6,6	7,41	810,1	4,27	AWT
3	270	6,1	6,35	785,9	1,31	AWT
<b>Promedio</b>	290	6,4	7,02	797,60	2,98	

### PROBETAS ENSAYADAS



### GRÁFICAS



### OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presenta buena adherencia.
- El tipo de Falla que produce la probeta es AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta, la probeta 2 y 3 es AWT se refiere a que la ruptura es diagonal desde el agarre.

Valores promedio		Aprobación y validación	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	7,02	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	2,98	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	797,60	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	290	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

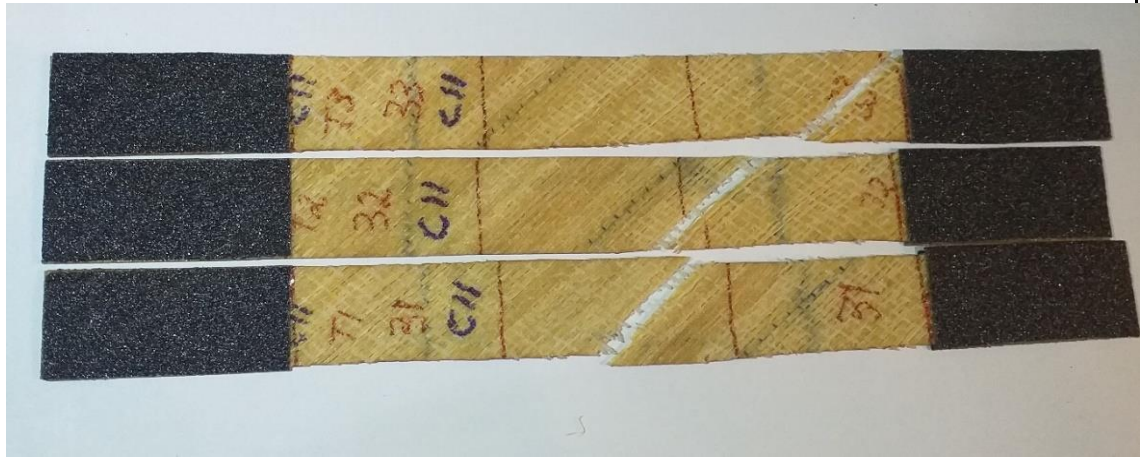
Tabla 3.11 Ficha técnica del material compuesto, caso 11 a tracción

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>							
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C11/45.45/90-T				
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3		
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	al vacío		
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,45°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6		
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno		
<b>RESULTADOS</b>							
<b>N° de probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Fluencia (Mpa)</b>	<b>Esfuerzo Máximo a la tracción (Mpa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>% Elongación</b>	<b>Tipo de fallo evaluado</b>	
1	340	6,3	8,44	652,7	61,64	AGM 1	
2	280	5,6	6,78	558,5	17,16	AGM 1	
3	290	6,05	7,68	371,3	51,02	AGB	

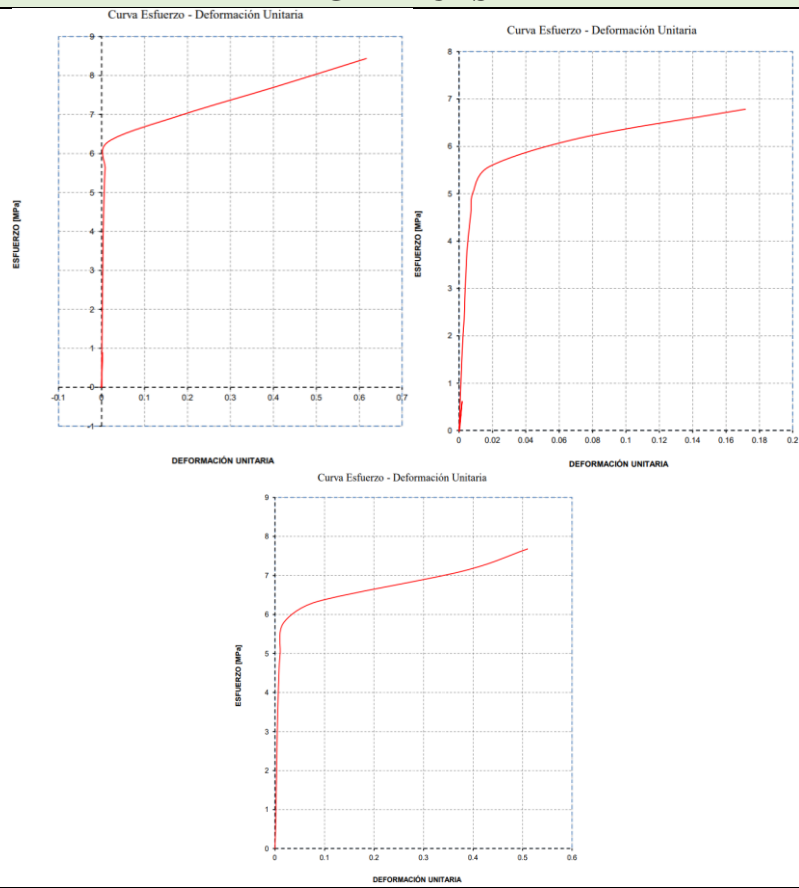


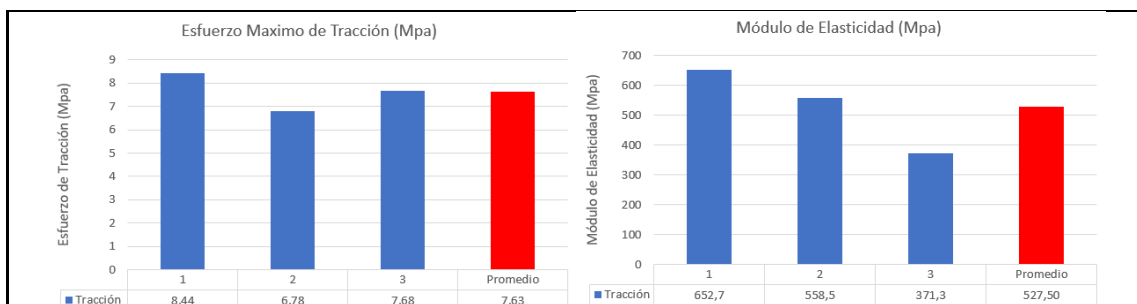
<b>Promedio</b>	303,33	5,98	7,63	527,50	43,27
-----------------	--------	------	------	--------	-------

**PROBETAS ENSAYADAS**



**GRÁFICAS**





### OBSERVACIÓN

La matriz y el refuerzo presenta. La probeta 1 y 2 presenta un tipo de Falla AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta y la probeta 3 es AGB la ruptura es angular dentro de la zona calibrada.


Valores promedio		Aprobación y validación	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	7,63	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	43,27	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	527,50	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	303,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

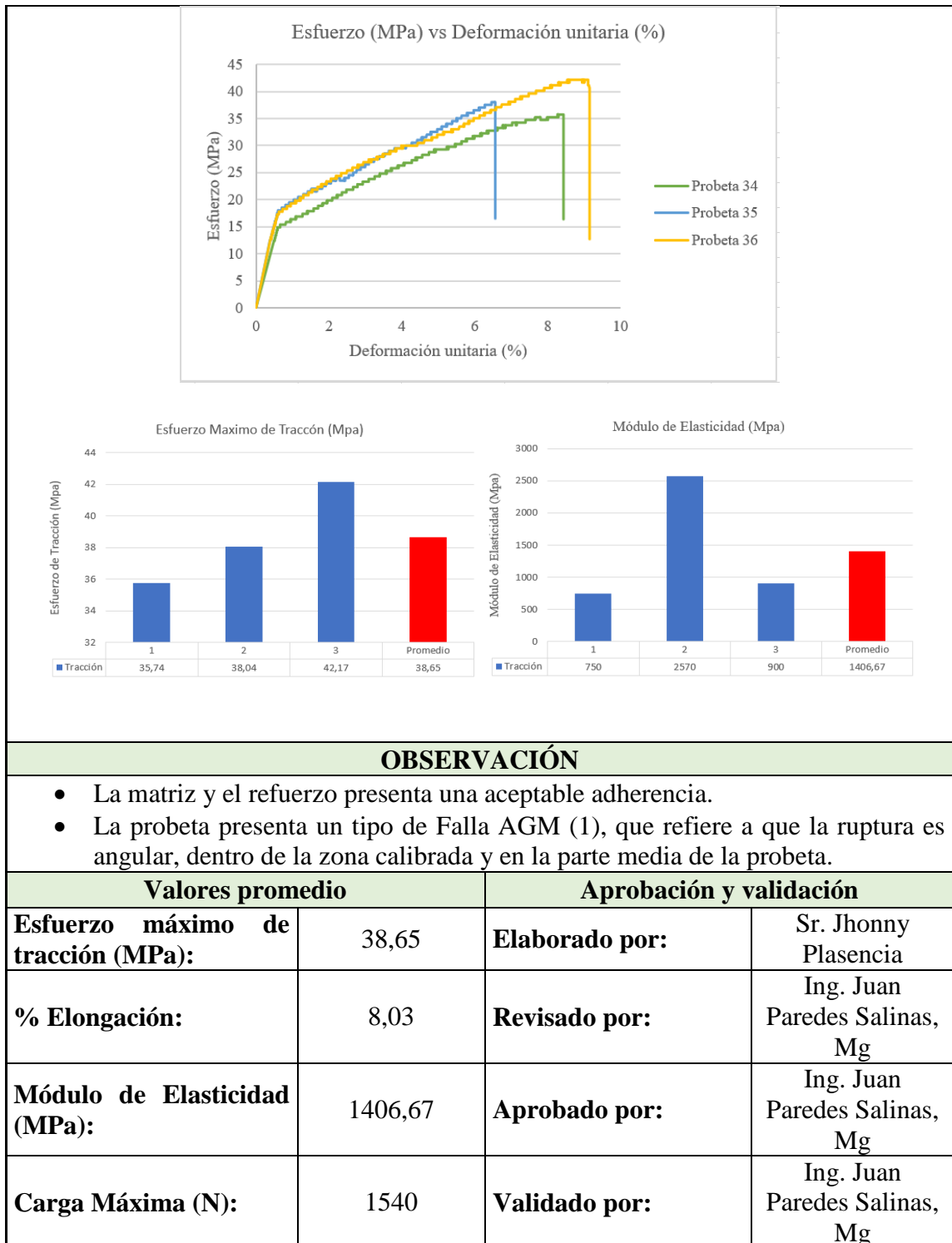
Fuente: Autor

Tabla 3.12 Ficha técnica del material compuesto, caso 12 a tracción

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C12/0.-45/120-T		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3



<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16	
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	al vacío	
<b>Orientación de fibra:</b>	0,-45°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6	
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno	
<b>RESULTADOS</b>						
<b>N° de probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Fluencia (Mpa)</b>	<b>Esfuerzo Máximo a la tracción (Mpa)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>% Elongación</b>	<b>Tipo de fallo evaluado</b>
1	1440	18,37	35,74	750	8,43	AGM 1
2	1520	19,52	38,04	2570	6,56	AGM 1
3	1660	21,34	42,17	900	9,11	AGM 1
<b>Promedio</b>	1540	19,74	38,65	1406,67	8,03	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>						
						
<b>GRÁFICAS</b>						



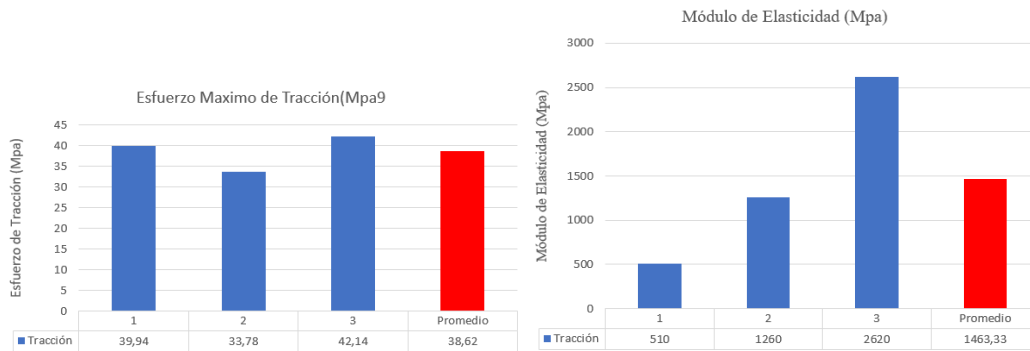
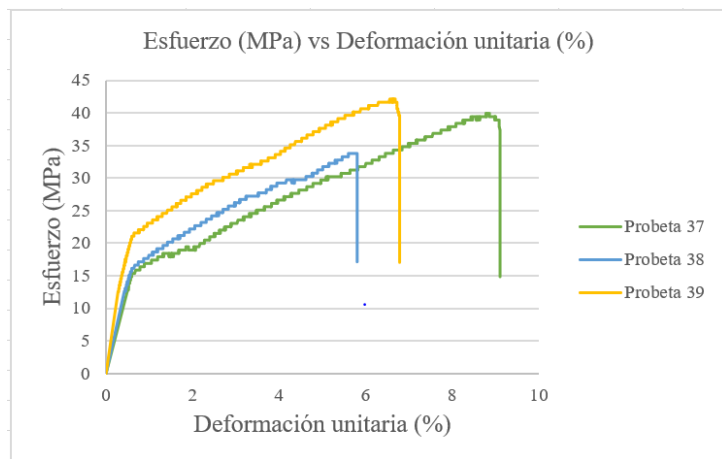
Fuente: Autor

Tabla 3.13 Ficha técnica del material compuesto, caso 13 a tracción

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>						
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS						
TRACCIÓN ASTM D3039						
DATOS INFORMATIVOS						
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación :</b>	C13/-45.0/120-T			
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3	
<b>Marca:</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16	
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	al vacío	
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°,0°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5	
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	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	1560	20,48	39,94	510	8,86	AGM 1
2	1340	18,15	33,78	1260	5,8	AIT
3	1680	22,08	42,14	2620	6,68	AGM 1
<b>Promedio</b>	1526,67	20,24	38,62	1463,33	7,11	
PROBETAS ENSAYADAS						



## GRÁFICAS



## OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presenta una aceptable adherencia.
- La probeta 1 y 3 presenta un tipo de Falla AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta, la 2 presenta ruptura AIT.

**Valores promedio**

**Aprobación y validación**

<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	38,62	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	7,113	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1463.33	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	1526,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

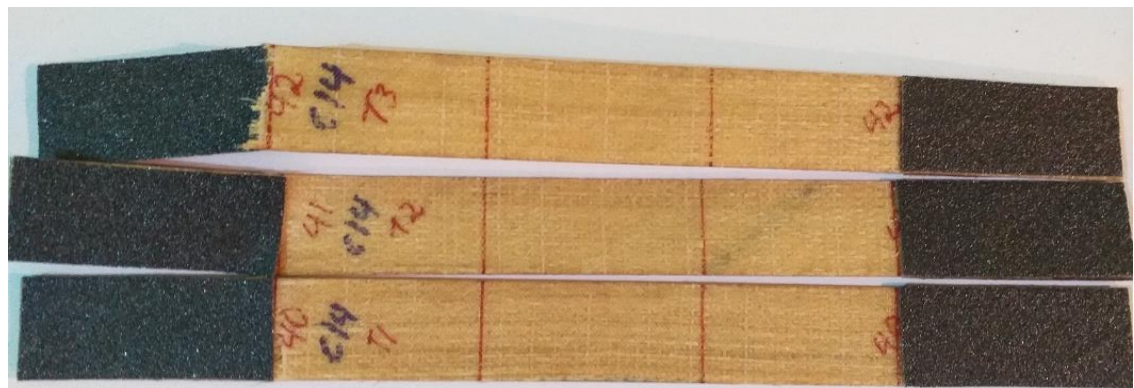
Fuente: Autor

Tabla 3.14 Ficha técnica del material compuesto, caso 14 a tracción

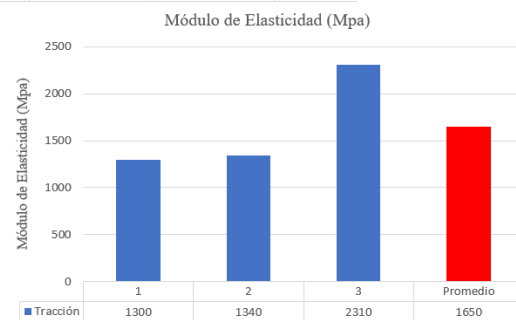
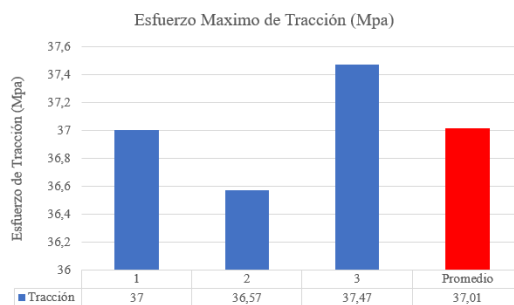
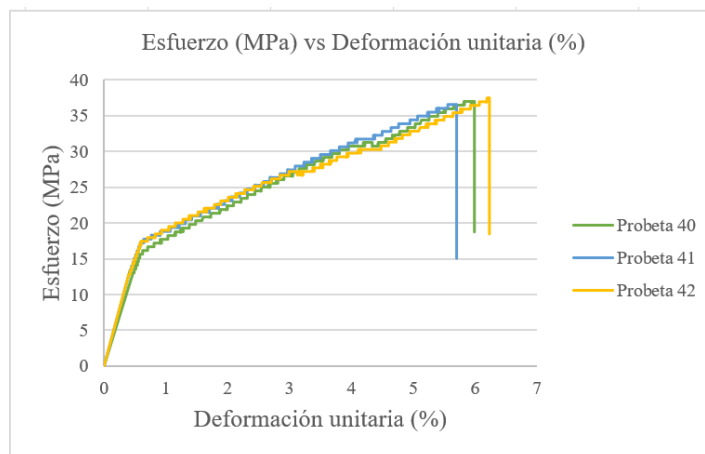
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C14/45.0/120-T		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropo xi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambir a	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,0°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					

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	1420	18,76	37	1300	5,99	LIT
2	1360	18,82	36,57	1340	5,7	LIT
3	1460	18,99	37,47	2310	6,23	LIT
<b>Promedio</b>	<b>1413,33</b>	<b>18,86</b>	<b>37,01</b>	<b>1650</b>	<b>5,97</b>	

### PROBETAS ENSAYADAS



### GRÁFICAS



<b>OBSERVACIÓN</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La matriz y el refuerzo presenta.</li> <li>• El tipo de Falla que produce las probetas es LIT, que se refiere que la ruptura es lateral, dentro del agarre de las probetas</li> </ul>			
<b>Valores promedio</b>		<b>Aprobación y validación</b>	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	37,01	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	5,97	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1650	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	1413,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.15 Ficha técnica del material compuesto, caso 15 a tracción

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>TRACCIÓN ASTM D3039</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C15/0.45/120-T		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/04/201	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca</b>	Aeropoxi	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	al vacío



<b>Orientación de fibra:</b>	0°,45°	<b>Orden de capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado</b>	2h en horno

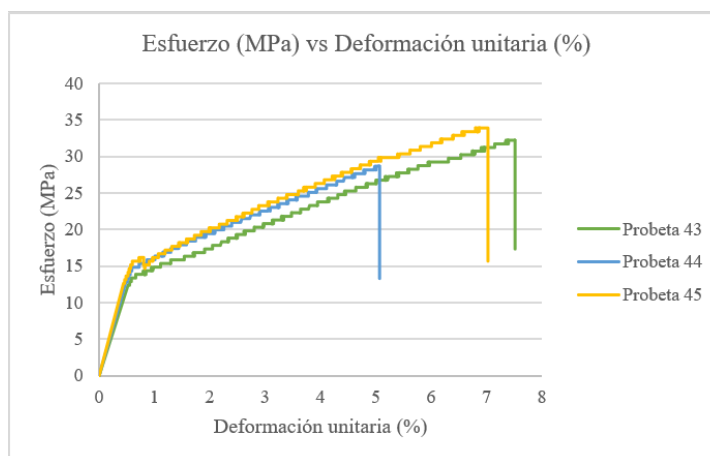
### RESULTADOS

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	1300	16,36	32,22	1240	7,52	AGM 1
2	1120	15,87	28,67	1280	5,07	AWT
3	1340	17,2	33,9	1260	7,03	AGM 1
<b>Promedio</b>	1253,33	16,48	31,60	1260	6,54	

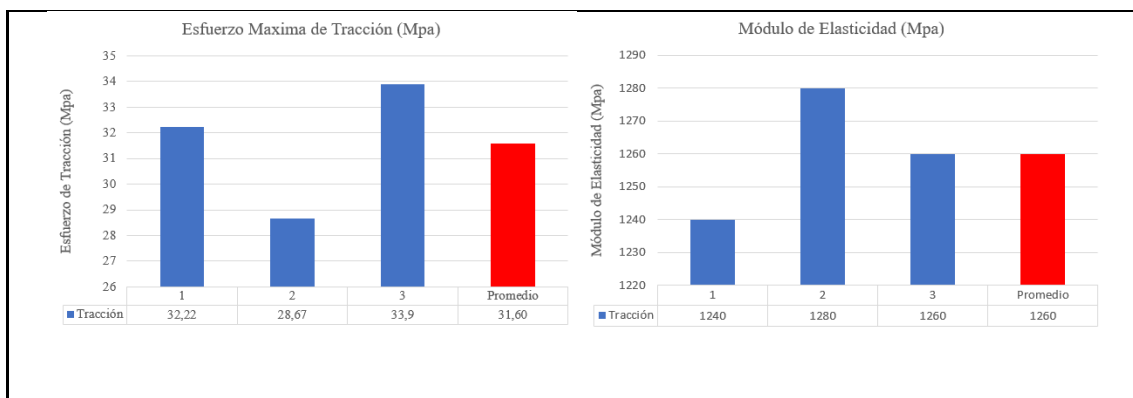
### PROBETAS ENSAYADAS



### GRÁFICAS







### OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presenta buena adherencia.
- El tipo de Falla que produce la probeta 1 y 3 es AGM (1), que refiere a que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta, la probeta 2 es AWT se refiere a que la ruptura es diagonal desde el agarre.

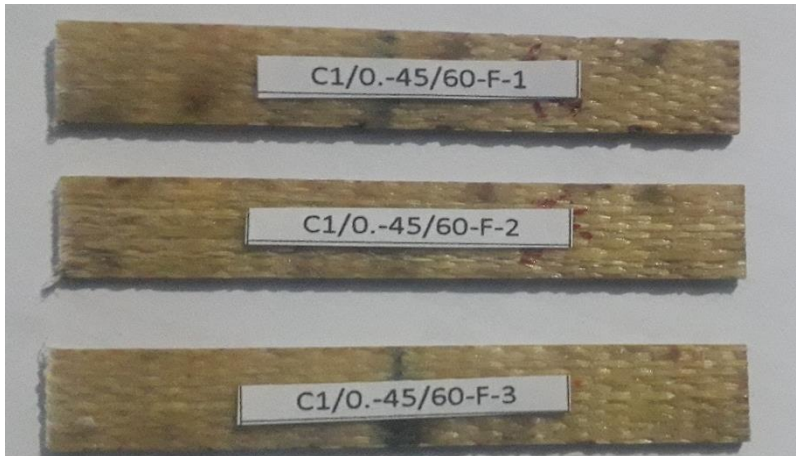
Valores promedio		Aprobación y validación	
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa):</b>	31,60	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>% Elongación:</b>	6,54	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1260	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga Máxima (N):</b>	1253,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

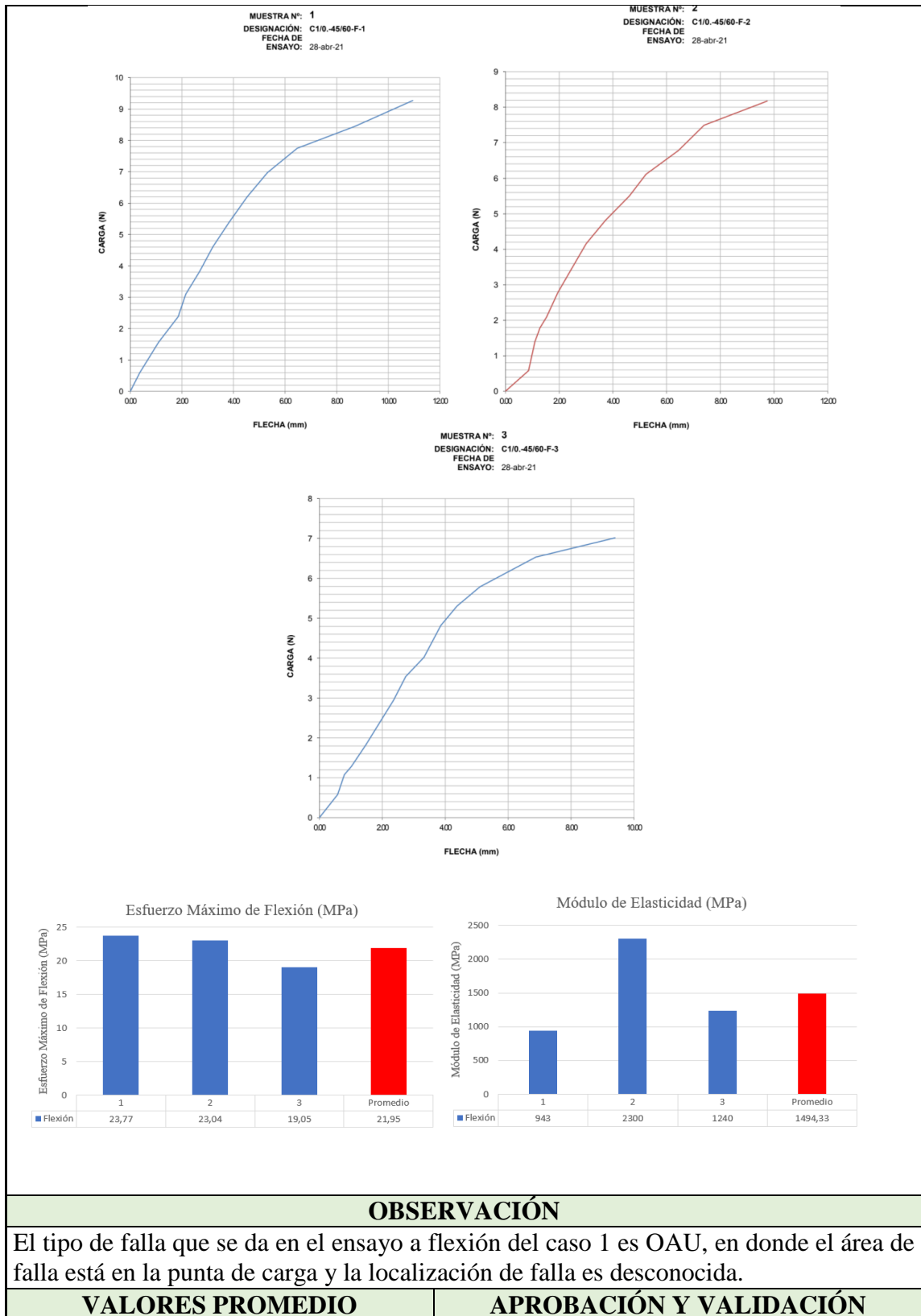
Fuente: Autor

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

Tabla 3.16 Ficha técnica de material compuesto, caso 1 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C1/0.-45/60-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		

<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°, -45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,43
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	9,27	23,77	10,73	943	OAU
2	8,17	23,04	9,29	2300	OAU
3	7,01	19,05	9,4	1240	OAU
<b>Promedio</b>	8,15	21,95	9,81	1494,33	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					
					
<b>GRÁFICAS</b>					



<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	21,95	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	1494,33	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	9,81	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	8,15	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

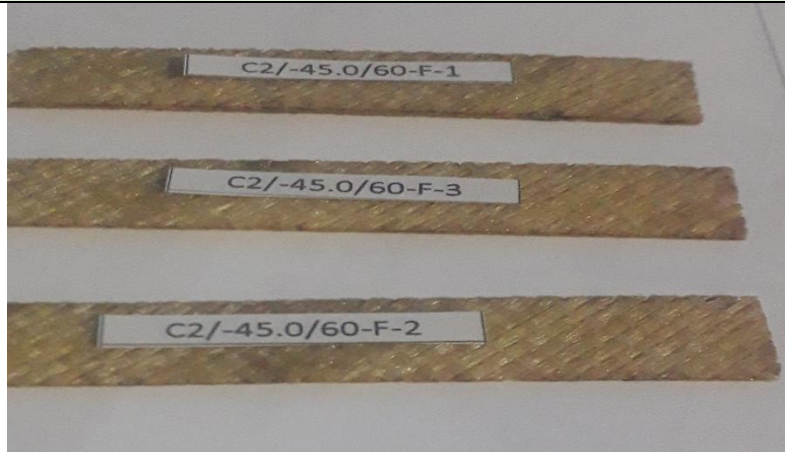
Fuente: Autor

Tabla 3.17 Ficha técnica de material compuesto, caso 2 a flexión

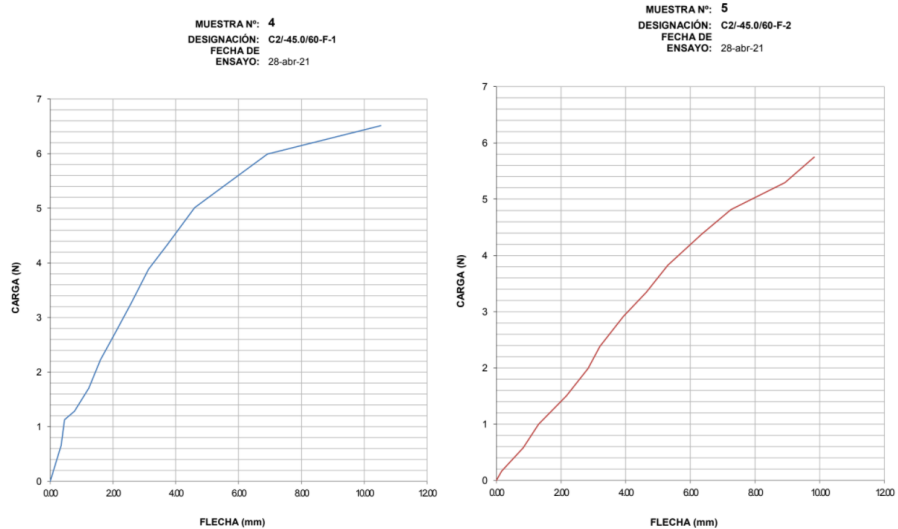
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C2/-45.0/60-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,55
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>

1	6,51	15,68	10,53	941	OAM
2	5,75	12,35	9,83	336	OAM
3	8,96	21,30	13,23	720	OAM
<b>Promedio</b>	7,07	16,44	11,20	665,67	

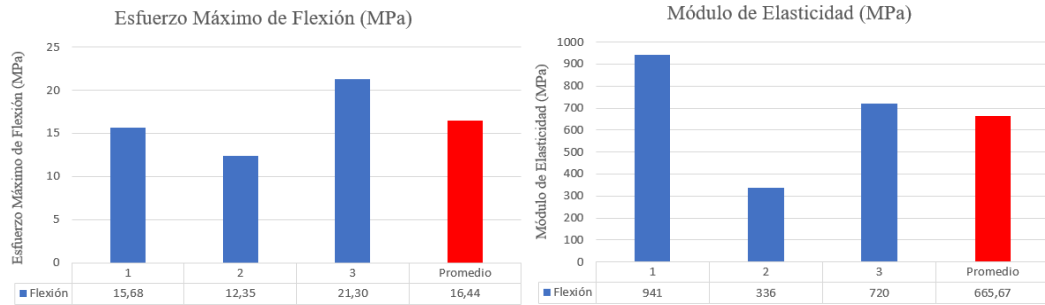
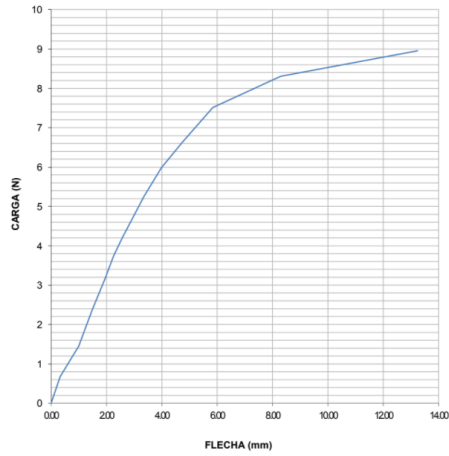
**PROBETAS ENSAYADAS**



**GRÁFICAS**



MUESTRA N°: 6  
 DESIGNACIÓN: C2/45.0/60-F-3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



### OBSERVACIÓN

El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 2 es OAM, porque luego del ensayo realizado se puede observar que el área de falla es en la punta de carga por ende la localización de falla es en el medio de la probeta.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	16,44	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	665,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	11,20	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	7,07	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

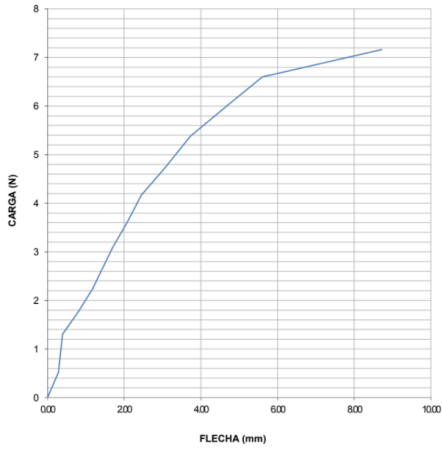
Tabla 3.18 Ficha técnica de material compuesto, caso 3 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	C3/45.0/60-F			
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021		<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia		<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3		
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío		
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,55		
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno		
<b>RESULTADOS</b>							
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>		
1	7,16	16,98	8,72	1500	OAM		
2	7,29	17,06	9,61	1660	OAM		
3	8,35	19,30	9,48	1200	OAM		
Promedio	7,60	17,78	9,27	1453,33			
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>							

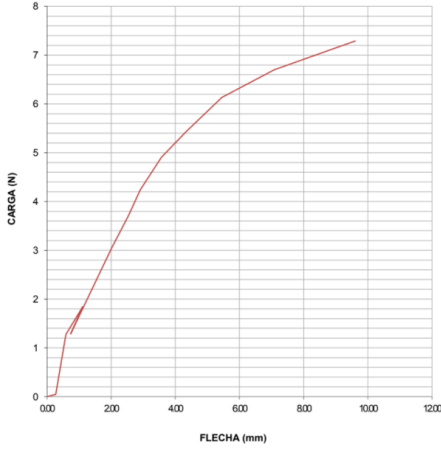


## GRÁFICAS

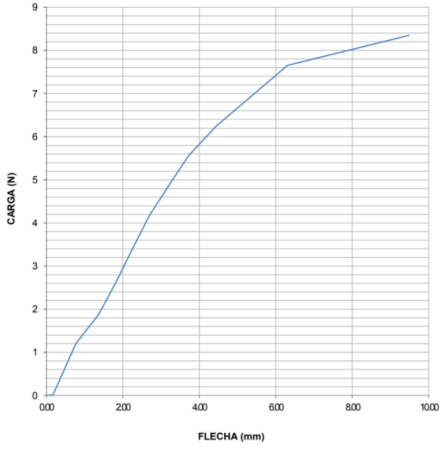
MUESTRA N°: 7  
 C3/45.0/60-F-  
 DESIGNACIÓN: 1  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



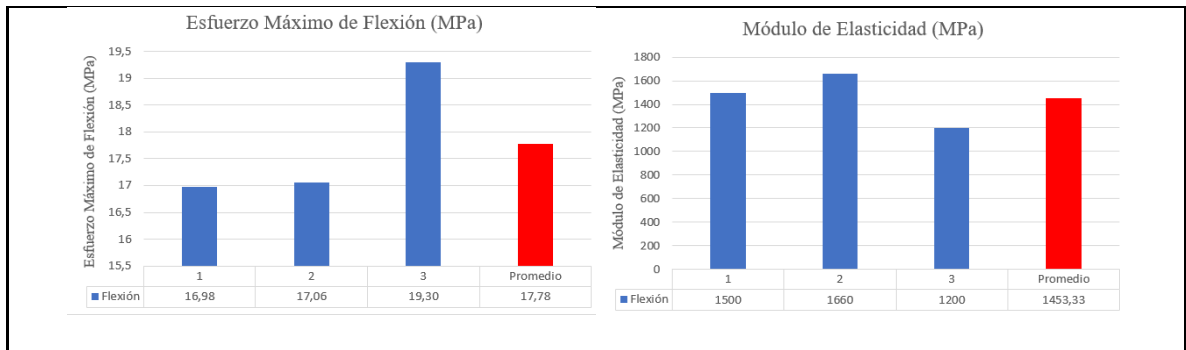
MUESTRA N°: 8  
 C3/45.0/60-F-  
 DESIGNACIÓN: 2  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



MUESTRA N°: 9  
 C3/45.0/60-F-  
 DESIGNACIÓN: 3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21







### OBSERVACIÓN


El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 3 es OAM, porque luego del ensayo realizado se puede observar que el área de falla es en la punta de carga por ende la localización de falla es en el medio de la probeta.

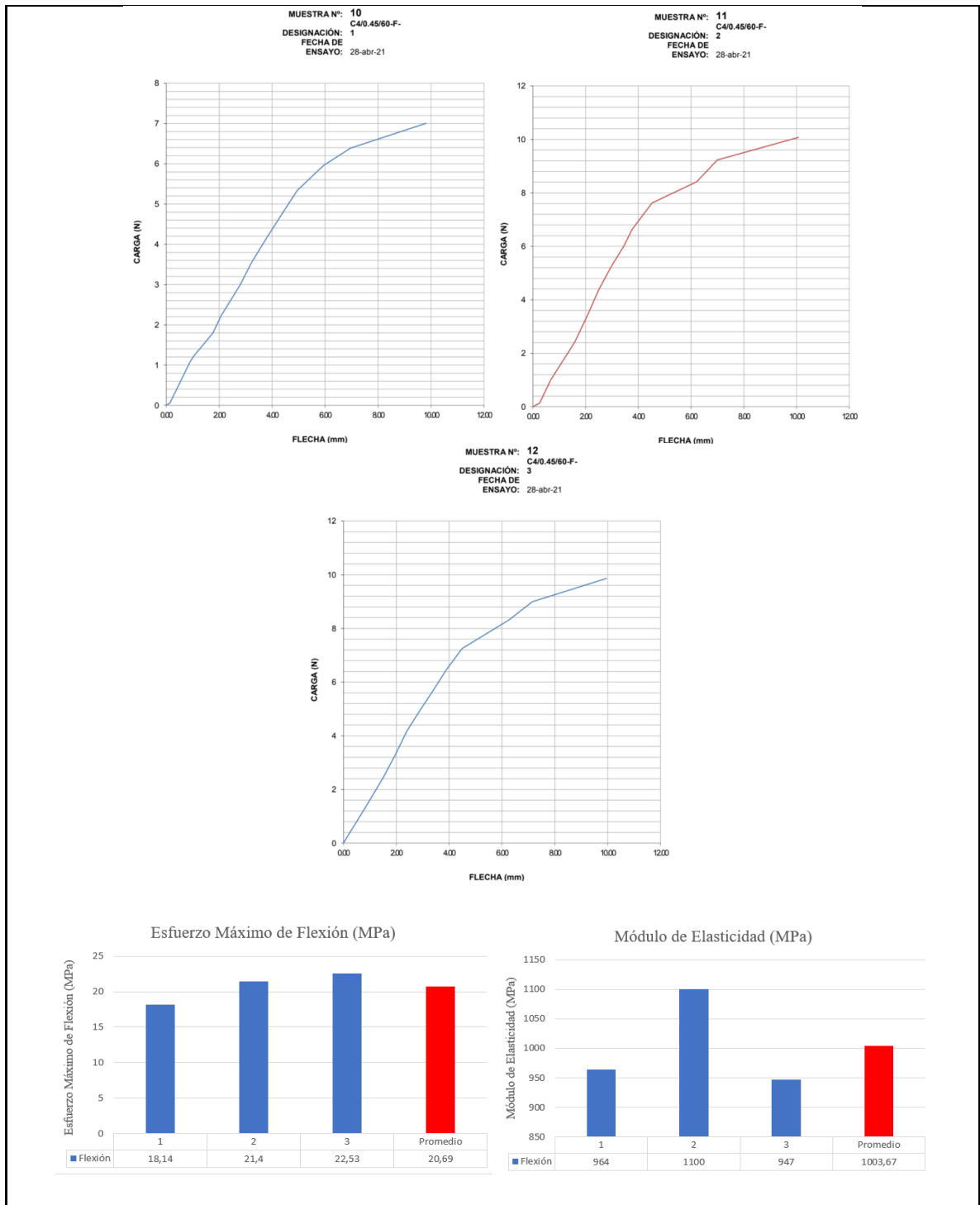
VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	17,78	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	1453,33	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	9,27	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	7,60	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.19 Ficha técnica de material compuesto, caso 4 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C4/0.45/60-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					

<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,55
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (MPa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	7	18,14	9,81	964	OAU
2	10,07	21,4	10,07	1100	OAU
3	9,86	22,53	9,96	947	OAU
<b>Promedio</b>	8,98	20,69	9,95	1003,67	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					
					
<b>GRÁFICAS</b>					



### OBSERVACIÓN

El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 4 es OAU, en donde el área de falla está en la punta de carga y la localización de falla es desconocida.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	20,69	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia

<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	1003,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	9,95	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	8,98	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

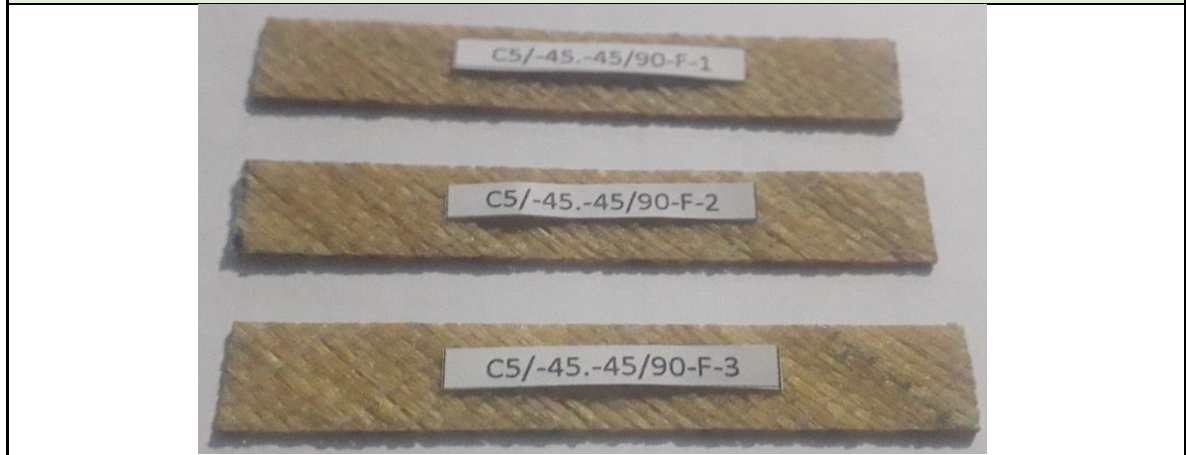
Fuente: Autor

Tabla 3.20 Ficha técnica de material compuesto, caso 5 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>							
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	C5/-45.-45/90-F			
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021		<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia		<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3		
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°, -45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,46		
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno		
<b>RESULTADOS</b>							
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (MPa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>		
1	5,23	14,18	9,92	919	OLU		
2	7,29	19,66	8,31	974	OLU		

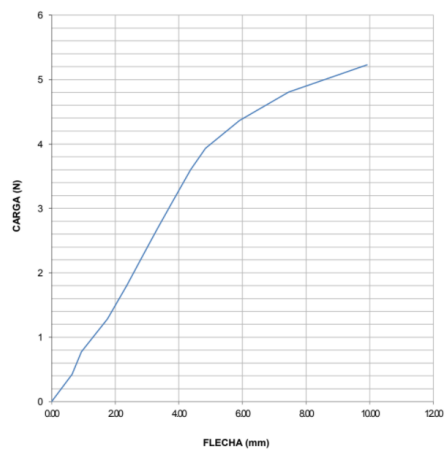
3	5,11	12,24	8,48	650	OLU
Promedio	5,88	15,36	8,90	847,67	

**PROBETAS ENSAYADAS**

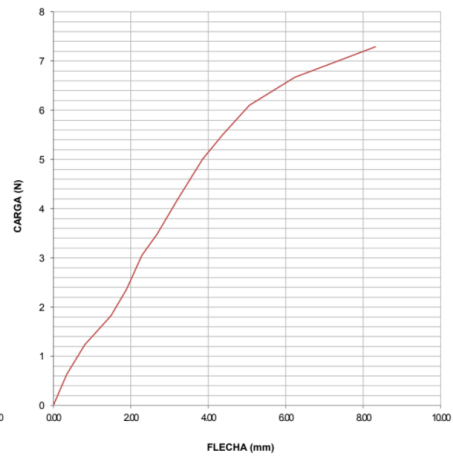


**GRÁFICAS**

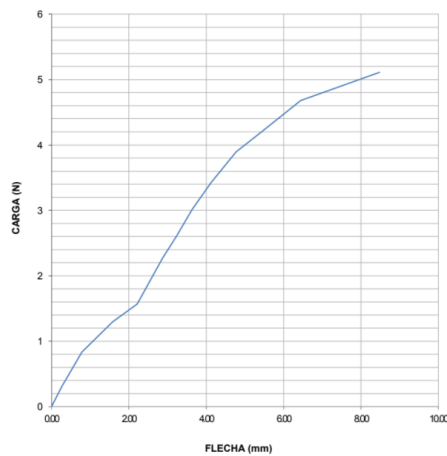
MUESTRA N°: 13  
 DESIGNACIÓN: C5/-45.-45/90-F-1  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21

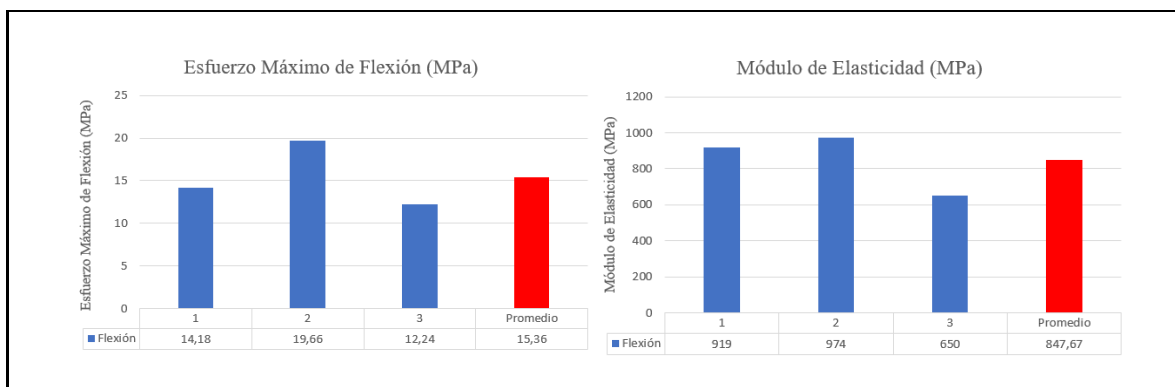


MUESTRA N°: 14  
 DESIGNACIÓN: C5/-45.-45/90-F-2  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



MUESTRA N°: 15  
 DESIGNACIÓN: C5/-45.-45/90-F-3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21





### OBSERVACIÓN


El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 5 es OLU, porque el área de falla está entre la carga y punta de soporte, debido a esto no se puede observar la localización de falla y se denominó el código U (desconocido) en la probeta.

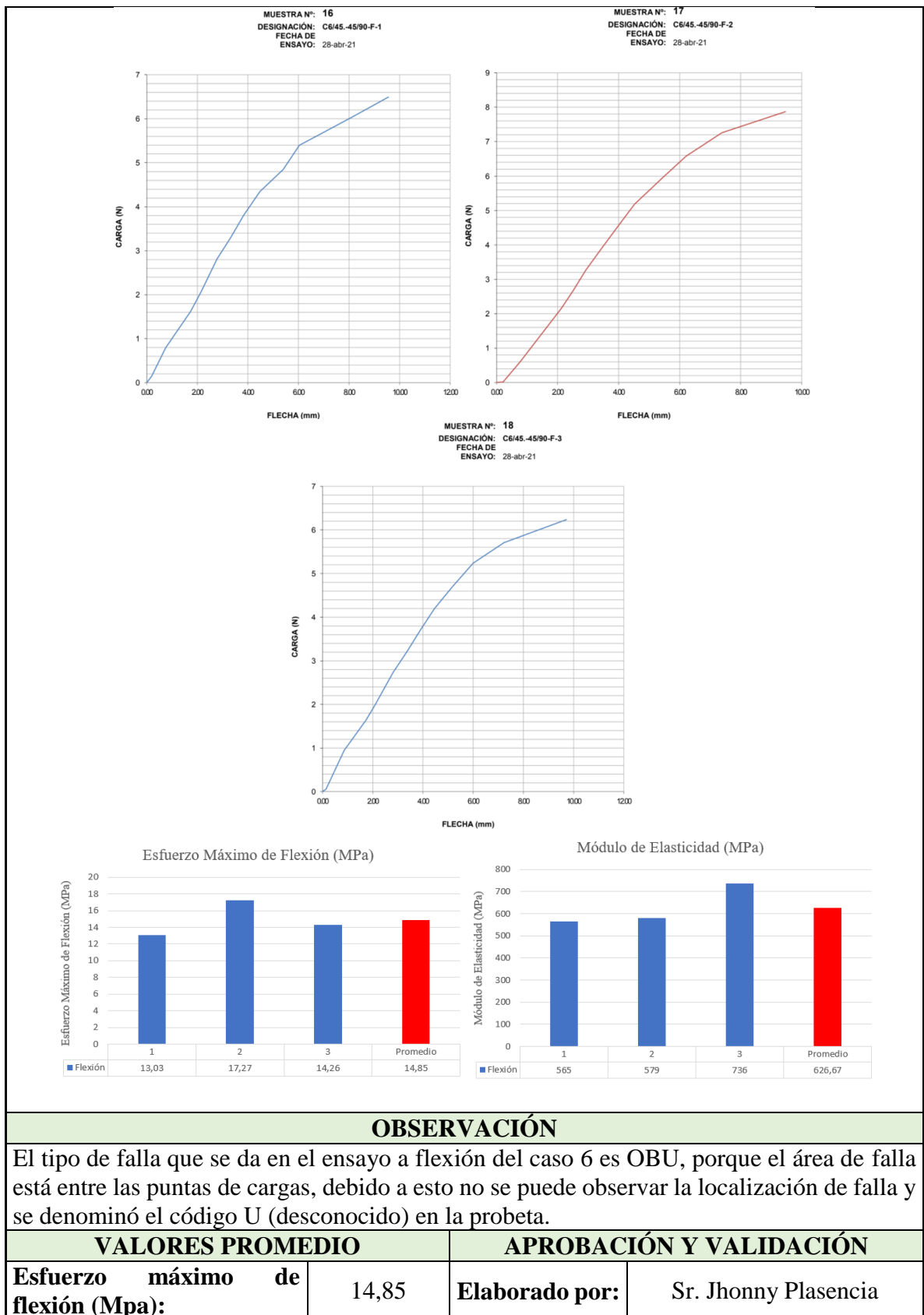
VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	15,36	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	847,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	8,90	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	5,88	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.21 Ficha técnica de material compuesto, caso 6 a flexión

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>			
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C6/45.-45/90-F
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		

PARÁMETROS DE DISEÑO					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°, -45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	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	6,49	13,03	9,56	565	OBU
2	7,87	17,27	9,47	579	OBU
3	6,24	14,26	9,71	736	OBU
<b>Promedio</b>	6,87	14,85	9,58	626,67	
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					







<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	626,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	9,58	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	6,87	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.22 Ficha técnica de material compuesto, caso 7 a flexión

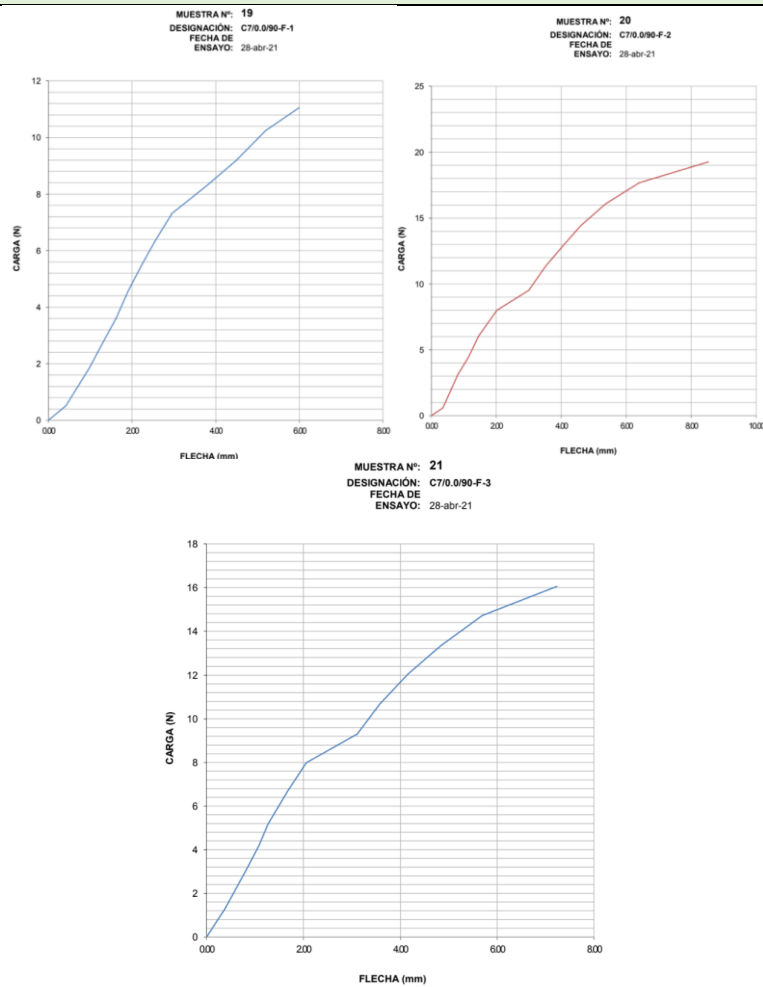
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C7/0.0/90-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,43
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (MPa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	11,06	32,27	6	2040	OAT

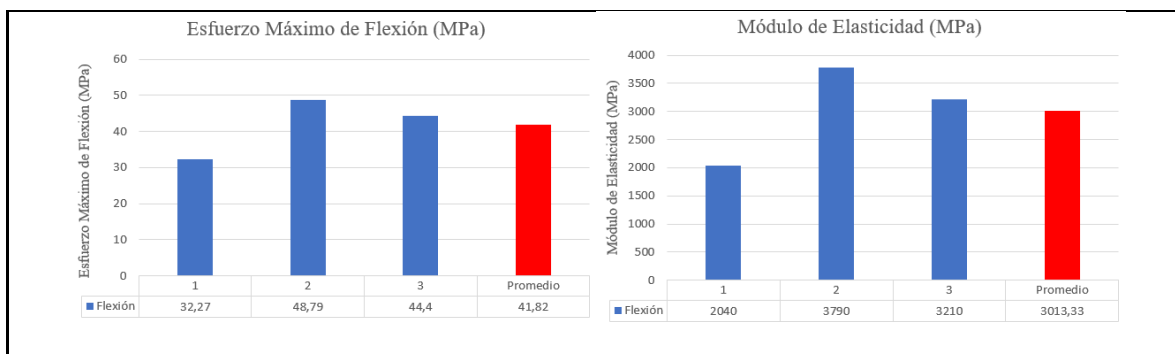
2	19,26	48,79	8,53	3790	OAT
3	16,06	44,4	7,23	3210	OAT
<b>Promedio</b>	15,46	41,82	7,25	3013,33	

**PROBETAS ENSAYADAS**



**GRÁFICAS**





### OBSERVACIÓN

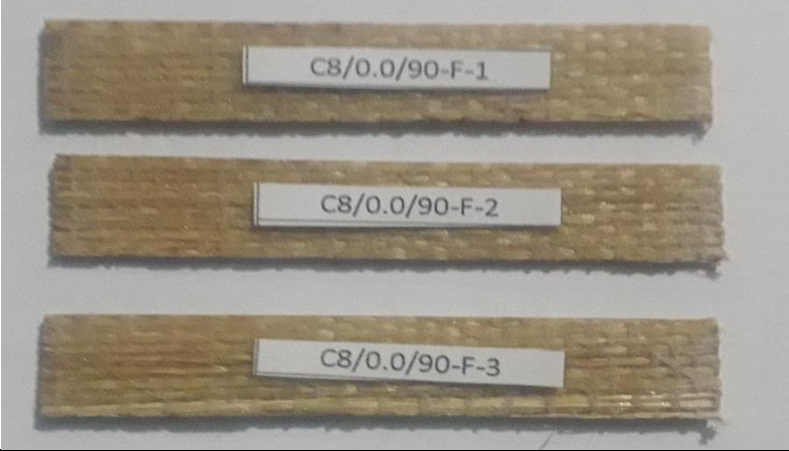
El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 7 es OAT, porque el área de falla está en la punta de carga, por la cual la flexión se genera en la parte posterior de la probeta.

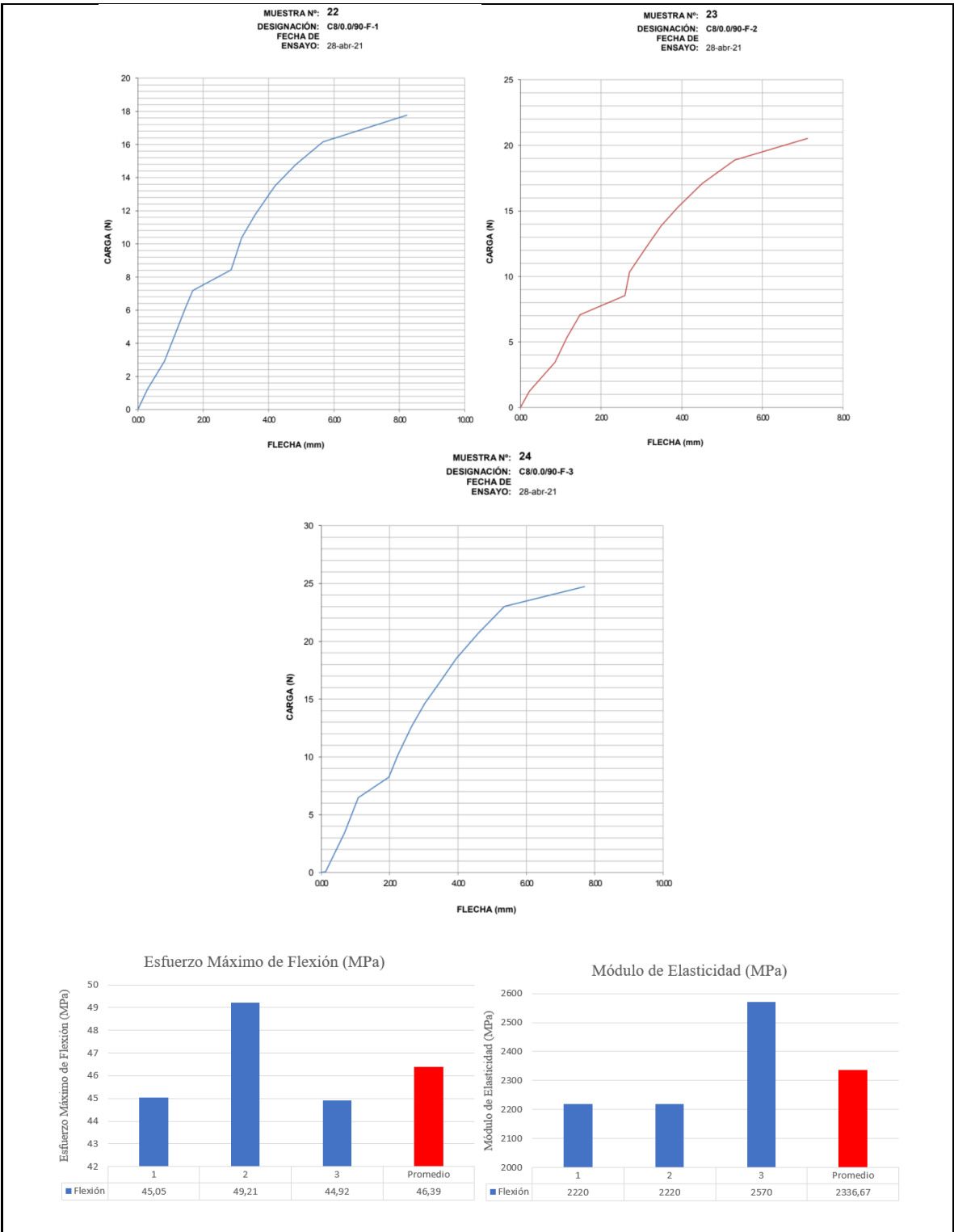
VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	41,82	Elaborado por:	Sr. Jhonny Plasencia
Módulo de Elasticidad (MPa):	3013,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	7,25	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	15,46	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.23 Ficha técnica de material compuesto, caso 8 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C8/0.0/90-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3

<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,58
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	17,77	45,05	8,23	2220	OAB
2	20,53	49,21	7,12	2220	OAB
3	24,73	44,92	7,7	2570	OAB
<b>Promedio</b>	21,01	46,39	7,68	2336,67	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					
					
<b>GRÁFICAS</b>					



**OBSERVACIÓN**

El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 8 es OAB, en donde el área de falla está en la punta de carga y se observa que la localización de la falla es profunda, debido a que la probeta quedó fisurada.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	46,39	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	2336,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	7,68	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	21,01	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

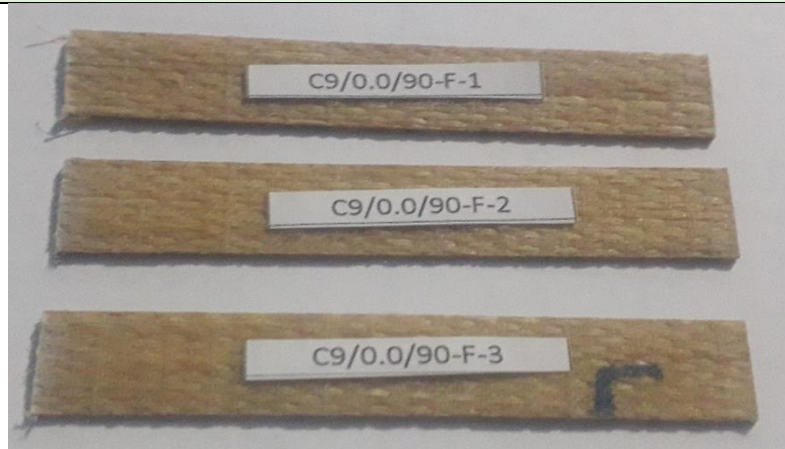
Tabla 3.24 Ficha técnica de material compuesto, caso 9 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C9/0.0/90-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,58
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno

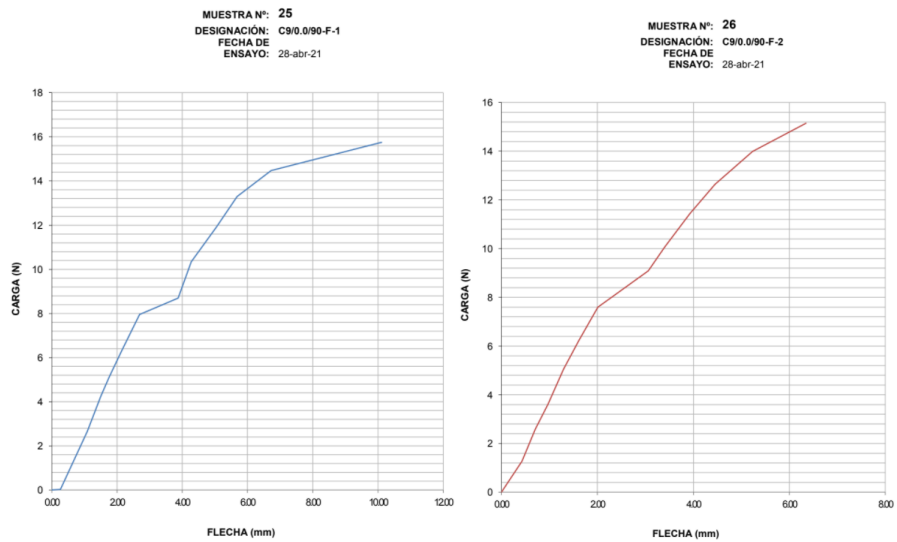
### RESULTADOS

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	15,75	52,66	10,11	3330	OAB
2	15,15	45,38	6,35	3850	OAB
3	22,51	56,28	6,11	3650	OAB
Promedio	17,80	51,44	7,52	3610	

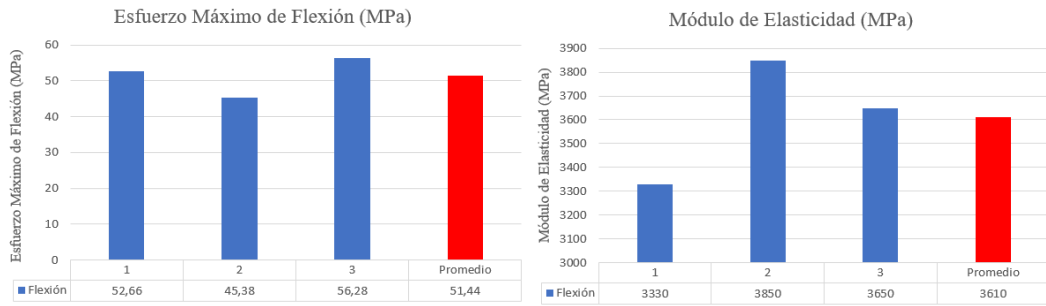
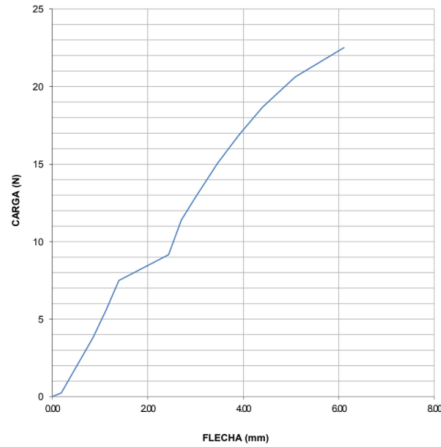
### PROBETAS ENSAYADAS



### GRÁFICAS



MUESTRA N°: 27  
 DESIGNACIÓN: C9/0.0/90-F-3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



### OBSERVACIÓN

El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 9 es OAB, en donde el área de falla está en la punta de carga y se observa que la localización de la falla es profunda, debido a que la probeta quedó fisurada.

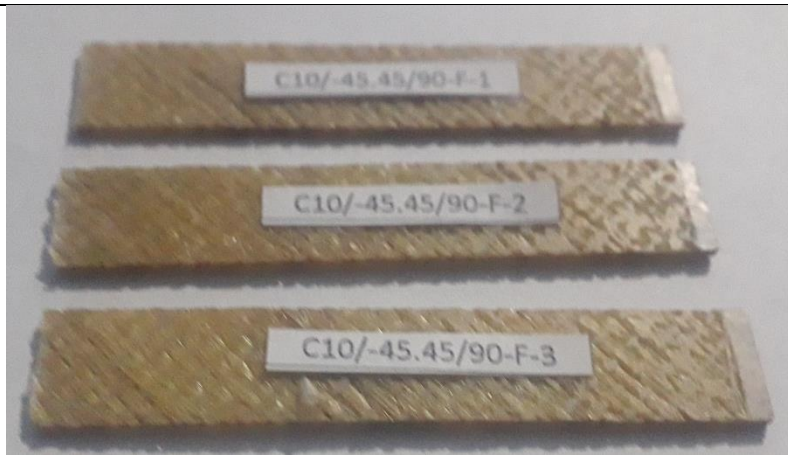
VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	51,44	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	3610	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	7,52	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	17,80	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor



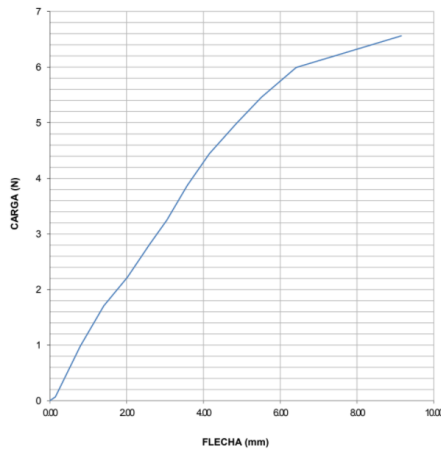
Tabla 3.25 Ficha técnica de material compuesto, caso 10 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN_ASTM D7264</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C10/-45.45/90-F				
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3		
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,66		
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno		
<b>RESULTADOS</b>							
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>		
1	6,56	12,88	9,15	660	OSU		
2	6,88	12,91	11,31	706	OSU		
3	5,03	11,04	13,36	473	OSU		
<b>Promedio</b>	6,16	12,28	11,27	613			
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>							

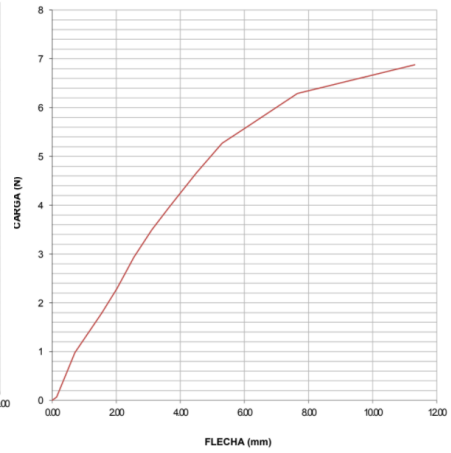


## GRÁFICAS

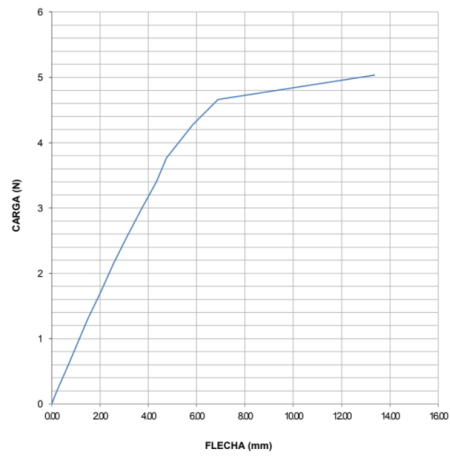
MUESTRA N°: 28  
 DESIGNACIÓN: C10/-45.45/90-F-1  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21

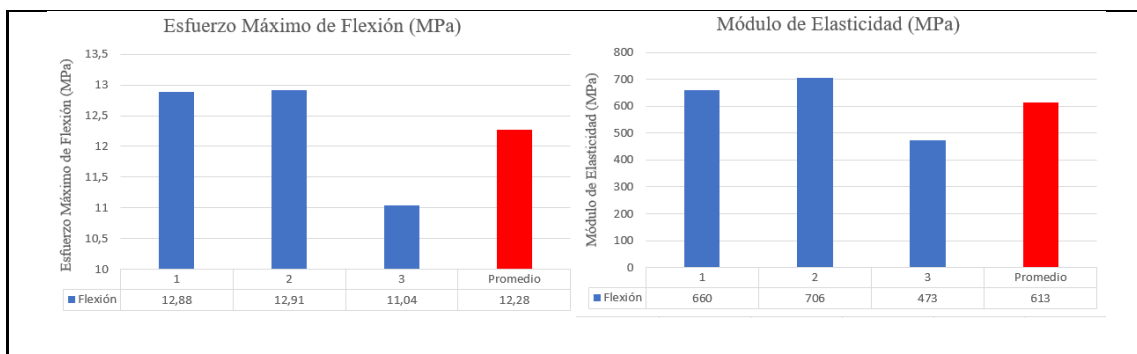


MUESTRA N°: 29  
 DESIGNACIÓN: C10/-45.45/90-F-2  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



MUESTRA N°: 30  
 DESIGNACIÓN: C10/-45.45/90-F-3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21





### OBSERVACIÓN

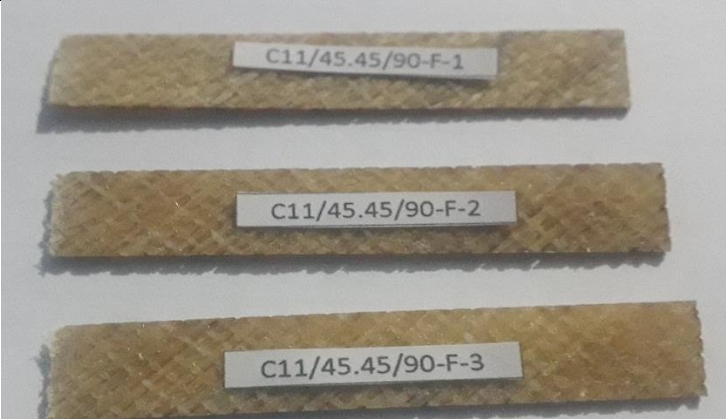
El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 10 es OSU, en donde el área de falla está en la punta de soporte y por motivo que la localización de falla es desconocida.

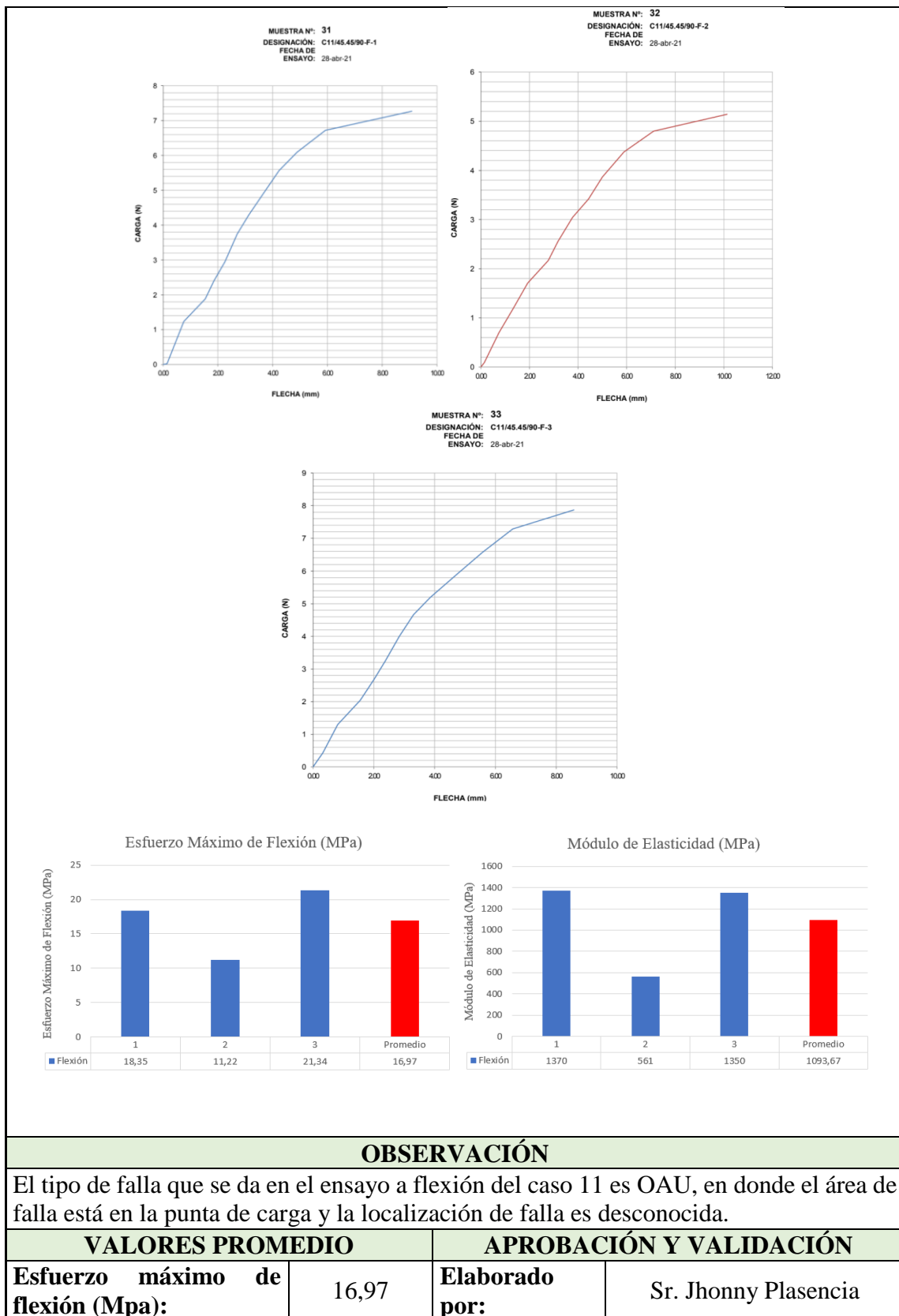
VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa):</b>	12,28	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	613	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	11,27	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	6,16	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.26 Ficha técnica de material compuesto, caso 11 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C11/45.45/90-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3

<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	7,27	18,35	9,08	1370	OAU
2	5,14	11,22	10,13	561	OAU
3	7,87	21,34	8,58	1350	OAU
<b>Promedio</b>	6,76	16,97	9,26	1093,67	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					
					
<b>GRÁFICAS</b>					



<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	1093,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	9,26	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	6,76	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.27 Ficha técnica de material compuesto, caso 12 a flexión

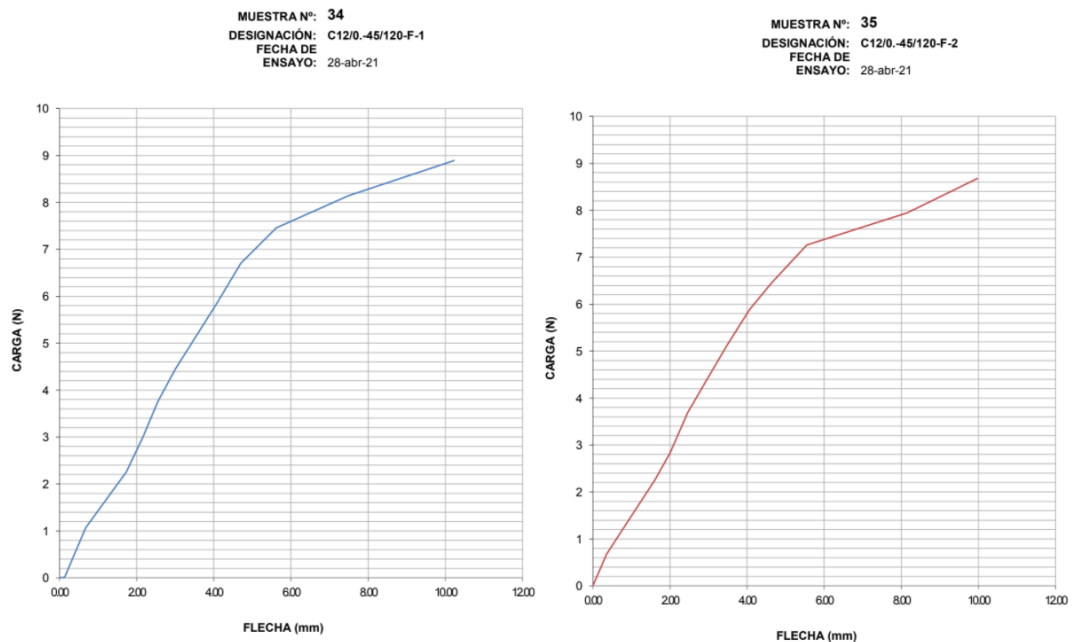
		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>				
		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>				
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>						
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>						
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C12/0.-45/120-F			
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>						
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3	
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16	
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	
<b>Orientación de fibra:</b>	0°, -45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5	
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno	
<b>RESULTADOS</b>						

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión (Mpa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (Mpa)	Tipo de Falla
1	8,89	20,04	10,22	1100	OAU
2	8,67	20,56	9,97	804	OAU
3	9,25	19,78	10,01	984	OAU
<b>Promedio</b>	8,94	20,13	10,07	962,67	

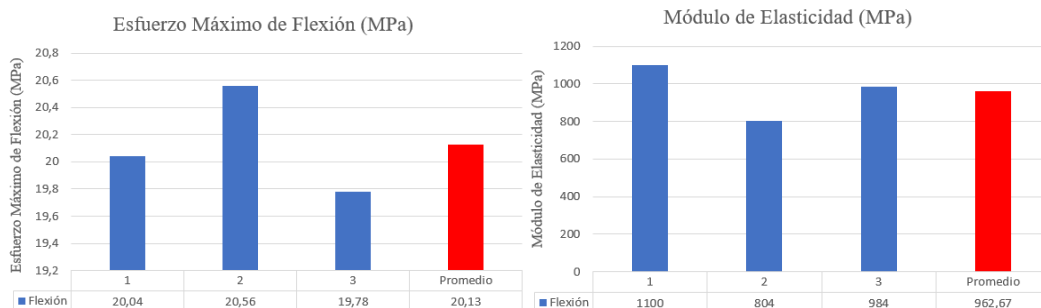
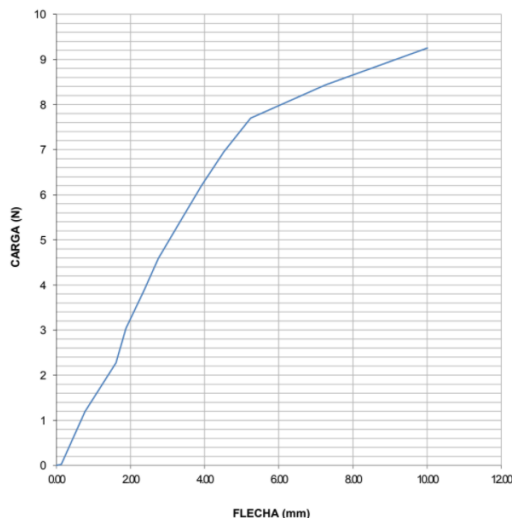
**PROBETAS ENSAYADAS**



**GRÁFICAS**



MUESTRA N°: 36  
 DESIGNACIÓN: C12/0.-45/120-F-3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



### OBSERVACIÓN



El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 12 es OAU, en donde el área de falla está en la punta de carga y la localización de falla es desconocida.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	20,13	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	962,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	10,07	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	8,94	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor



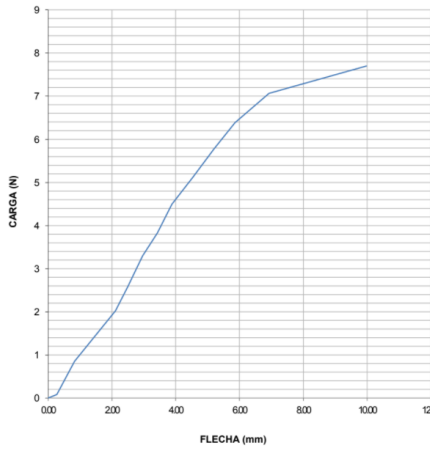
Tabla 3.28 Ficha técnica de material compuesto, caso 13 a flexión

 <b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b> 					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C13/-45.0/120-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	7,7	23,86	9,98	1320	OAV
2	9,63	24,41	10,16	598	OAV
3	15,15	27,39	11,16	830	OAT
<b>Promedio</b>	10,83	25,22	10,43	916	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					

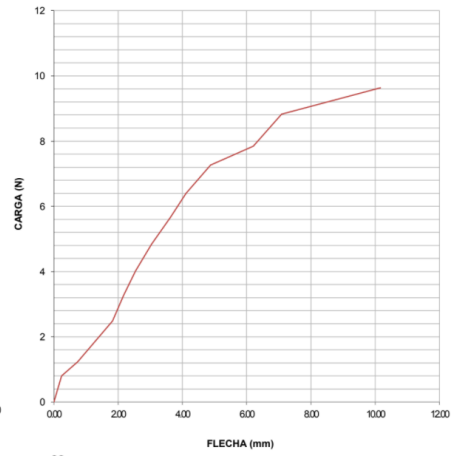


## GRÁFICAS

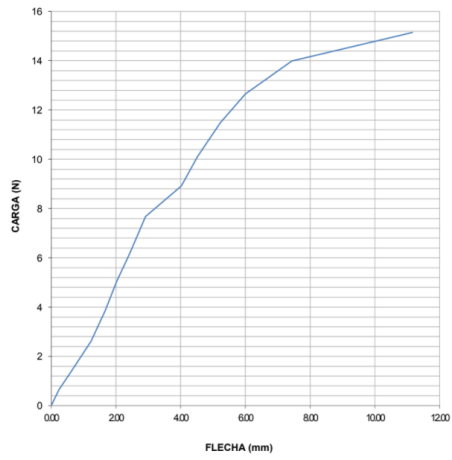
MUESTRA N°: 37  
 DESIGNACIÓN: C13/-45.0/120-F-1  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21

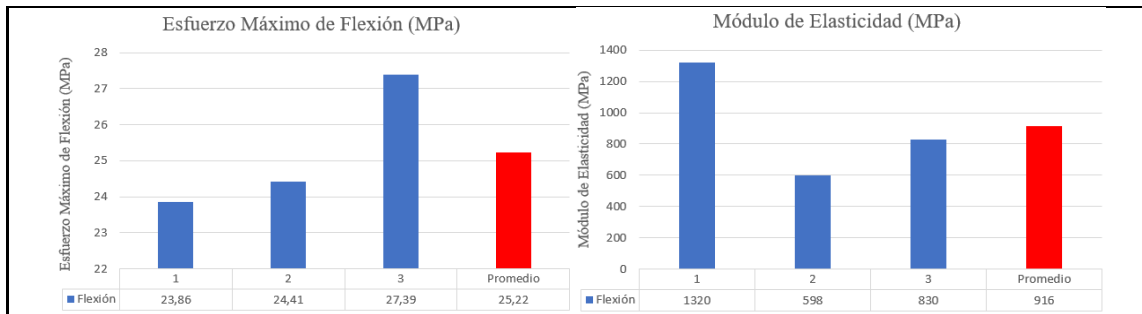


MUESTRA N°: 38  
 DESIGNACIÓN: C13/-45.0/120-F-2  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



MUESTRA N°: 39  
 DESIGNACIÓN: C13/-45.0/120-F-3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21





**OBSERVACIÓN**


El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 13 probetas 1 y 2 es OAV, en donde el área de falla está en la punta de carga y se puede observar varias localizaciones de falla. El tipo de falla de la probeta 3 es OAT, donde la falla se presenta en la punta de carga y la flexión se da en la parte posterior de la probeta.

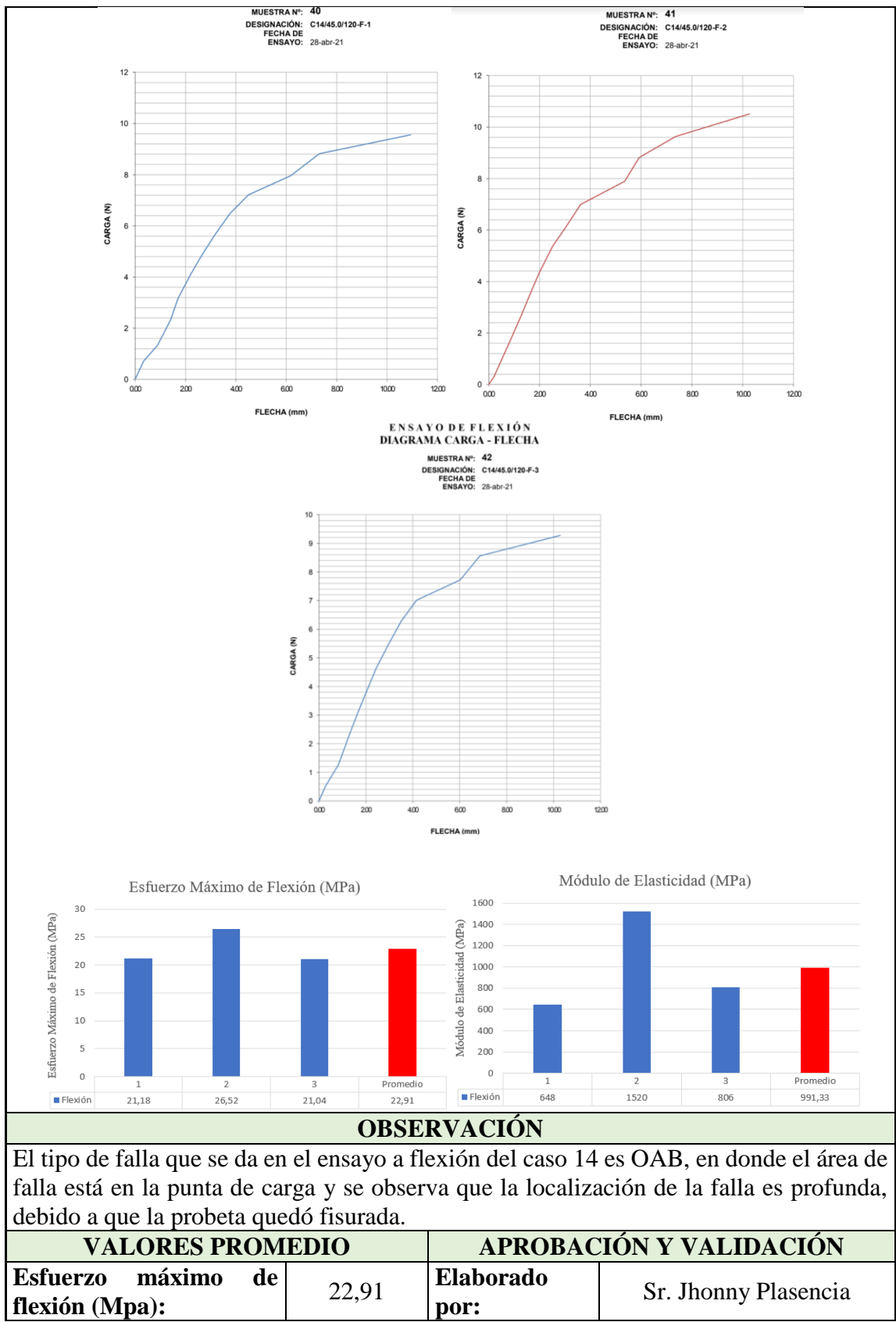
VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa):</b>	25,22	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (MPa):</b>	916	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	10,43	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	10,83	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

**Fuente:** Autor

Tabla 3.29 Ficha técnica de material compuesto, caso 14 a flexión

	<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>		
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>			
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>			
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C14/45.0/120-F
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>			

<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	9,55	21,18	10,94	648	OAB
2	10,51	26,52	10,26	1520	OAB
3	9,28	21,04	10,28	806	OAB
<b>Promedio</b>	9,78	22,91	10,49	991,33	
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					
					
<b>GRÁFICAS</b>					



<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	991,33	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	10,49	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	9,78	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3.30 Ficha técnica de material compuesto, caso 15 a flexión

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>FLEXIÓN ASTM D7264</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C15/0.45/120-F		
<b>Fecha de ejecución:</b>	12/4/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
<b>Lugar:</b>	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE DISEÑO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación:</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,6
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2mm/min	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>RESULTADOS</b>					
<b>N° de Probetas</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de Flexión (Mpa)</b>	<b>Flecha Máxima (mm)</b>	<b>Módulo de Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Tipo de Falla</b>
1	8,98	19,53	8,89	829	OAU

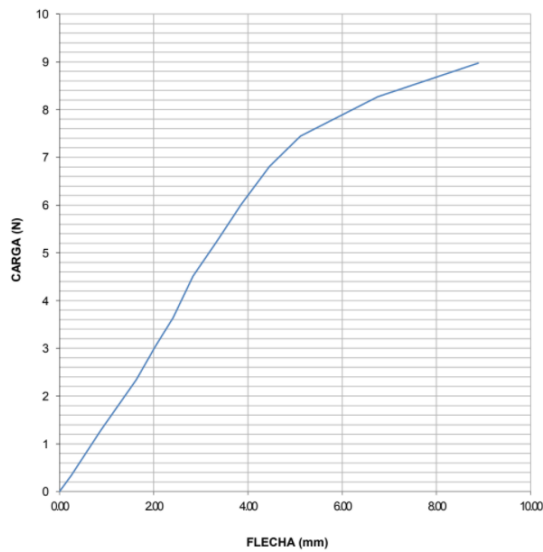
2	10,51	21,45	10,33	778	OAU
3	9,38	21,63	10,77	1130	OAU
<b>Promedio</b>	9,62	20,87	10	912,33	

**PROBETAS ENSAYADAS**

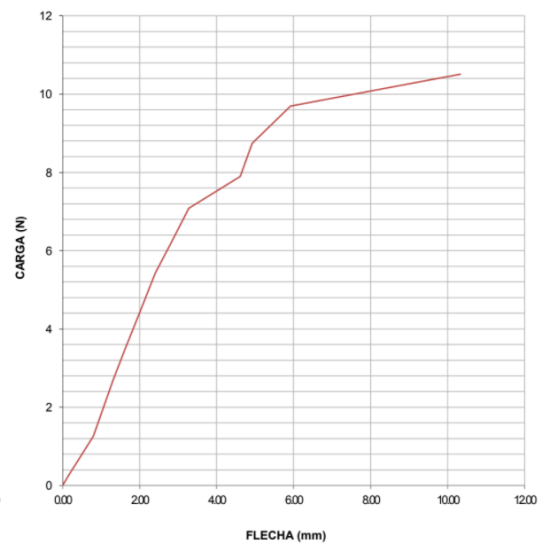


**GRÁFICAS**

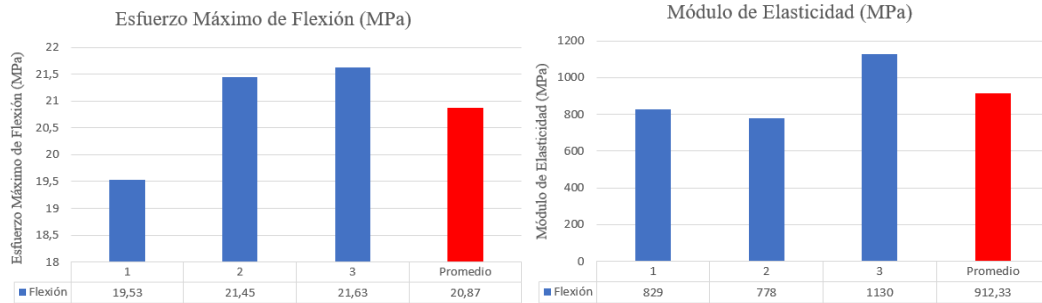
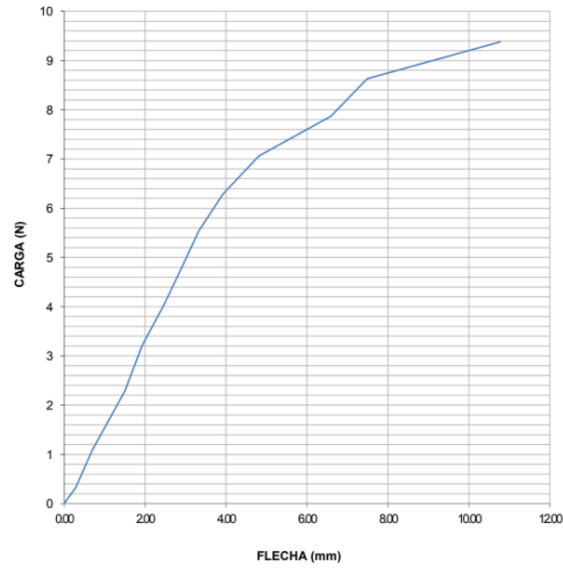
MUESTRA N°: 43  
 DESIGNACIÓN: C15/0.45/120-F-1  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



MUESTRA N°: 44  
 DESIGNACIÓN: C15/0.45/120-F-2  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



MUESTRA N°: 45  
 DESIGNACIÓN: C15/0.45/120-F-3  
 FECHA DE ENSAYO: 28-abr-21



**OBSERVACIÓN**

El tipo de falla que se da en el ensayo a flexión del caso 15 es OAU, en donde el área de falla está en la punta de carga y la localización de falla es desconocida.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
<b>Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):</b>	20,87	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Jhonny Plasencia
<b>Módulo de Elasticidad (Mpa):</b>	912,33	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Flecha máxima (mm):</b>	10,00	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
<b>Carga máxima (N):</b>	9,62	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

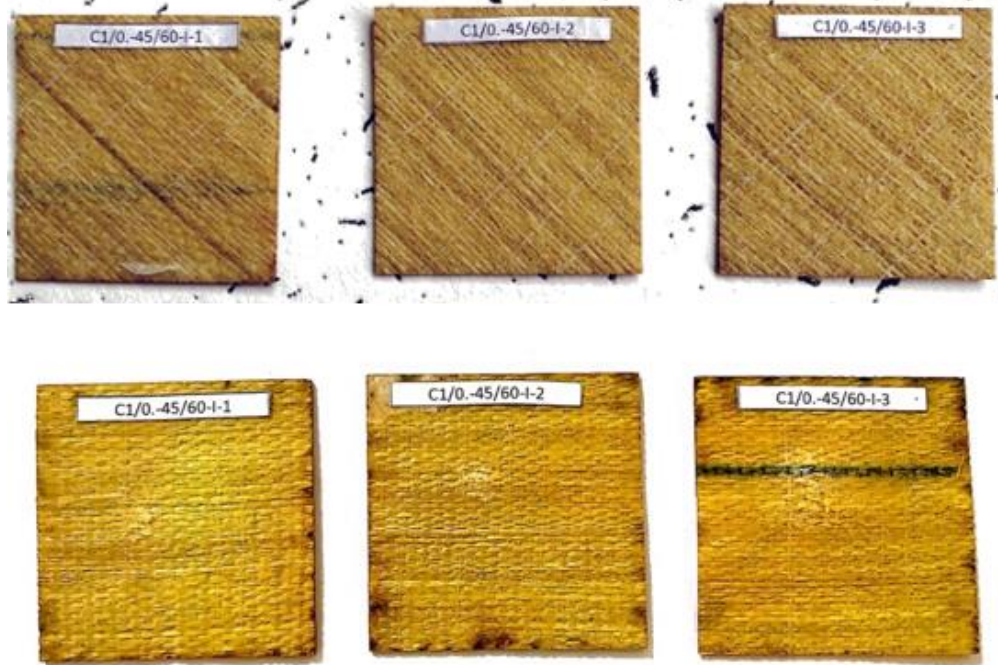
Fuente: Autor



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

Tabla 3.31 Ficha técnica de material compuesto, caso 1 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C1/0.-45/60-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°, -45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,232	0	0,455	D
2	400	0,232	0	0,910	C
3	600	0,232	0	1,366	A

### OBSERVACIÓN

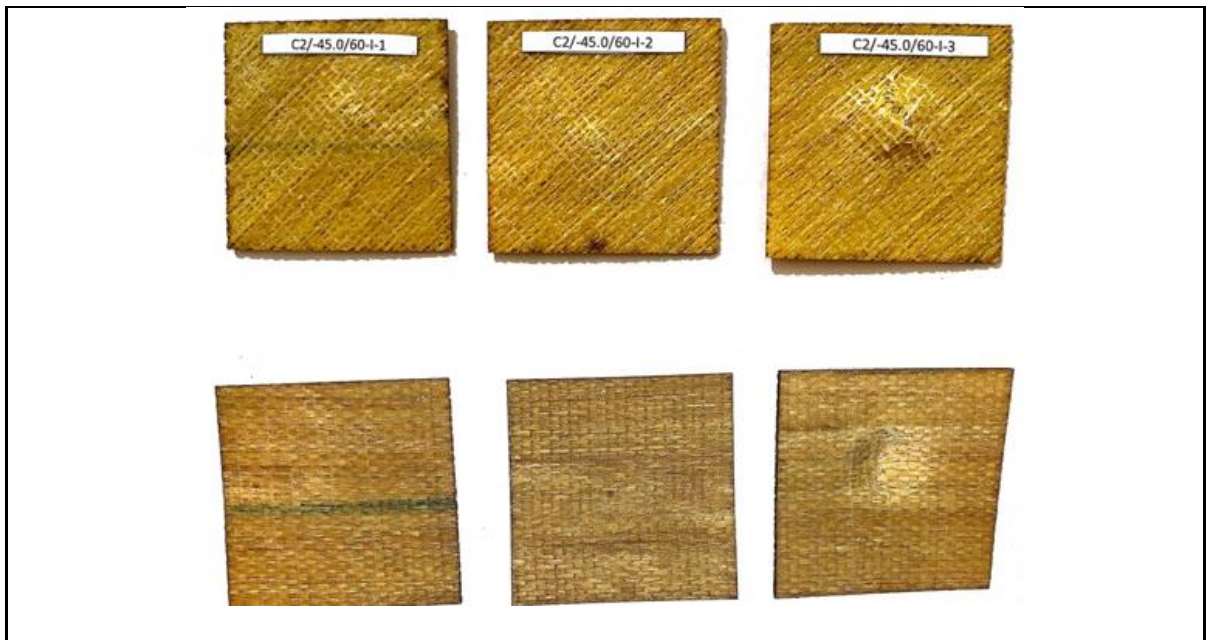
A una altura media de falla de 600mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 1,366 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo A.

Elaborado:	Revisado, aprobado, validado por:
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3.32 Ficha técnica de material compuesto, caso 2 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C2/-45.0/60-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°, 0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,232	0,247	1,410	D
2	400	0,232	0,247	1,880	D
3	500	0,232	0,247	2,349	A

### OBSERVACIÓN

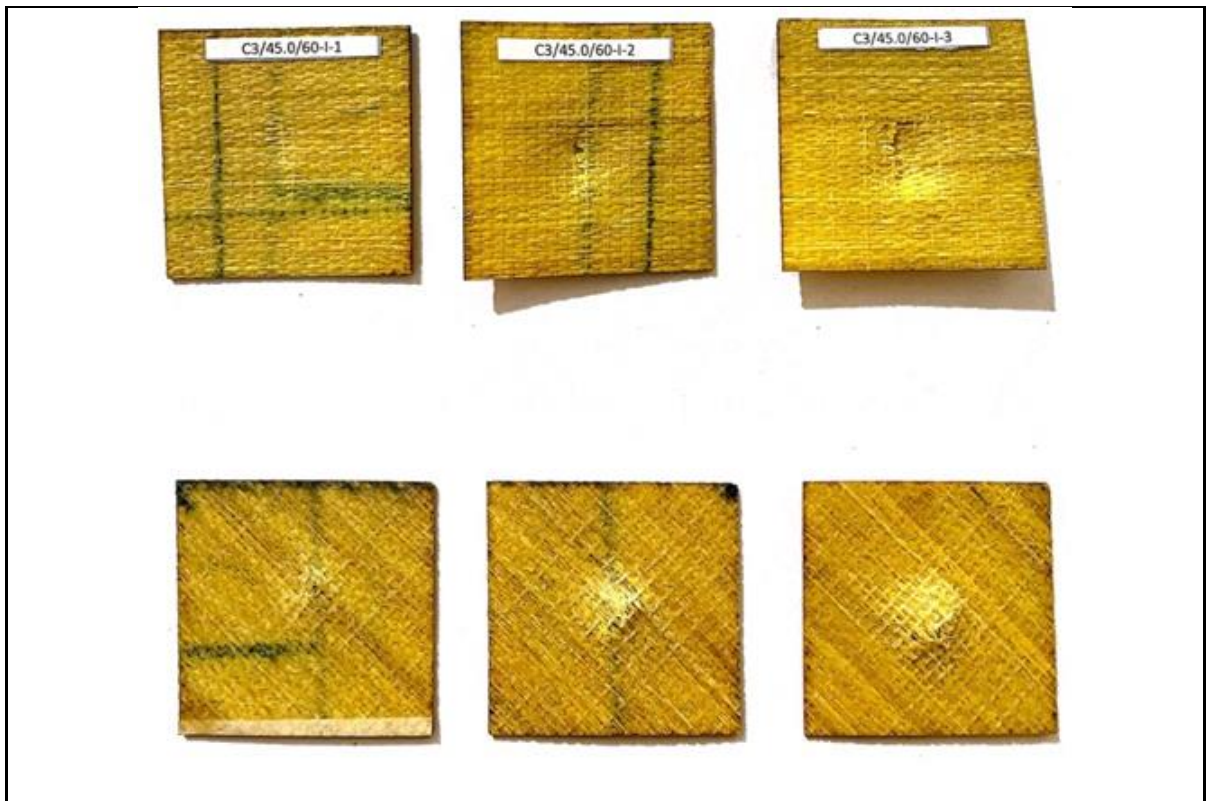
A una altura media de falla de 500 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 2,349 J, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo A.

Elaborado:	Revisado, aprobado, validado por:
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3.33 Ficha técnica de material compuesto, caso 3 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C3/45.0/60-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°, 0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,232	0,247	0,940	D
2	400	0,232	0,247	1,880	A
3	600	0,232	0,247	2,819	A

### OBSERVACIÓN

A una altura media de falla de 400mm y 600mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 1,880 y 2,819 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento, pero no ruptura.

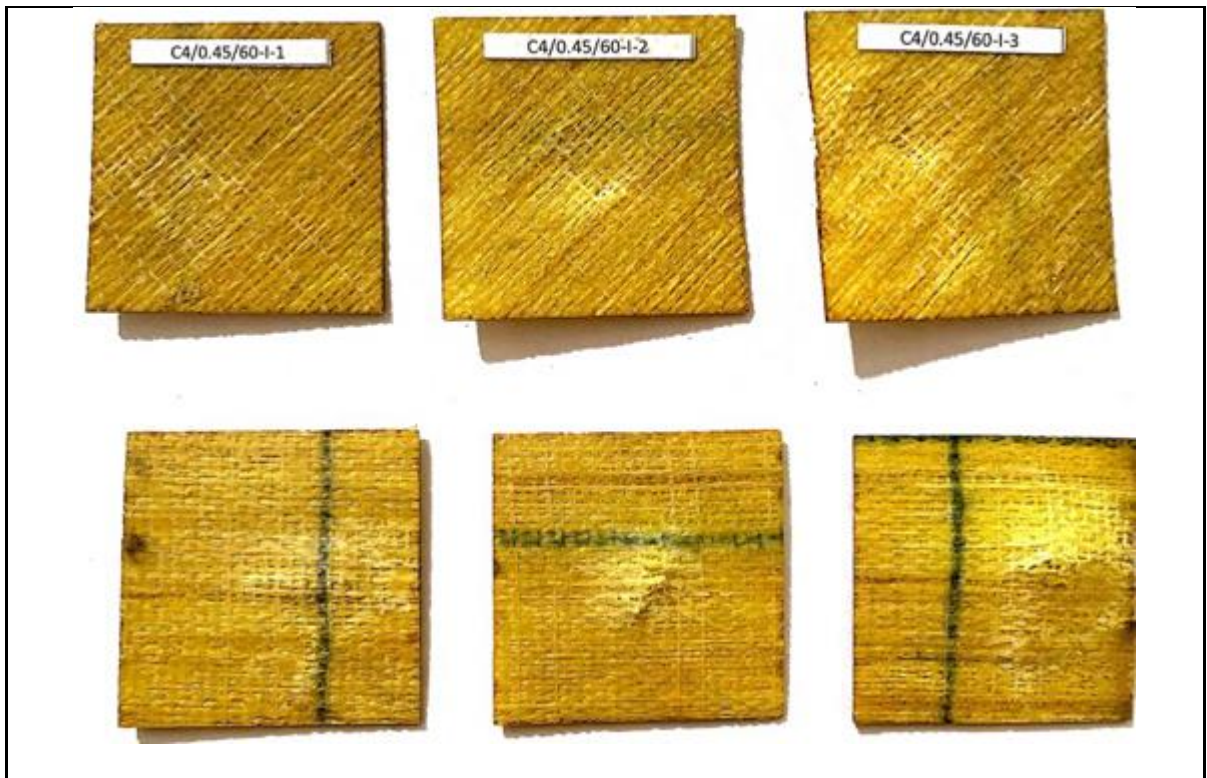
<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

**Fuente:** Autor



Tabla 3.34 Ficha técnica de material compuesto, caso 4 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C4/0.45/60-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	60°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	400	0,232	0,247	1,880	D
2	600	0,232	0,247	2,819	A
3	800	<b>0,232</b>	<b>0,247</b>	<b>3,759</b>	A

### OBSERVACIÓN

A una altura media de falla de 600mm y 800mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 2,819 y 3,759 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento, pero no ruptura.

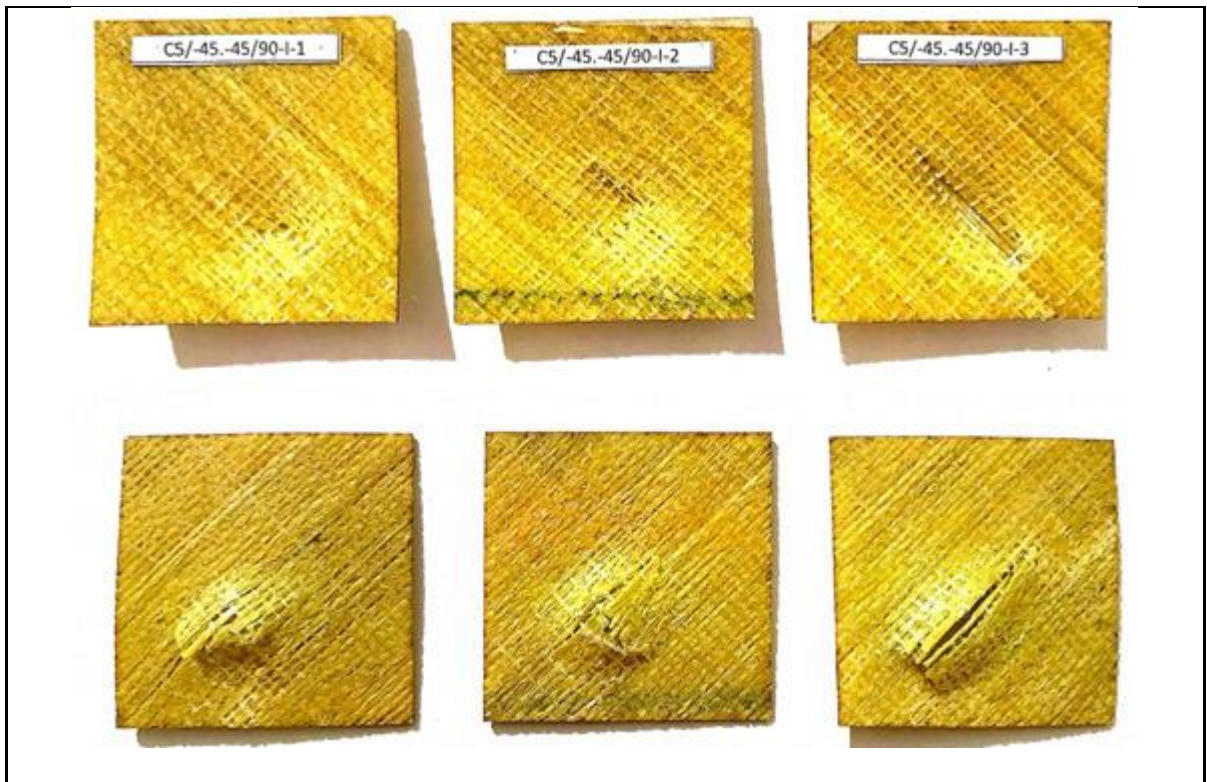
<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor



Tabla 3.35 Ficha técnica de material compuesto, caso 5 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>			
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C5/-45.-45/90-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°, -45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
<b>1</b>	400	0,232	0,253	1,903	A
<b>2</b>	600	0,232	0,253	2,855	A
<b>3</b>	<b>800</b>	<b>0,232</b>	<b>0,253</b>	<b>3,806</b>	<b>A</b>

### OBSERVACIÓN

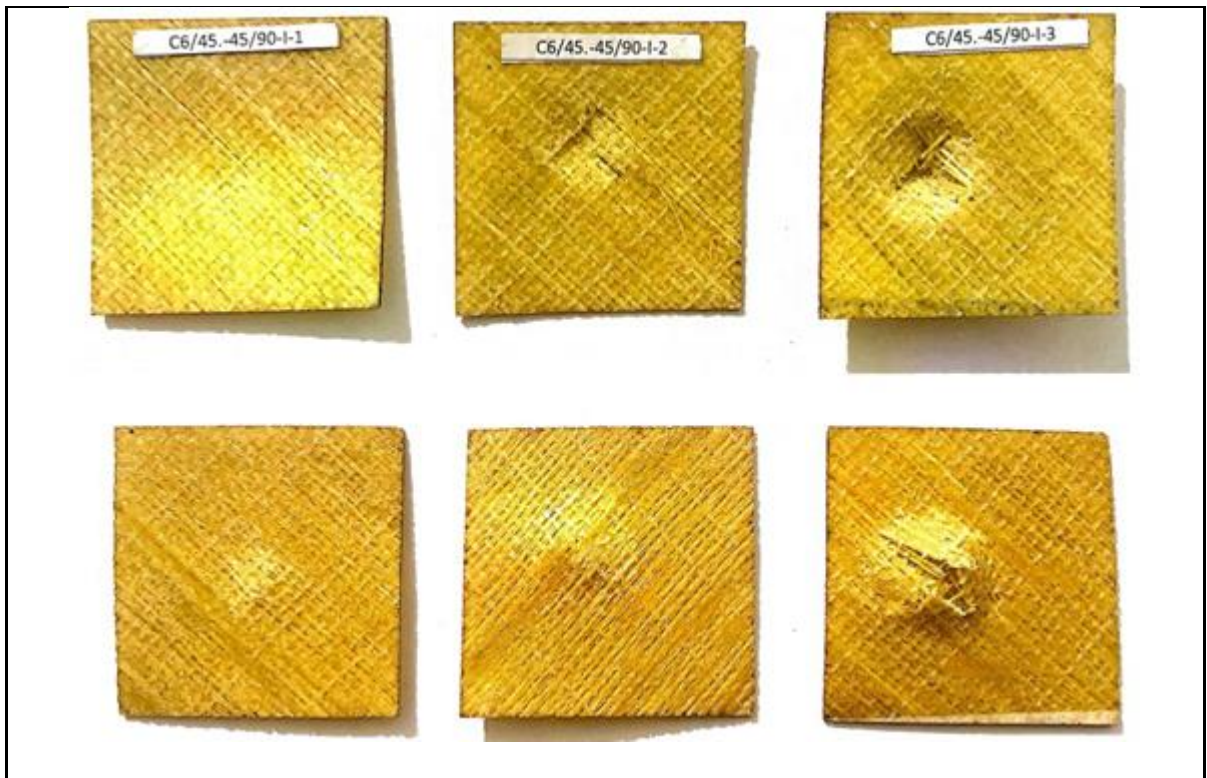
En este caso 5 el tipo del fallo producido en las 3 probetas es de tipo A, debido a que en las 3 probetas hay hundimiento y ruptura.

<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3.36 Ficha técnica de material compuesto, caso 6 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C6/45.-45/90-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°, -45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,232	0,264	0,973	D
2	400	0,232	0,264	1,946	A
3	600	0,232	0,264	2,919	A

### OBSERVACIÓN

A una altura media de falla de 400mm y 600 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 1,946 y 2,919 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y con fisura en la probeta 2 y hundimiento y ruptura en la probeta 3.

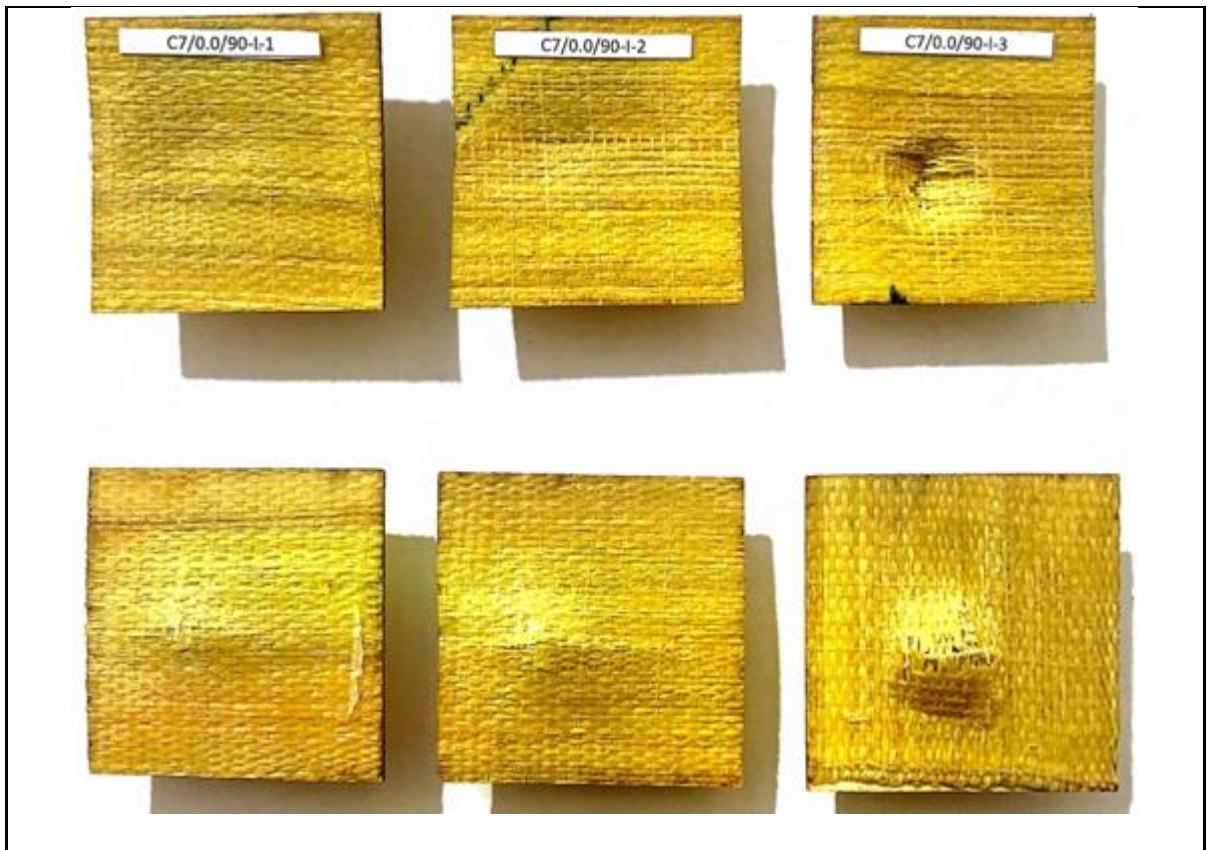
<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

**Fuente:** Autor

Tabla 3.37 Ficha técnica de material compuesto, caso 7 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C7/0.0/90-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					





### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	600	0,232	0,264	2,919	C
2	700	0,232	0,264	3,406	A
3	800	0,232	0,264	3,893	A

### OBSERVACIÓN

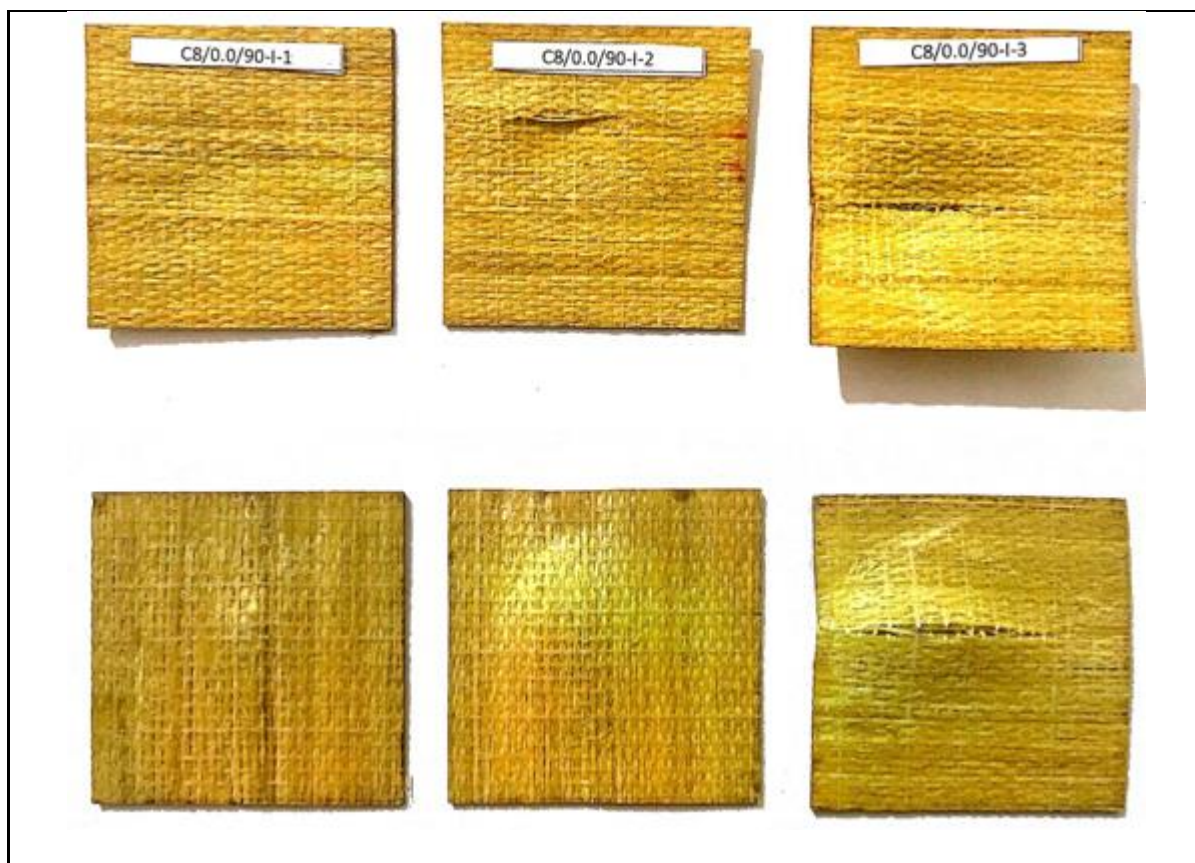
A una altura media de falla de 700mm y 600mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 3,406 y 3,893 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento con fisura en la probeta 2 y hundimiento con ruptura en la probeta 3.

<b>Elaborado:</b> Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b> Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
---	--

Fuente: Autor

Tabla 3.38 Ficha técnica de material compuesto, caso 8 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>			
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C8/0.0/90-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	600	0,232	0,353	3,443	D
2	700	0,232	0,353	4,017	A
3	800	0,232	0,353	4,592	A

### OBSERVACIÓN

A una altura media de falla de 700mm y 600mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 4,017 y 4,592 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

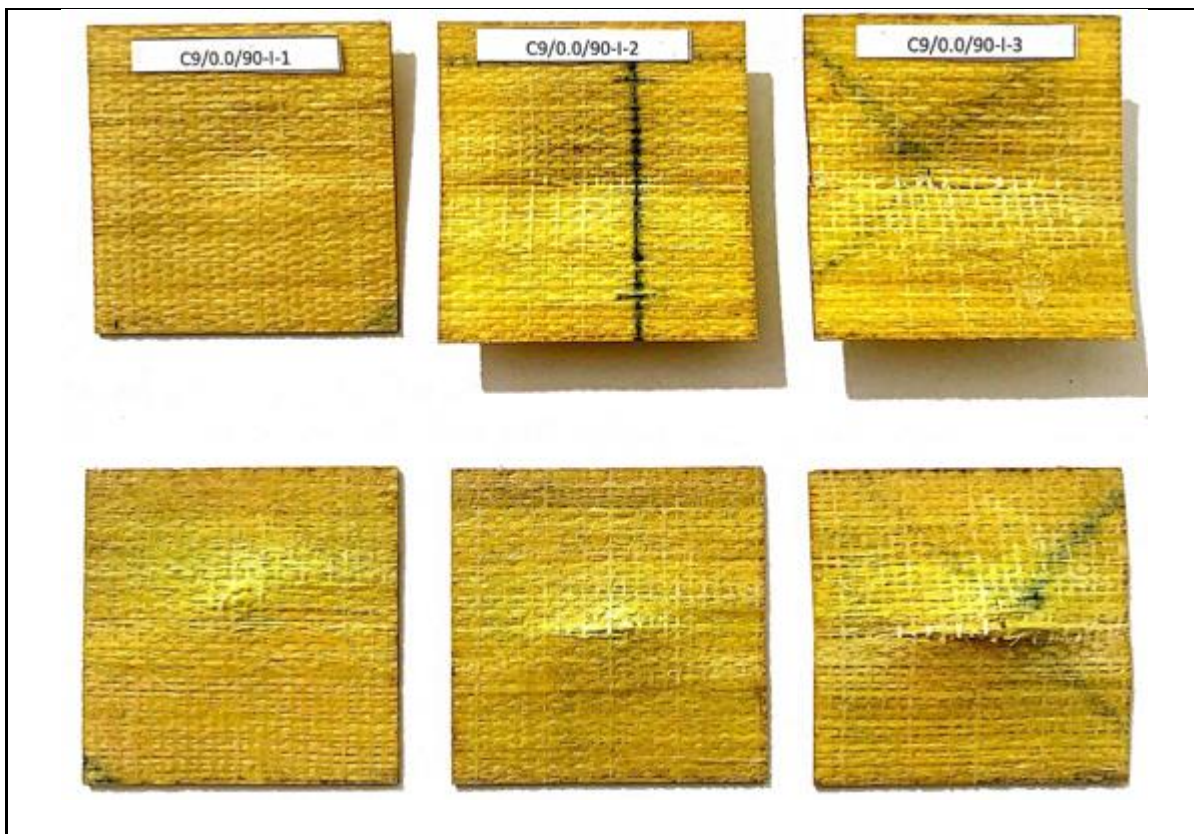
<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor



Tabla 3.39 Ficha técnica de material compuesto, caso 9 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C9/0.0/90-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,232	0,353	1,722	C
2	400	0,232	0,353	2,296	B
3	600	0,232	0,353	3,443	A

### OBSERVACIÓN

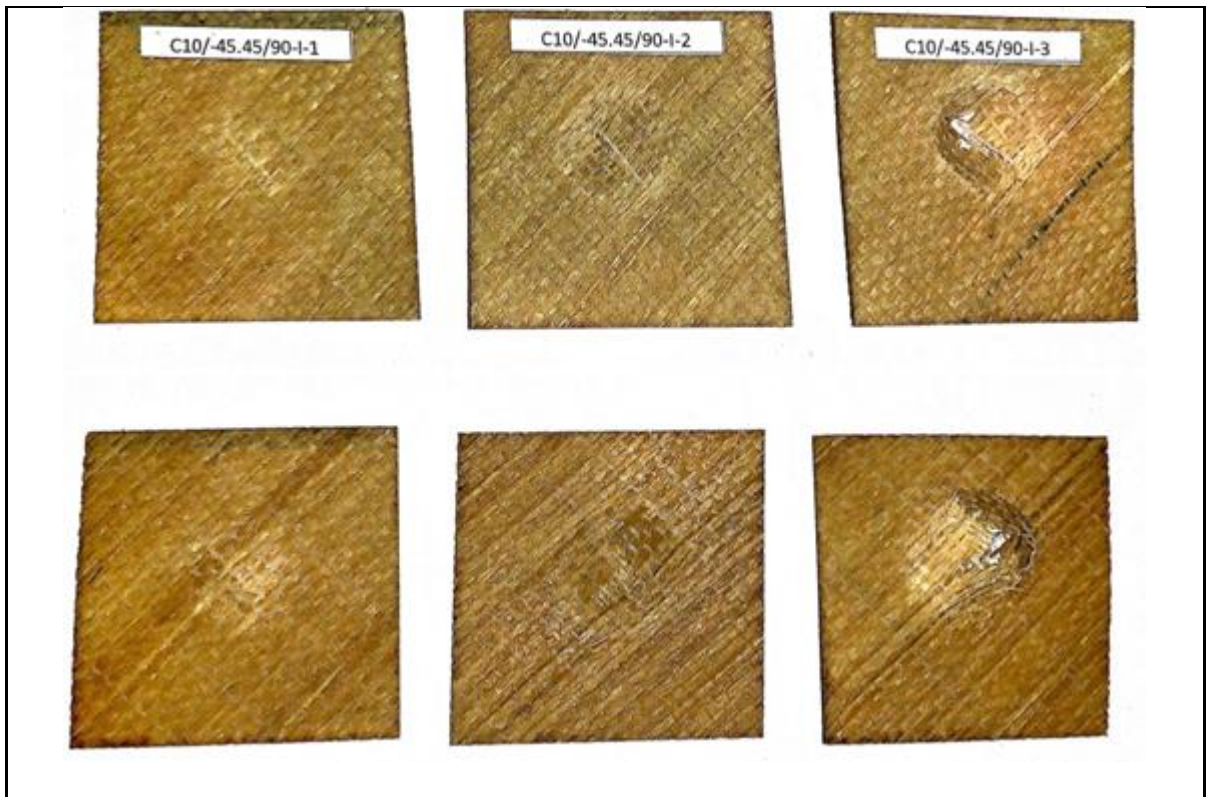
En la probeta 2 a una altura media de falla de 400 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 2,296 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo B debido a que hay fisura y en la probeta 3 a una altura media de falla de 600 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 3,443 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3.40 Ficha técnica de material compuesto, caso 10 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C10/-45.45/90-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,232	0,439	1,317	C
2	400	0,232	0,439	2,633	A
3	600	0,232	0,439	3,950	A

### OBSERVACIÓN

A una altura media de falla de 400mm y 600mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 2,633 y 3,950 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

Elaborado:	Revisado, aprobado, validado por:
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3.41 Ficha técnica de material compuesto, caso 11 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
		<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>			
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C11/45.45/90-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	90°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					





### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,232	0,439	1,975	C
2	400	0,232	0,439	2,633	B
3	500	0,232	0,439	3,291	A

### OBSERVACIÓN

En la probeta 2 a una altura media de falla de 400 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 2,633 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo B debido a que hay fisura y en la probeta 3 a una altura media de falla de 500 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 3,291 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

Elaborado:	Revisado, aprobado, validado por:
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3.42 Ficha técnica de material compuesto, caso 12 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C12/0.-45/120-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,232	0,439	1,317	C
2	400	0,232	0,439	2,633	A
3	600	0,232	0,439	3,950	A

### OBSERVACIÓN

A una altura media de falla de 400mm y 600mm , con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 2,633 y 3,950 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

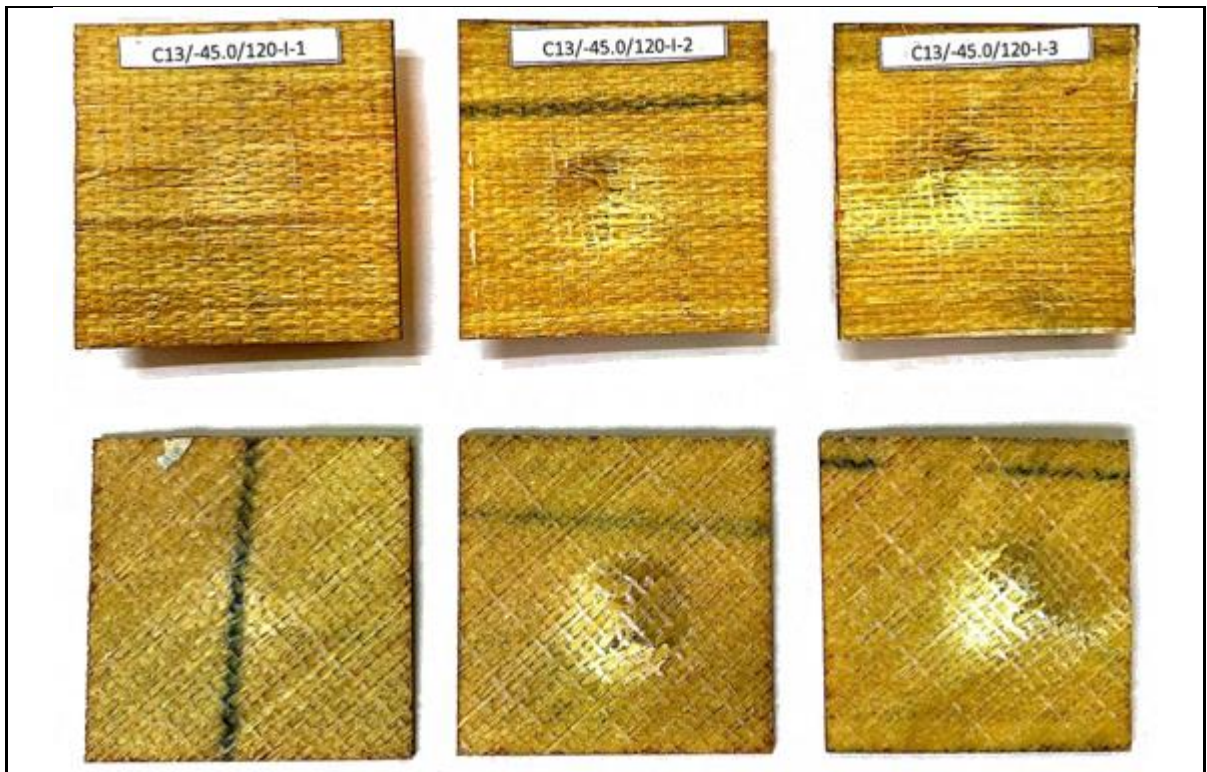
<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

**Fuente:** Autor



Tabla 3.43 Ficha técnica de material compuesto, caso 13 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C13/-45.0/120-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	-45°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,232	0,439	1,317	D
2	400	0,232	0,439	2,633	A
3	500	0,232	0,439	3,291	A

### OBSERVACIÓN

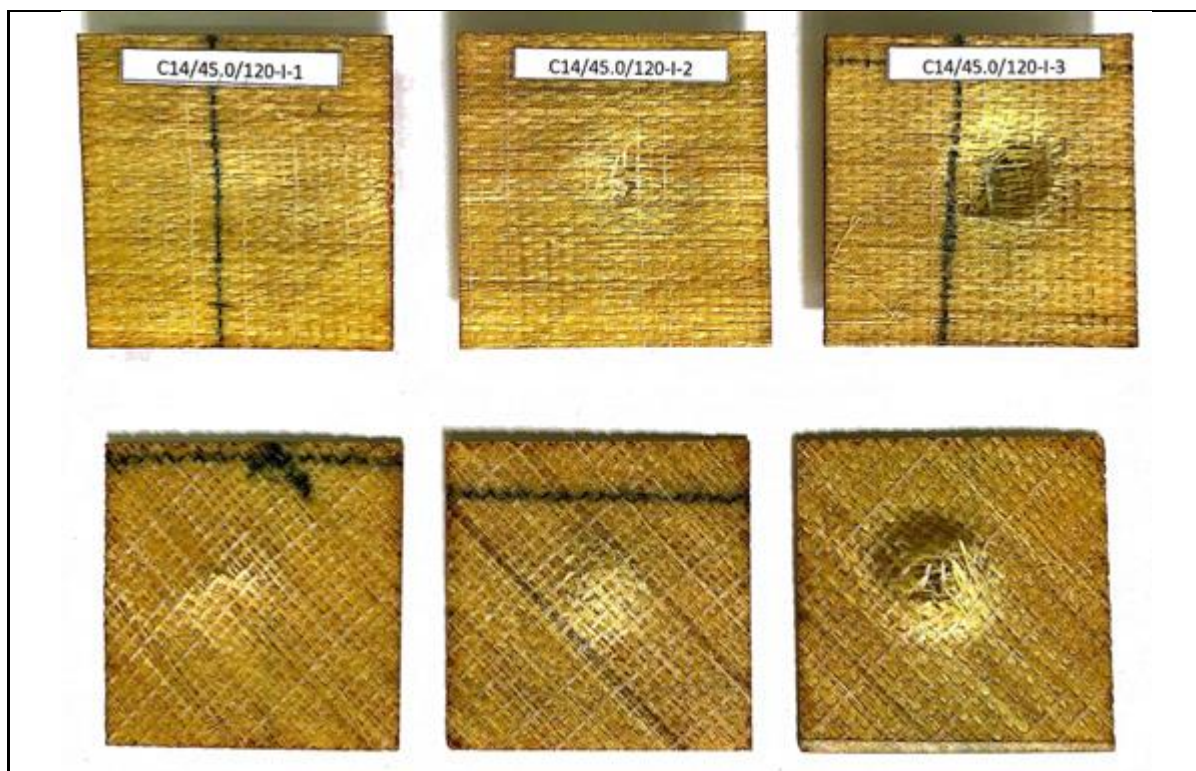
A una altura media de falla de 400mm y 500mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de falla de 2,633 y 3,291 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

<b>Elaborado:</b> Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b> Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
---	--

Fuente: Autor

Tabla 3.44 Ficha técnica de material compuesto, caso 14 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>			
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>					
<b>IMPACTO ASTM D5628-10</b>					
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>					
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C14/45.0/120-I		
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador				
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío
<b>Orientación de fibra:</b>	45°,0°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>					



### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,232	0,439	1,975	C
2	400	0,232	0,439	2,633	A
3	500	0,232	0,439	3,291	A

### OBSERVACIÓN

En la probeta 2 a una altura media de falla de 400 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de fallo de 2,633 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 2 es de tipo A debido a que hay fisura y en la probeta 3 a una altura media de falla de 500 mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de fallo de 3,291 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en la probeta 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

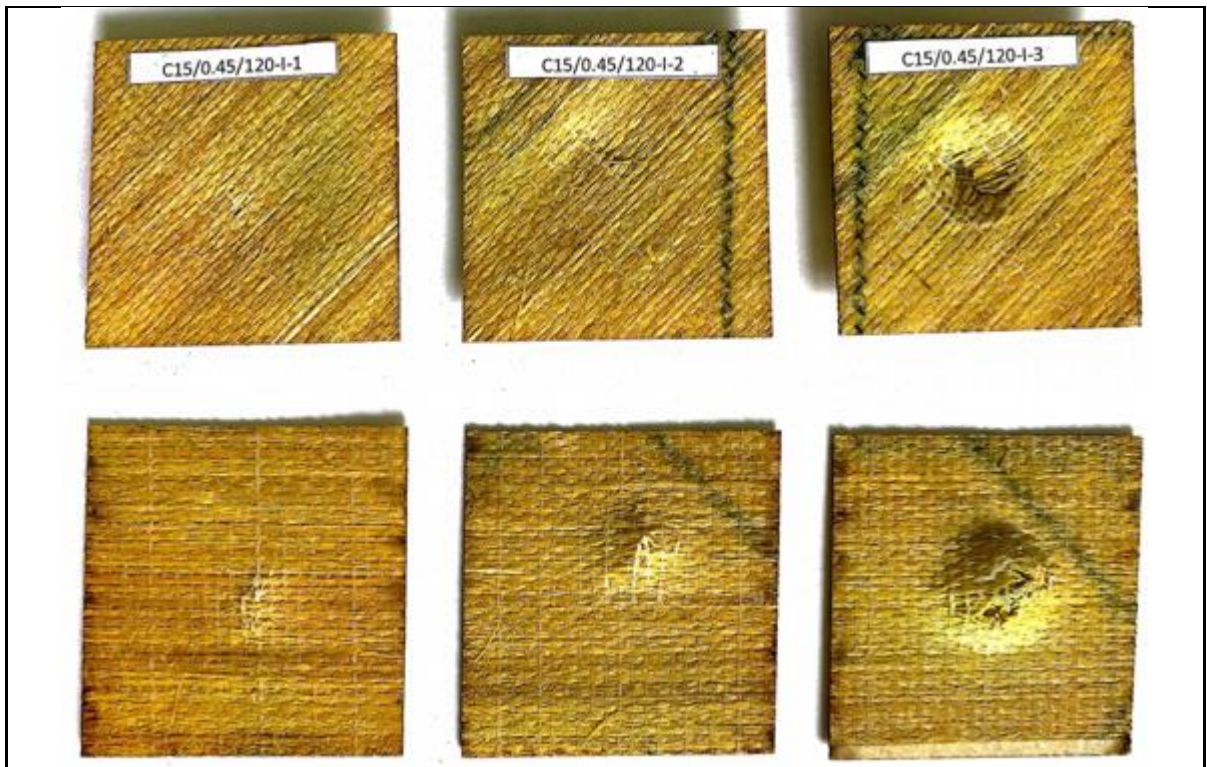
Elaborado:	Revisado, aprobado, validado por:
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3.45 Ficha técnica de material compuesto, caso 15 a impacto

		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA</b> <b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>					
<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS</b>							
<b>IMPACTO_ASTM D5628-10</b>							
<b>DATOS INFORMATIVOS</b>							
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	C15/0.45/120-I				
<b>Fecha de ejecución:</b>	04/05/2021	<b>Equipo:</b>	Máquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Realizado por:</b>	Jhonny Plasencia	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.				
<b>Lugar:</b>	Centro de Transferencia y Tecnología (UTA). Ambato-Ecuador						
<b>PARÁMETROS DE ENSAYO</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina Epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628-10	<b>Número de probetas:</b>	3		
<b>Marca:</b>	Aeropoxi PR2032	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz (gr):</b>	16		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Temperatura de curado (°C):</b>	120°	<b>Estratificación :</b>	Al vacío		
<b>Orientación de fibra:</b>	0°,45°	<b>Orden de Capas:</b>	FCH+FCH	<b>Espesor promedio (mm):</b>	1,5		
<b>Peso de la fibra (gr):</b>	15,68	<b>Tipo de medición:</b>	Energía Media de Impacto (J)	<b>Tiempo de curado:</b>	2h en horno		
<b>PROBETAS ENSAYADAS</b>							





### RESULTADOS

N° de probeta	Altura media de falla (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía de fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,232	0,439	1,317	C
2	300	0,232	0,439	1,975	A
3	400	0,232	0,439	2,633	A

### OBSERVACIÓN

A una altura media de falla de 300mm y 400mm, con una masa aplicada de 0,232 kg y una energía de fallo de 1,975 y 2,633 J respectivamente, se puede observar que el tipo de falla producida en las probetas 2 y 3 es de tipo A, debido a que hay hundimiento y ruptura.

<b>Elaborado:</b>	<b>Revisado, aprobado, validado por:</b>
Sr. Jhonny Michael Plasencia Tercero	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

### 3.2. Análisis y discusión de los resultados

En la tabla 3.46, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto, con el cual se trabaja para la obtención de los resultados de la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

Tabla 3.46. Propiedades mecánicas de tracción, flexión e impacto.

<b>RESULTADO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO</b>									
<b>Factor es</b>	<b>Propiedades mecánicas a tracción</b>				<b>Propiedades mecánicas a flexión</b>				<b>Impacto</b>
	<b>Carg a Máxima (N)</b>	<b>Esf. Máximo (Mpa)</b>	<b>Mód. Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Carg a Máxima (N)</b>	<b>Esf. Máximo (Mpa)</b>	<b>Mód. Elasticidad (Mpa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Energía de fallo (J)</b>
<b>Caso 1</b>	1380	38,49	1390	6,07	9,27	23,77	943	10,73	1,366
	1480	37,64	1330	6,01	8,17	23,04	2300	9,29	
	1160	34,06	1470	5,07	7,01	19,05	1240	9,4	
<b>Caso 2</b>	1400	35,25	1260	6,21	9,27	15,68	941	10,53	2,349
	1320	32,22	1220	6,99	8,17	12,35	336	9,83	
	1560	38,9	2530	5,29	7,01	21,30	720	13,23	
<b>Caso 3</b>	1360	37,48	1380	8,23	7,16	16,98	1500	8,72	2,819
	1100	30,7	1400	5,37	7,29	17,06	1660	9,61	
	1140	30,55	1340	6,48	8,35	19,30	1200	9,48	
<b>Caso 4</b>	1580	40,34	2450	5,74	7	18,14	964	9,81	3,759
	1900	48,47	2810	3,82	10,07	21,4	1100	10,07	
	1680	43,72	2630	6,05	9,86	22,53	947	9,96	
<b>Caso 5</b>	310	6,82	70,32	93,72	5,23	14,18	919	9,92	3,806
	300	6,94	3127	96,36	7,29	19,66	974	8,31	
	330	9,73	206,7	99,3	5,11	12,24	650	8,48	
<b>Caso 6</b>	310	7,53	872,2	5,46	6,49	13,03	565	9,56	2,919
	310	7,1	983,9	39,3	7,87	17,27	579	9,47	
	370	8,07	958,8	11,44	6,24	14,26	736	9,71	
<b>Caso 7</b>	2360	55,39	2970	7,17	11,06	32,27	2040	6	3,893
	2300	60,05	4360	5,85	19,26	48,79	3790	8,53	
	2060	47,82	4380	4,6	16,06	44,4	3210	7,23	
<b>Caso 8</b>	2060	59,14	5160	4,97	17,77	45,05	2220	8,23	4,592
	2720	65,18	4370	8,58	20,53	49,21	2220	7,12	
	3140	79,21	3430	7,89	24,73	44,92	2570	7,7	
<b>Caso 9</b>	2440	63,01	1110	7,07	15,75	52,66	3330	10,11	3,443
	2340	61,3	1750	7,43	15,15	45,38	3850	6,35	

	2400	63,19	4230	5,9	22,51	56,28	3650	6,11	
<b>Caso 10</b>	300	7,3	796,8	3,36	6,56	12,88	660	9,15	3,95
	300	7,41	810,1	4,27	6,88	12,91	706	11,31	
	270	6,35	785,9	1,31	5,03	11,04	473	13,36	
<b>Caso 11</b>	340	8,44	652,7	61,64	7,27	18,35	1370	9,08	3,291
	280	6,78	558,5	17,16	5,14	11,22	561	10,13	
	290	7,68	371,3	51,02	7,87	21,34	1350	8,58	
<b>Caso 12</b>	1440	35,74	750	8,43	8,89	20,04	1100	10,22	3,95
	1520	38,04	2570	6,56	8,67	20,56	804	9,97	
	1660	42,17	900	9,11	9,25	19,78	984	10,01	
<b>Caso 13</b>	1560	39,94	510	8,86	7,7	23,86	1320	9,98	3,291
	1340	33,78	1260	5,8	9,63	24,41	598	10,16	
	1680	42,14	2620	6,68	15,15	27,39	830	11,16	
<b>Caso 14</b>	1420	37	1300	5,99	9,55	21,18	648	10,94	3,291
	1360	36,57	1340	5,7	10,51	26,52	1520	10,26	
	1460	37,47	2310	6,23	9,28	21,04	806	10,28	
<b>Caso 15</b>	1300	32,22	1240	7,52	8,98	19,53	829	8,89	2,633
	1120	28,67	1280	5,07	10,51	21,45	778	10,33	
	1340	33,9	1260	7,03	9,38	21,63	1130	10,77	

Fuente: Autor

### 3.2.3. Verificación de supuestos paramétricos

#### Prueba de Normalidad

Para verificar la distribución de normalidad de los datos se aplica la prueba de Anderson Darling, en la cual se establece las significancias de la prueba con las significancias establecida, puesto que los datos deben cumplir el supuesto de normalidad para no rechazar la hipótesis nula es necesario que el valor-p sea  $>0,005$ .

#### Igualdad de varianzas

Se efectúa para constatar que los tratamientos de los residuos del trabajo experimental tengan varianzas iguales, para identificar la significancia calculada y predefinida la prueba de Levene es la que nos ayuda a contrastar lo manifestado.

#### Independencia de residuos



Por lo general este supuesto se efectúa cuando la corrida de los datos se genera de manera aleatoria, además, otra forma efectiva de corroborar la dependencia de los datos es efectuar un análisis visual y observar la gráfica como se muestra en la figura ...

### 3.2.4. Análisis del Ensayo a Tracción

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

Se ejecuta el análisis de superficie de respuesta del ensayo a tracción para el esfuerzo máximo a la tracción ( $S_{ut}$ ), para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interacciones de hasta segundo grado. Además, se contrasta la significancia de cada término, así como también el cumplimiento de los supuestos. Cabe destacar que, si este último no se efectuara, se procedería a transformar los datos ejecutando la transformación de Box-Cox. Sin embargo, existen casos en los que los datos no se comportan de forma normal debido a diversos factores, entonces se verifica los supuestos en la gráfica de residuos a criterio del investigador. Como se muestra a continuación.

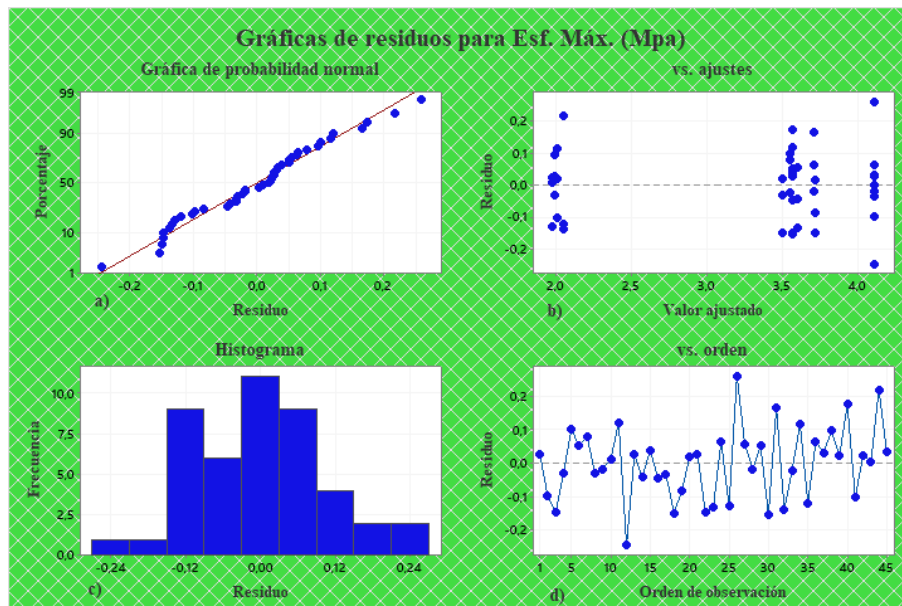


Figura 3.1 Análisis de residuos del  $S_{ut}$ : a) Gráfica de probabilidad normal, b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Gráfica de histograma, d) Gráfica de residuos vs orden

Fuente: Minitab

En la gráfica 3.1 se puede observar la gráfica de probabilidad normal el cual se puede notar un patrón normal y distribuido de los datos del  $S_{ut}$ , ya que existe un marcado acercamiento de los puntos a la pendiente, con esto se asegura que los datos tiene distribución normal, además, se puede también observar la gráfica de residuos vs ajustes de donde se verifica el supuesto de igualdad de varianza, finalmente se verifica la independencia de residuos mediante la gráfica de residuos vs orden, la misma que no presentan tendencias o patrones.

### Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.47 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el  $S_{ut}$

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos del ensayo de tracción en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	$H_1$ : “Los datos del ensayo de tracción en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan presenta igualdad de varianza”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
<b>Estadístico de prueba:</b>	Levene= 0,91		<b>Valor-p= 0,549</b>
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del ensayo de tracción de material compuesto de matriz epóxica existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

### Análisis de varianza

Se efectuar un análisis inicial incluyendo todos los términos de un modelo cuadrático completo con el fin de generar el diagrama de Pareto donde se analizan los efectos

significativos con el propósito de descartar efectos que no influyen significativamente en el  $S_{ut}$ . Donde se rescata que la interacción de la OC1, OC2, Temperatura de curado y la interacción entre OC2 y Temperatura de curado influyen significativamente.

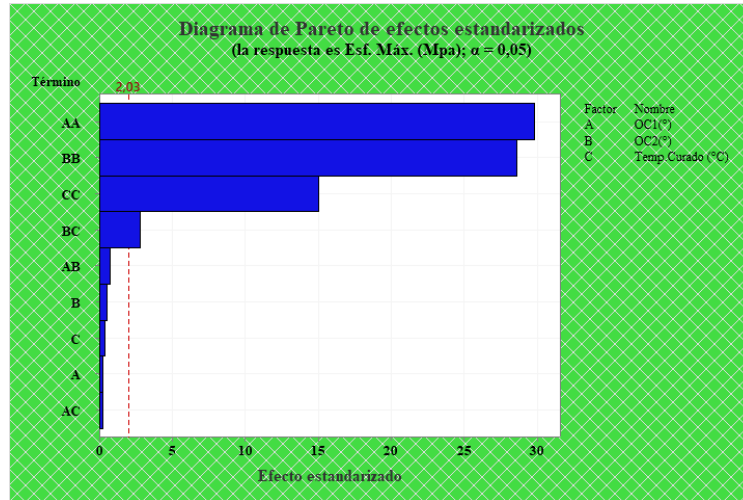


Figura 3.2 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el  $S_{ut}$ .

Fuente: Minitab

Para entender cómo cada parámetro afecta en el  $S_{ut}$  se examina la gráfica normal de efectos estandarizados en la figura 3.2, se puede observar cómo los efectos significativos de las interacciones toman un valor apreciable para el análisis del esfuerzo de tracción, es así que conforme sube la interacción de OC1, OC2 y Temp. Curado la resistencia a la tracción aumenta.

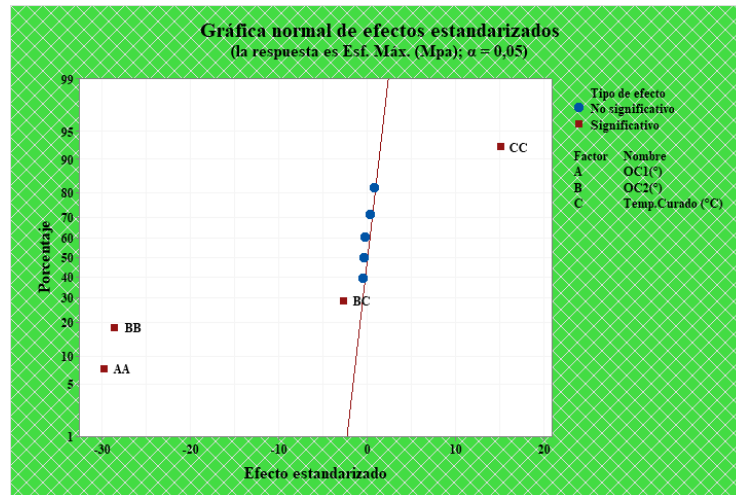


Figura 3.3 Análisis de efectos significativos del  $S_{ut}$ .

Fuente: Minitab

La tabla 3.47 muestra el análisis de ANOVA para el  $S_{ut}$ , en el cual se visualiza la variabilidad presente en los datos, el mismo que se observa la existencia de diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando la significancia calculada y definida de 0,0 y 0,05 respectivamente, además, se entiende que el modelo explica un ajuste del 97,8% de la variabilidad del  $S_{ut}$ .

Tabla 3.48 Análisis de ANOVA para el  $S_{ut}$

Fuente	G. L	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor- p
Modelo	9	28,1875	3,1319	218,51	0,000
Lineal	3	0,0079	0,0026	0,18	0,906
OC1(°)	1	0,0011	0,0011	0,08	0,784
OC2(°)	1	0,0045	0,0045	0,32	0,577
Temp. Curado (°C)	1	0,0023	0,0023	0,16	0,690
Cuadrado	3	28,0593	9,3531	652,55	0,000
OC1(°) *OC1(°)	1	12,7512	12,7512	889,63	0,000
OC2(°) *OC2(°)	1	11,7311	11,7311	818,46	0,000
Temp. Curado (°C) *Temp. Curado (°C)	1	3,2219	3,2219	224,79	0,000
Interacción de 2 factores	3	0,1202	0,0401	2,80	0,054
OC1(°) *OC2(°)	1	0,0081	0,0081	0,56	0,457
OC1(°) * Temp. Curado (°C)	1	0,0011	0,0011	0,08	0,785
OC2(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,1110	0,1110	7,75	0,009

Error	35	0,5017	0,0143		
Falta de ajuste	3	0,1038	0,0346	2,78	0,057
Error puro	32	0,3978	0,0124		
Total	44	28,6892			

Fuente: Minitab

Para entender de manera más específica el análisis de la tabla anterior, se expone la gráfica de efectos principales y de interacción, la primera detallada en la figura 3.4, indica que los efectos de los dos factores de la OC1 con la OC2 son significativos sobre el esfuerzo máximo, gráficamente se los compara tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que está presente. Sin embargo, la Temp. Curado no presenta esta característica por lo que se entiende que no presenta efecto significativo.

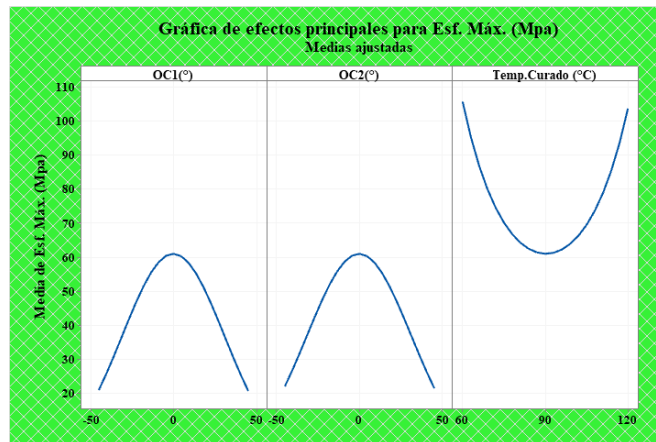


Figura 3.4 Análisis de efectos principales para el  $S_{ut}$

Fuente: Minita

Se pueden visualizar los efectos de interacción en la gráfica 3.5 presente en el modelo final analizado, de esta gráfica se entiende una notable diferencia entre pendientes de las líneas en una misma gráfica de interacción correspondiente, a cada factor, pues indican que existe efectos de interacción estadística significativa. Es así que son significativos los efectos de interacción entre: la OC1 versus la OC2 y la OC2 versus la TEMP. CURADO, tienen efectos significativos sobre el  $S_{ut}$ .

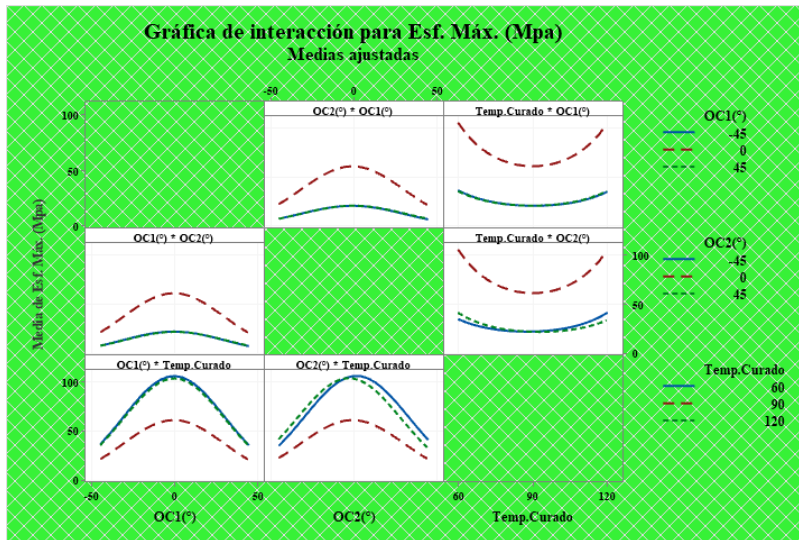


Figura 3.5 Análisis de interacciones para el  $S_{ut}$

Fuente: Minitab

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de varianza ANOVA es necesario examinar las superficies de respuesta presentes en la figura 3.6, donde se observa el comportamiento del esfuerzo máximo a la tracción respecto a cada de factor de entrada empleados en el análisis.

En esta gráfica que combina los factores continuos especificados anteriormente se observa que el punto en el que se obtiene el valor más alto de esfuerzo máximo es la combinación de una orientación de cero grados para la OC1 versus OC2. Sin embargo, analizando la gráfica **b** se puede observar que la mayor resistencia vamos a obtener al combinar la orientación de cero grados con una temperatura de curado de 60 y 120 grados centígrados, por otro lado esto se replica en la gráfica **c**.

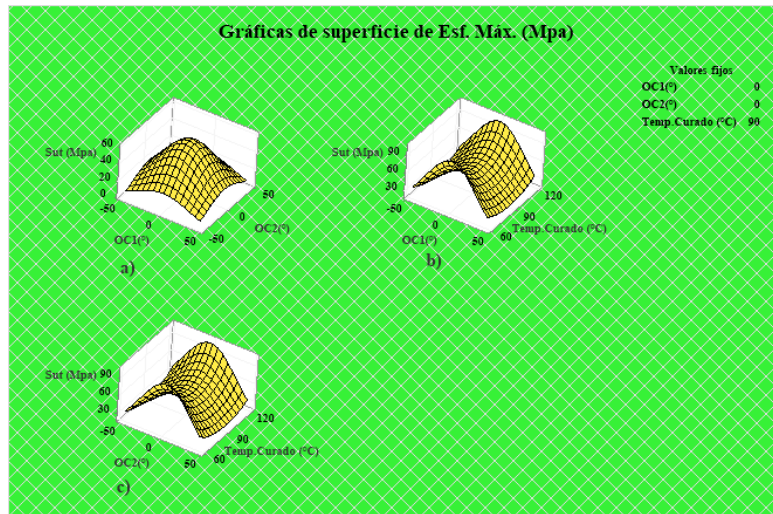


Figura 3.6 Gráfica de superficie de respuesta para el  $S_{ut}$

Fuente: Minitab

### Optimización del esfuerzo máximo a la tracción

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los factores analizados de esta manera definir una única combinación como óptimo para el  $S_{ut}$ , esto se representa en la figura 3.7. cabe destacar que la base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

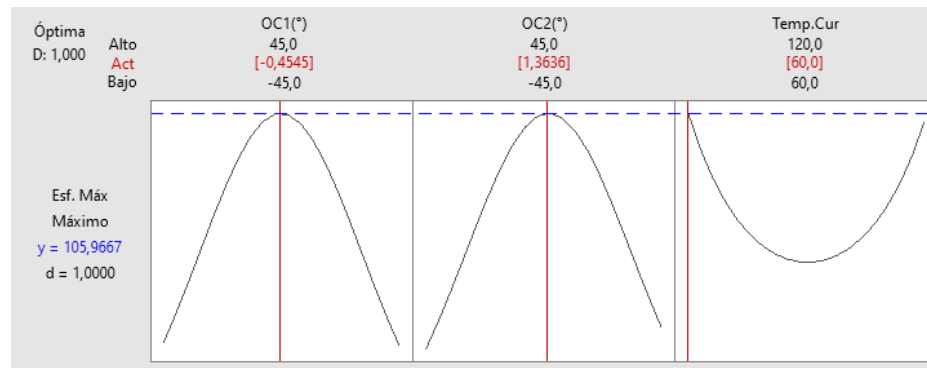


Figura 3.7 Análisis de optimización para el  $S_{ut}$

Fuente: Minitab

El punto óptimo con los respectivos niveles de cada factor se muestra en la tabla 3.49 los parámetros optimizados son orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado.

Tabla 3.49 Valores predichos del punto óptimo del  $S_{ut}$

<b>Factores</b>	Orientación 1	-0,4545
	Orientación 2	1,3636
	Temperatura de curado	60
<b>Respuesta</b>	Esf. Max. $S_{ut}$ (MPa)	105,967

Fuente: Autor

### 3.2.4.2. Análisis del Módulo de Elasticidad

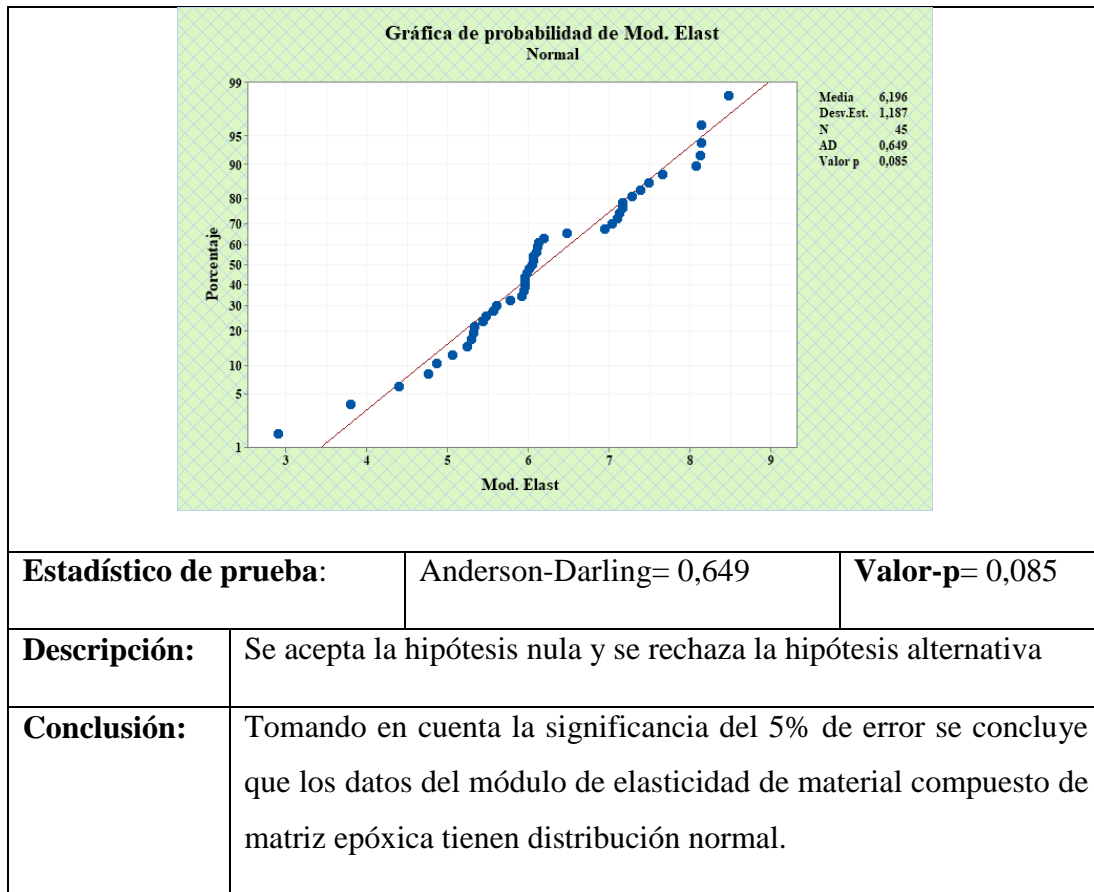
Para en análisis del Módulo de Elasticidad ( $E$ ), se emplea un modelo con términos cuadráticos e interacciones de hasta segundo grado. Además, se contrasta la significancia de cada término, así como también el cumplimiento de los supuestos. Cabe destacar que, si este último no se efectuara, se procedería a transformar los datos ejecutando la transformación de Box-Cox.

### Prueba de normalidad

Tabla 3.50 Verificación del supuesto de Normalidad para el Módulo de Elasticidad a Tracción

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan distribución normal”.		
	$H_1$ : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan distribución normal”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$





### Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.51 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el módulo de Elasticidad a tracción

<b>Hipótesis</b>	<b>H<sub>0</sub></b> : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.
	<b>H<sub>1</sub></b> : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan presenta igualdad de varianza”.

<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
<b>Estadístico de prueba:</b>	Levene= 1,19		<b>Valor-p= 0,333</b>
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del ensayo de tracción para el módulo de Elasticidad de material compuesto de matriz epóxica existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

### Verificación de residuos

Para validar este supuesto se analiza la gráfica de residuos figura 3.8, en el cual se puede observar que no existe un patrón definido con lo que podemos concluir que los datos tienen independencia de residuos, como se muestra en la figura

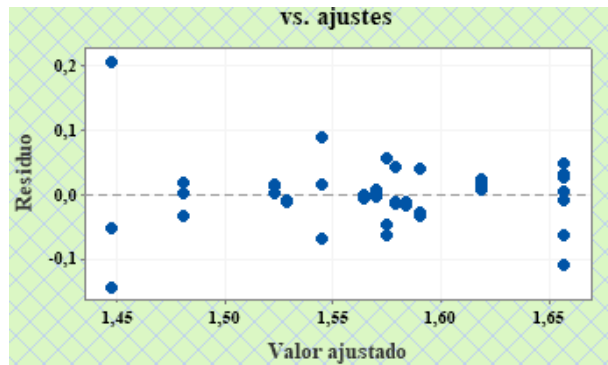


Figura 3.8 Gráfica de residuos vs ajustes del Módulo de Elasticidad.

Fuente: Minitab

### Análisis de varianza

Se efectuará un análisis inicial incluyendo todos los términos de un modelo cuadrático completo con el fin de generar el diagrama de Pareto donde se analizan los efectos significativos con el propósito de descartar efectos que no influyen significativamente en

el Módulo de Elasticidad. Donde se rescata que la interacción de la OC1 y OC2, influyen significativamente.

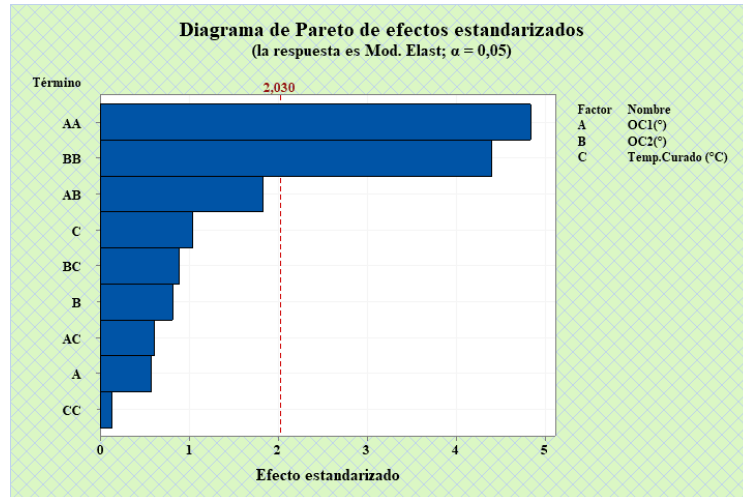


Figura 3.9 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el Módulo de Elasticidad.

Fuente: Minitab

Para entender cómo cada parámetro afecta en el Módulo de Elasticidad se examina la gráfica normal de efectos estandarizados en la figura 3.10, se puede observar cómo los efectos significativos de las interacciones toman un valor apreciable para el análisis del Módulo de Elasticidad, es así que conforme sube la interacción de OC1 y OC2 el módulo de elasticidad aumenta.

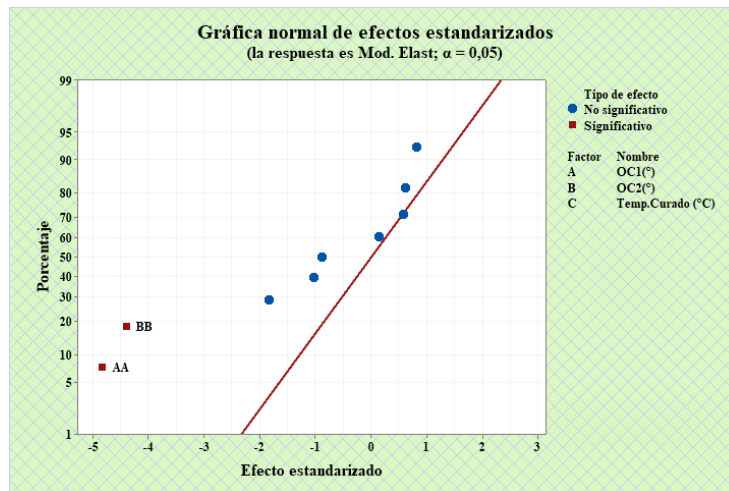


Figura 3.10 Análisis de efectos significativos del módulo de Elasticidad.

Fuente: Minitab

La tabla 3.52 muestra el análisis de ANOVA para el Módulo de Elasticidad, en el cual se visualiza la variabilidad presente en los datos, el mismo que se observa la existencia de diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando la significancia calculada y definida de 0,0 y 0,05 respectivamente, además, se entiende que el modelo explica un ajuste del 46,29% de la variabilidad del Módulo de Elasticidad.

Tabla 3.52 Análisis de ANOVA para el Módulo de Elasticidad

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor- p
Modelo	9	0,159868	0,017763	5,21	0,000
Lineal	3	0,007066	0,002355	0,69	0,564
OC1(°)	1	0,001138	0,001138	0,33	0,567
OC2(°)	1	0,002268	0,002268	0,67	0,420
Temp. Curado (°C)	1	0,003660	0,003660	1,07	0,307
Cuadrado	3	0,137417	0,045806	13,44	0,000
OC1(°) *OC1(°)	1	0,079567	0,079567	23,35	0,000
OC2(°) *OC2(°)	1	0,066020	0,066020	19,37	0,000
Temp. Curado (°C) *Temp. Curado (°C)	1	0,000063	0,000063	0,02	0,893
Interacción de 2 factores	3	0,015385	0,005128	1,50	0,230
OC1(°) *OC2(°)	1	0,011449	0,011449	3,36	0,075
OC1(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,001267	0,001267	0,37	0,546
OC2(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,002669	0,002669	0,78	0,382

Error	35	0,119264	0,003408		
Falta de ajuste	3	0,003619	0,001206	0,33	0,801
Error puro	32	0,115646	0,003614		
Total	44	0,279132			

Fuente: Minitab

Para entender de manera más específica el análisis de la tabla anterior, se expone la gráfica de efectos principales y de interacción, la primera detallada en la figura 3.11, indica que los efectos de los dos factores de la OC1 con la OC2 son significativos sobre el Módulo de Elasticidad, gráficamente se los compara tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que está presente. Sin embargo, la Temp. Curado presenta esta característica por lo que se entiende que presenta también efecto significativo.

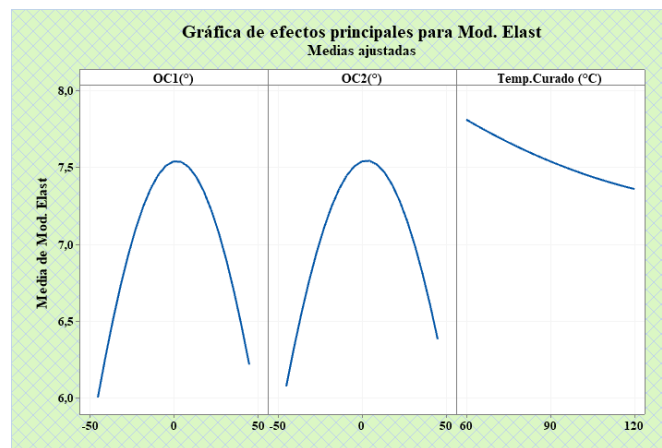


Figura 3.11 Análisis de efectos principales para el Módulo de Elasticidad

Fuente: Minitab

Se pueden visualizar los efectos de interacción en la figura 3.12 presente en el modelo final analizado, de esta gráfica se entiende una notable diferencia entre pendientes de las líneas en una misma gráfica de interacción correspondiente, a cada factor, pues indican que existe efectos de interacción estadística significativa. Es así que son significativos los efectos de interacción entre: la OC1 versus la OC2 y la OC2 versus la TEMP. CURADO, tienen efectos significativos sobre el Módulo de Elasticidad.

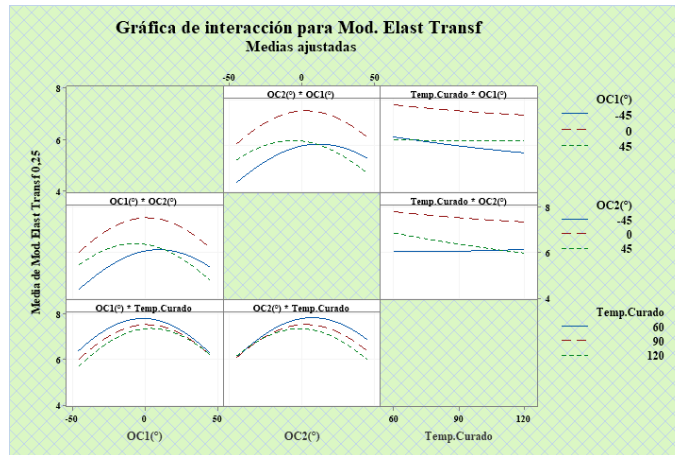


Figura 3.12 Análisis de interacciones para el Módulo de Elasticidad

Fuente: Minitab

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de varianza ANOVA es necesario examinar las superficies de respuesta presentes en la figura 3.13, donde se observa el comportamiento del Módulo de Elasticidad respecto a cada de factor de entrada empleados en el análisis.

En esta gráfica que combina los factores continuos especificados anteriormente se observa que el punto en el que se obtiene el valor más alto de Módulo de Elasticidad es combinar una orientación de cero grados para la OC1 versus OC2 en la gráfica **a** sin embargo, analizando la gráfica **b** se puede observar que el mayor Módulo de Elasticidad vamos a obtener al combinar la orientación de cero grados con una temperatura de curado de 60 grados centígrados, por otro lado esto se replica en la gráfica **c**.

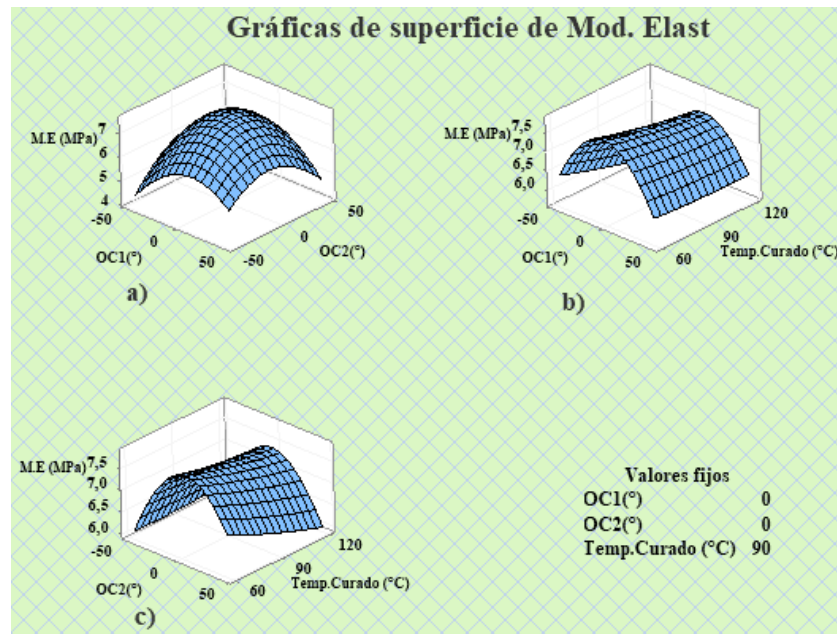


Figura 3.13 Grafica de superficie de respuesta para el Módulo de Elasticidad

Fuente: Minitab

### Optimización del Módulo de elasticidad

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los factores analizados de esta manera definir una única combinación como óptimo para el Módulo de Elasticidad, esto se representa en la figura 3.14. cabe destacar que la base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

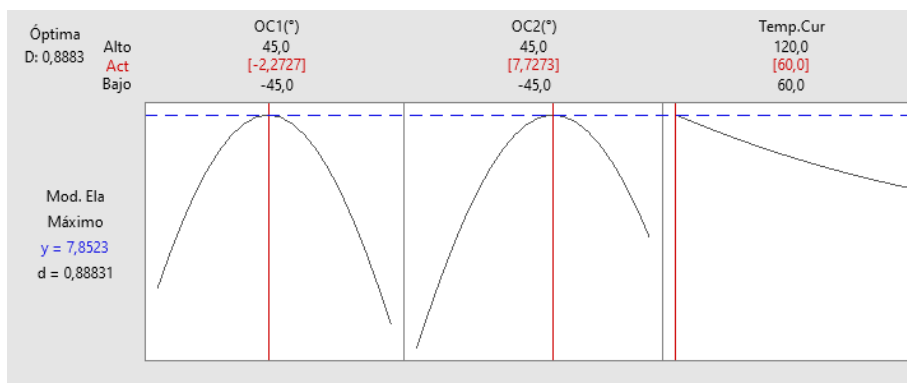


Figura 3.14 Análisis de optimización para el Módulo de Elasticidad

Fuente: Minitab

El punto óptimo con los respectivos niveles de cada factor se muestra en la tabla 3.52, los parámetros optimizados son orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado.

Tabla 3.53 Valores predichos del punto óptimo del Módulo de Elasticidad

<b>Factores</b>	Orientación 1	-2,2727
	Orientación 2	7,7273
	Temperatura de curado	60
<b>Respuesta</b>	Módulo de Elasticidad (MPa)	7,8523

Fuente: Autor

#### 3.2.4.3. Análisis del Porcentaje de Elongación

Al hablar del porcentaje de elongación (%) en el ensayo a tracción se refiere a cuanto se estira el material una vez alcanzado su límite máximo de ruptura ( $S_{ut}$ ), para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interacciones de hasta segundo grado. Además, se contrasta la significancia de cada término, así como también el cumplimiento de los supuestos. Cabe destacar que, si este último no se efectuara, se procedería a transformar los datos ejecutando la transformación de Box-Cox. Sin embargo, existen casos en los que los datos no se comportan de forma normal debido a diversos factores, entonces se verifica los supuestos en la gráfica de residuos a criterio del investigador. Como se muestra a continuación.

Mediante el análisis de regresión se presenta un primer modelo en el cual presenta términos de cuadráticos, el mismo que se puede observar la interacción de efectos no significativos como se muestra en el diagrama de Pareto de la figura 3,15.



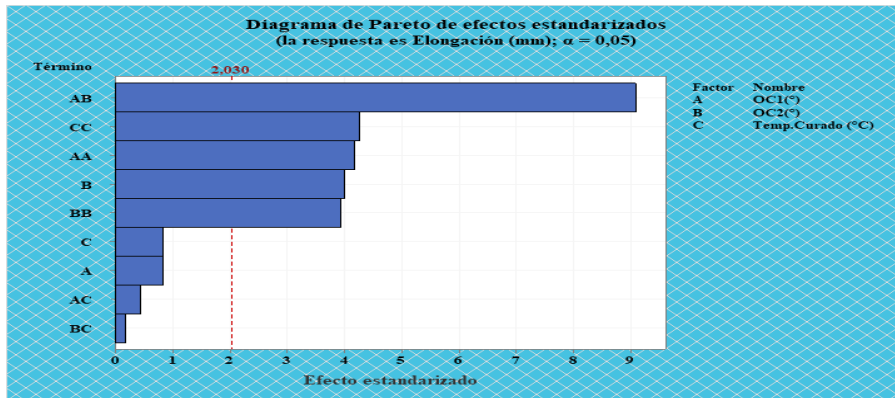


Figura 3.15 Diagrama de Pareto de los efectos significativos para el % Elongación

Fuente: Minitab

Además, se puede constatar que con este primer análisis el modelo muestra un ajuste del 76, 73% de la variabilidad para el % Elongación.

Para plantear el nuevo modelo es necesario únicamente la eliminación de términos no significativos. Además, para saber que se cuenta con la exactitud de los valores de significada calculada, es necesarios que se verificar nuevamente los supuestos de los residuos, como se observa en la figura, por lo que se examina la gráfica de probabilidad normal observándose que los puntos se acercan de igual forma a la línea recta.

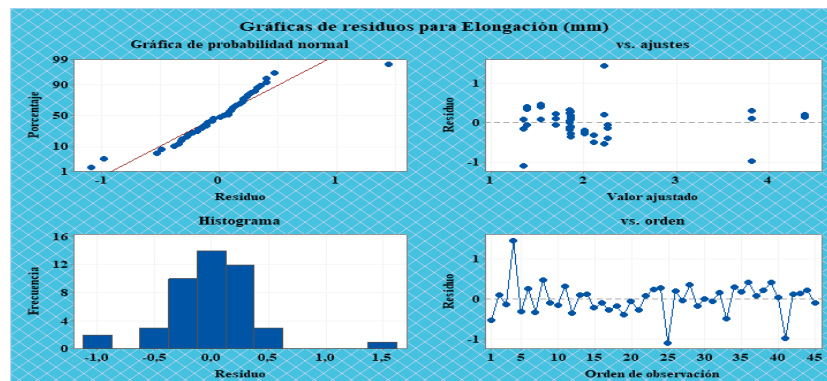


Figura 3.16 Análisis de residuos del % Elongación: a) Gráfica de probabilidad normal, b) Gráfica de residuos vs ajustes c) Gráfica de histograma, d) Gráfica de residuos vs orden

Fuente: Minitab

En la gráfica 3.16 se puede observar el nuevo modelo el cual no cuentan con efectos significativos mismos que se expone la gráfica de probabilidad normal el cual se puede notar un patrón normal y distribuido de los datos del % Elongación, ya que existe un marcado acercamiento de los puntos a la pendiente, con esto se asegura que los datos tiene distribución normal, además, se puede también observar la gráfica de residuos vs ajustes de donde se verifica el supuesto de igualdad de varianza, finalmente se verifica la independencia de residuos mediante la gráfica de residuos vs orden, la misma que no presentan tendencias o patrones.

### Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.54 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el % Elongación

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos del porcentaje de elongación en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	$H_1$ : “Los datos del porcentaje de elongación en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan presenta igualdad de varianza”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
<b>Estadístico de prueba:</b>	Levene= 0,		<b>Valor-p= 0,</b>
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del porcentaje de elongación de material compuesto de matriz epóxica existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

### Independencia de residuos

Para validar este supuesto se analiza la gráfica de residuos en el cual se puede observar que no existe un patrón definido con lo que podemos concluir que los datos tienen independencia de residuos, como se muestra en la figura 3.17.

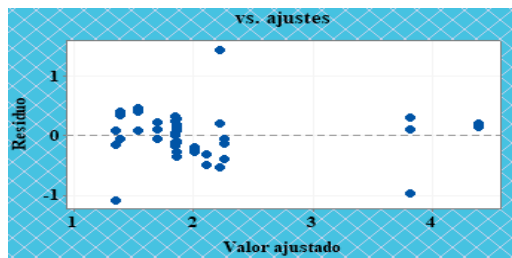


Figura 3.17 Gráfica de residuos vs ajustes del % Elongación.

Fuente: Minitab

### Análisis de varianza

Se efectuará un análisis inicial incluyendo todos los términos de un modelo cuadrático completo con el fin de generar el diagrama de Pareto donde se analizan los efectos significativos con el propósito de descartar efectos que no influyen significativamente en el Módulo de Elasticidad. Donde se rescata que la interacción de la OC1, OC2 y Temp. Curado, influyen significativamente en el % Elongación.

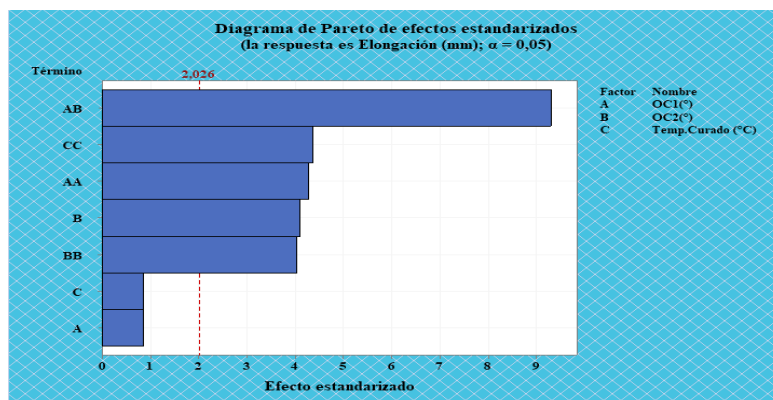


Figura 3.18 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el % Elongación

Fuente: Minitab

Para entender cómo cada parámetro afecta en el % Elongación se examina la gráfica normal de efectos estandarizados en la figura 3.19, se puede observar cómo los efectos significativos de las interacciones toman un valor apreciable para el análisis del % Elongación, es así que conforme sube la interacción de OC1, OC2 y la Temp. Curado el % elongación aumenta.

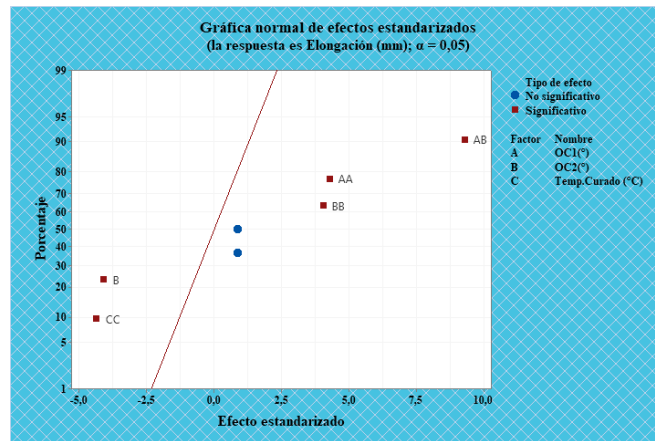


Figura 3.19 Análisis de efectos significativos del % Elongación.

Fuente: Minitab

La tabla 3.55 muestra el análisis de ANOVA para el Módulo de Elasticidad, en el cual se visualiza la variabilidad presente en los datos, el mismo que se observa la existencia de diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando la significancia calculada y definida de 0,0 y 0,05 respectivamente, además, se entiende que el modelo explica un ajuste del 77,84% de la variabilidad del % Elongación.

Tabla 3.55 Análisis de ANOVA para el % Elongación

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor- p
Modelo	9	0,159868	0,017763	5,21	0,000
Lineal	3	0,007066	0,002355	0,69	0,564
OC1(°)	1	0,001138	0,001138	0,33	0,567
OC2(°)	1	0,002268	0,002268	0,67	0,420
Temp. Curado (°C)	1	0,003660	0,003660	1,07	0,307
Cuadrado	3	0,137417	0,045806	13,44	0,000
OC1(°) *OC1(°)	1	0,079567	0,079567	23,35	0,000
OC2(°) *OC2(°)	1	0,066020	0,066020	19,37	0,000

Temp. Curado (°C) *Temp. Curado (°C)	1	0,000063	0,000063	0,02	0,893
Interacción de 2 factores	3	0,015385	0,005128	1,50	0,230
OC1(°) *OC2(°)	1	0,011449	0,011449	3,36	0,075
OC1(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,001267	0,001267	0,37	0,546
OC2(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,002669	0,002669	0,78	0,382
Error	35	0,119264	0,003408		
Falta de ajuste	3	0,003619	0,001206	0,33	0,801
Error puro	32	0,115646	0,003614		
Total	44	0,279132			

Fuente: Minitab

Para entender de manera más específica el análisis de la tabla anterior, se expone la gráfica de efectos principales y de interacción, la primera detallada en la figura 3.20, indica que los efectos de los dos factores de la OC1 con la OC2 son significativos sobre el % Elongación, gráficamente se los compara tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que está presente. Sin embargo, la Temp. Curado no presenta esta característica por lo que se entiende que no muestra efecto significativo.

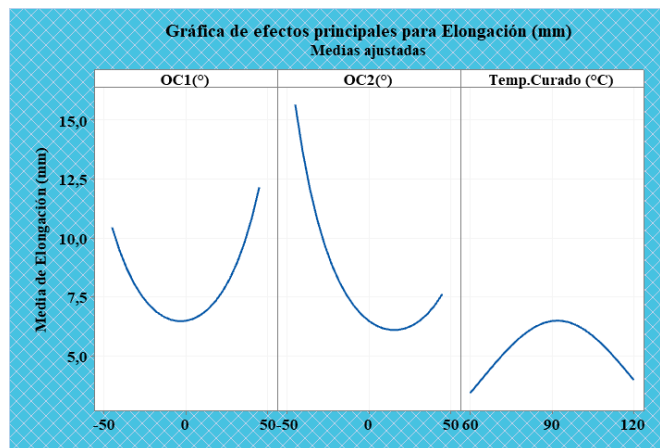


Figura 3.20 Análisis de efectos principales para el % Elongación

Fuente: Minitab

Se pueden visualizar los efectos de interacción en la figura 3.21 presente en el modelo final analizado, de esta gráfica se entiende una notable diferencia entre las pendientes de las líneas en una misma gráfica de interacción correspondiente, a cada factor, pues indican

que existe efectos de interacción estadística significativa. Es así que son significativos los efectos de interacción entre: la OC1 versus la OC2, tienen efectos significativos sobre el % Elongación.

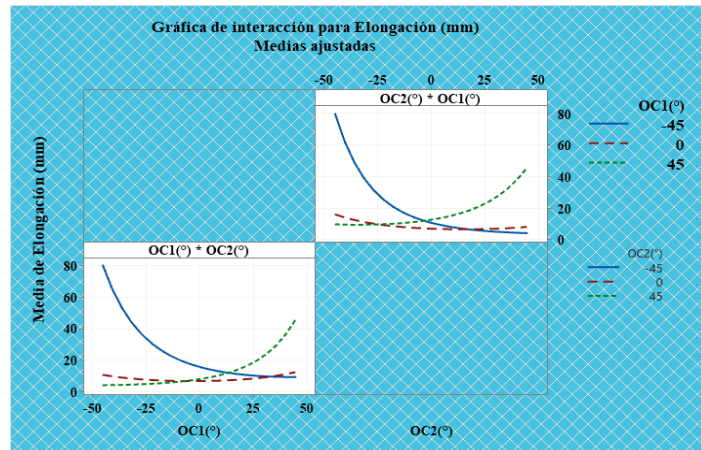


Figura 3.21 Análisis de interacciones para el % Elongación

Fuente: Minitab

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de varianza ANOVA es necesario examinar las superficies de respuesta presentes en la figura 3.22, donde se observa el comportamiento del % Elongación respecto a cada factor de entrada empleados en el análisis.

En esta gráfica que combina los factores continuos especificados anteriormente se observa que el punto en el que se obtiene el valor más alto del % Elongación es combinar una orientación de 45 grados para la OC1 versus OC2 en la gráfica, mientras que el % Elongación se va a obtener al combinar una orientación de cero grados de OC1 vs OC2 **a**). sin embargo, analizando la gráfica **b** se puede observar que el mayor % Elongación vamos a obtener al combinar la orientación de 45 grados con una temperatura de curado de 90 grados centígrados, mientras que se va a tener el % Elongación bajo es al combinar una orientación de cero grados y una temperatura de 120 °, por otro lado esto se replica en la gráfica **c**.

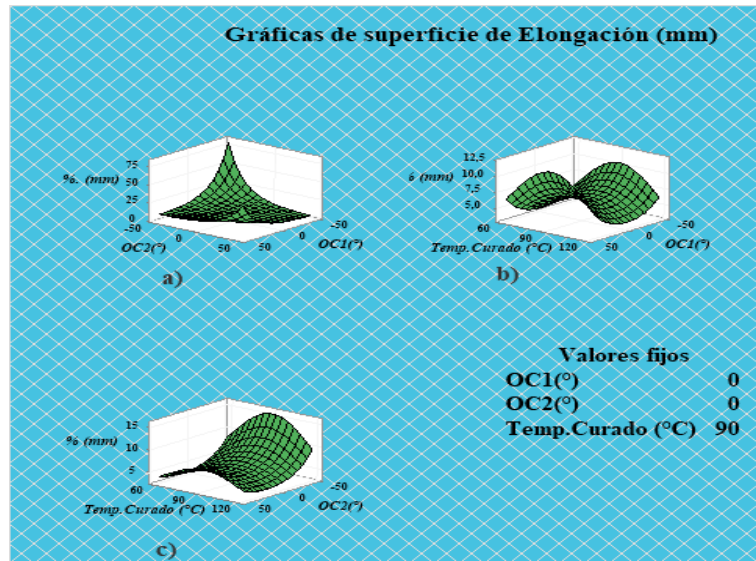


Figura 3.22 Grafica de superficie de respuesta para el % Elongación

Fuente: Minitab

### Optimización del % Elongación

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los factores analizados de esta manera definir una única combinación como óptimo para el Módulo de Elasticidad, esto se representa en la figura 3.23. cabe destacar que la base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

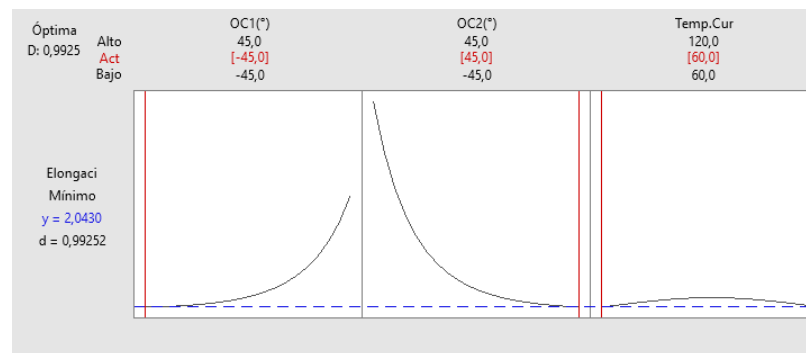


Figura 3.23 Análisis de optimización para el % Elongación

Fuente: Minitab

El punto óptimo con los respectivos niveles de cada factor se muestra en la tabla 3.55, los parámetros optimizados son orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado.

Tabla 3.56 Valores predichos del punto óptimo del % Elongación

<b>Factores</b>	Orientación 1	-45
	Orientación 2	45
	Temperatura de curado	60
<b>Respuesta</b>	% Elongación (mm)	2,043

Fuente: Autor

### 3.2.5. Análisis del ensayo a flexión

#### 3.2.5.1. Análisis del esfuerzo máximo de flexión

Se ejecuta el análisis de superficie de respuesta del ensayo a flexión para el esfuerzo máximo a la flexión, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interacciones de hasta segundo grado. Además, se contrasta la significancia de cada término, así como también el cumplimiento de los supuestos. Cabe destacar que, si este último no se efectuara, se procedería a transformar los datos ejecutando la transformación de Box-Cox. Sin embargo, existen casos en los que los datos no se comportan de forma normal debido a diversos factores, entonces se verifica los supuestos en la gráfica de residuos a criterio del investigador. Como se muestra a continuación.

#### Normalidad

Se realiza un previo análisis del comportamiento de la distribución normal de los datos como se muestra en la figura 3.24, en la cual se observa que los datos no tienen distribución normal.



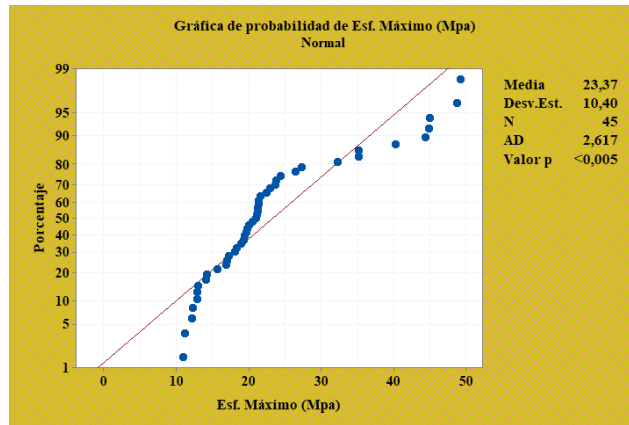


Figura 3.24 Gráfica de distracción normal para el esfuerzo máximo a flexión

Fuente: Minitab

Además, es necesario también verificar el supuesto de igualdad de varianza para verificar que los datos cumplan con este parámetro.

Tabla 3.57 Verificación del supuesto de igualdad de varianza inicial

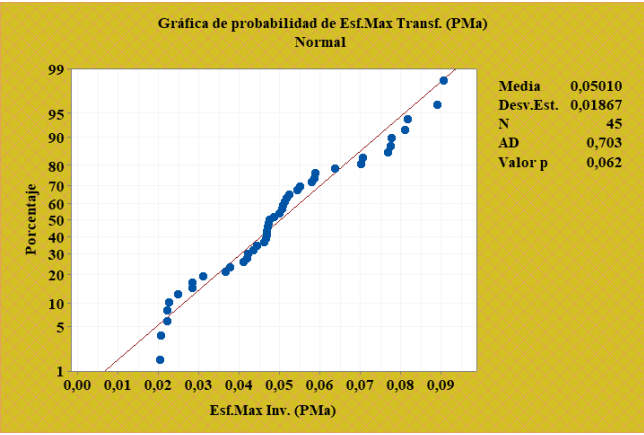
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,120
Levene	1,20	0,326

Fuente: Autor

La tabla de resumen que se observa, obedece a la verificación de igualdad de varianza como se puede observar el valor p es mayor al 5% de la significancia encontrada en el análisis. Sin embargo, como los datos no cumplen con normalidad se realiza una transformación de los datos.

Para este caso se utiliza la transformación de box-cox ejecutando el parámetro de transformación de  $\lambda -1$ , es decir el inverso. Y se procede a verificar los supuestos paramétricos.

Tabla 3.58 Verificación del supuesto de Normalidad para el esfuerzo máximo a flexión

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan distribución normal”.		
	$H_1$ : “Los datos del esfuerzo máximo a flexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan distribución normal”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
			
<b>Estadístico de prueba:</b>	Anderson-Darling= 0,703	<b>Valor-p= 0,062</b>	
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del esfuerzo máximo a flexión de material compuesto de matriz epóxica tienen distribución normal con los datos transformados.		

### Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.59 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el esfuerzo máximo a flexión

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos del esfuerzo máximo a flexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	$H_1$ : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan presenta igualdad de varianza”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
<b>Estadístico de prueba:</b>	Levene= 1,16		<b>Valor-p= 0,35</b>
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del esfuerzo máximo a flexión del material compuesto de matriz epóxica existen igualdad de varianza en los tratamientos mediante la transformación de datos.		

Fuente: Autor

### Verificación de residuos

Para validar este supuesto se analiza la gráfica de residuos en el cual se puede observar que no existe un patrón definido con lo que podemos concluir que los datos tienen independencia de residuos, como se muestra en la figura 3.25

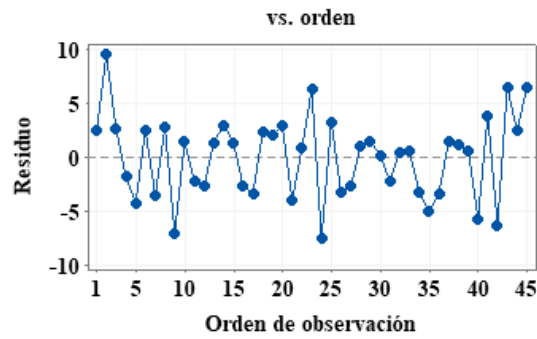


Figura 3.25 Gráfica de residuos vs ajustes del esfuerzo máximo a flexión.

Fuente: Minitab

### Análisis de varianza

Se efectuará un análisis inicial incluyendo todos los términos de un modelo cuadrático completo con el fin de generar el diagrama de Pareto donde se analizan los efectos significativos con el propósito de descartar efectos que no influyen significativamente en esfuerzo máximo a flexión. Donde se rescata que la interacción de la OC1, OC2 y l Temp. Curado, influyen significativamente.

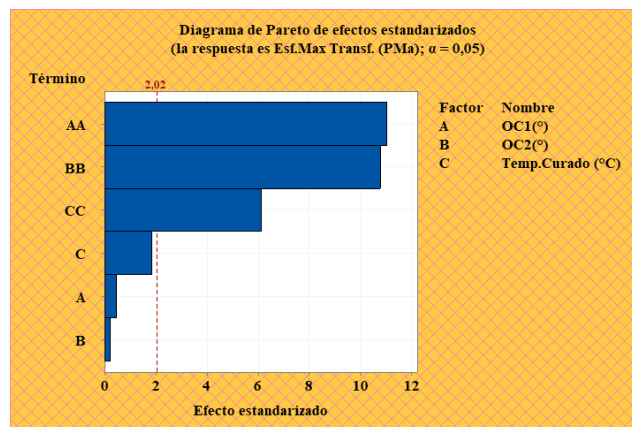


Figura 3.26 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el esfuerzo máximo a flexión.

Fuente: Minitab

Para entender cómo cada parámetro afecta en el esfuerzo máximo de flexión se examina la gráfica normal de efectos estandarizados en la figura 3.27, se puede observar cómo los

efectos significativos de las interacciones toman un valor apreciable para el análisis del esfuerzo máximo de flexión, es así que conforme sube la interacción de OC1, OC2 y Temp. de Curado el esfuerzo máximo de flexión aumenta.

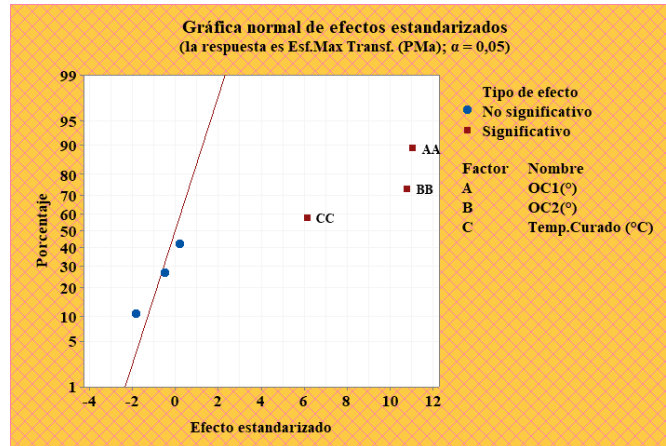


Figura 3.27 Análisis de efectos significativos del esfuerzo máximo de flexión.

Fuente: Minitab

La tabla 3.59 muestra el análisis de ANOVA para el esfuerzo máximo de flexión, en el cual se visualiza la variabilidad presente en los datos, el mismo que se observa la existencia de diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando la significancia calculada y definida de 0,0 y 0,05 respectivamente, además, se entiende que el modelo explica un ajuste del 84,5% de la variabilidad del esfuerzo máximo de flexión.

Tabla 3.60 Análisis de ANOVA para el esfuerzo máximo de flexión

Fuente	G. L	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor- p
Modelo	6	4122,11	687,02	40,97	0,000
Lineal	3	61,10	20,37	1,21	0,318
OC1(°)	1	3,88	3,88	0,23	0,633
OC2(°)	1	0,83	0,83	0,05	0,825
Temp. Curado (°C)	1	56,40	56,40	3,36	0,075
Cuadrado	3	4061,00	1353,67	80,72	0,000
OC1(°) *OC1(°)	1	2043,81	2043,81	121,87	0,000

OC2(°) *OC2(°)	1	1948,40	1948,40	116,18	0,000
Temp. Curado (°C) *Temp. Curado (°C)	1	629,49	629,49	37,54	0,000
Error	38	637,26	16,77		
Falta de ajuste	6	134,06	22,34	1,42	0,237
Error puro	32	503,21	15,73		
Total	44	4759,37			

Fuente: Minitab

Para entender de manera más específica el análisis de la tabla anterior, se expone la gráfica de efectos principales y de interacción, la primera detallada en la figura 3.28, indica que los efectos de los dos factores de la OC1 con la OC2 son significativos sobre el esfuerzo máximo de flexión, gráficamente se los compara tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que está presente. Sin embargo, la Temp. Curado presenta esta característica por lo que se entiende que presenta también efecto significativo.

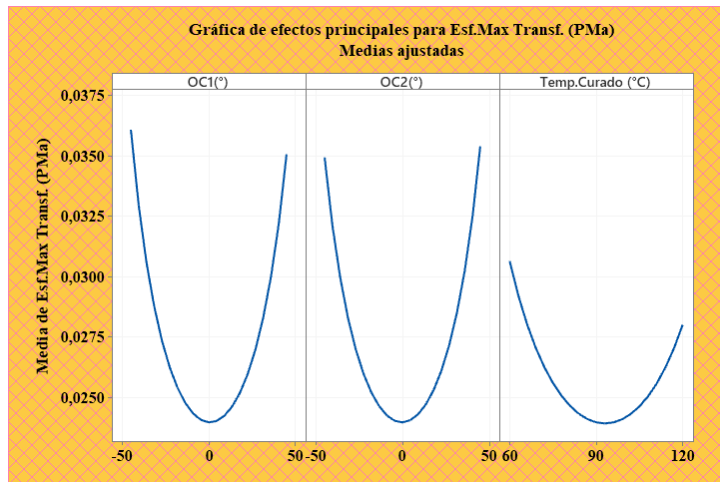


Figura 3.28 Análisis de efectos principales para el del esfuerzo máximo de flexión

Fuente: Minitab

Sin embargo, no se pueden visualizar los efectos de interacción presente en el modelo final analizado, debido a que no existe interacción entre pendientes de las líneas.

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de varianza ANOVA es necesario examinar las superficies de respuesta presentes en la figura 3.29, donde se observa el comportamiento del esfuerzo máximo de flexión respecto a cada de factor de entrada empleados en el analisis.

En esta gráfica que combina los factores continuos especificados anteriormente se observa que el punto en el que se obtiene el valor mas alto de Módulo de Elasticidad es combinar una orientación de cero grados para la OC1 versus OC2 en la grafica **a**). sin embargo, analizando la gráfica **b** se puede observar que el mayor Módulo de Elasticidad vamos a obtener al combinar la orientación de cero grados con una temperatura de curado de 60 grados centígrados, por otro lado esto se replica en la grafica **c**.

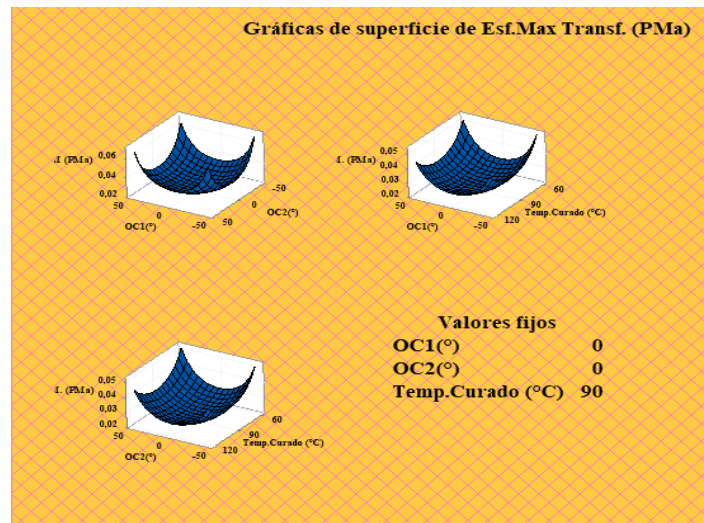


Figura 3.29 Gráfica de superficie de respuesta para el esfuerzo máximo de flexión

Fuente: Minitab

### Optimización del Módulo de elasticidad

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los factores analizados de esta manera definir una única combinación como óptimo para el esfuerzo máximo de flexión, esto se representa en la figura 3.30. cabe destacar que la base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

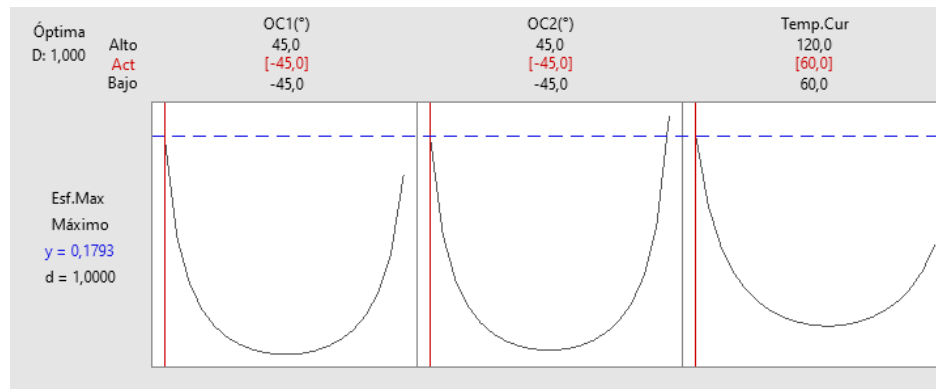


Figura 3.30 Análisis de optimización para el del esfuerzo máximo de flexión

Fuente: Minitab

El punto óptimo con los respectivos niveles de cada factor se muestra en la tabla 3.6, los parámetros optimizados son orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado.

Tabla 3.61 Valores predichos del punto óptimo del esfuerzo máximo de flexión

<b>Factores</b>	Orientación 1	-45
	Orientación 2	-45
	Temperatura de curado	60
<b>Respuesta</b>	Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)	0,1793

Fuente: Autor

### 3.2.5.2. Análisis del módulo de Elasticidad del ensayo a flexión

Para el análisis del Módulo de Elasticidad de flexión ( $E$ ), se emplea un modelo con términos cuadráticos e interacciones de hasta segundo grado. Además, se contrasta la significancia de cada término, así como también el cumplimiento de los supuestos. Cabe destacar que, si este último no se efectuara, se procedería a transformar los datos ejecutando la transformación de Box-Cox.



## Normalidad

Se realiza un previo análisis del comportamiento de la distribución normal de los datos como se muestra en la figura 3.31, en la cual se observa que los datos no tienen distribución normal.

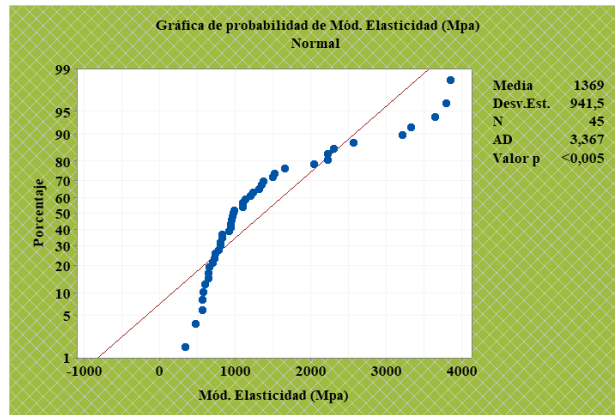


Figura 3.31 Gráfica de distracción normal para el módulo de elasticidad a flexión

Además, es necesario también verificar el supuesto de igualdad de varianza para verificar que los datos cumplan con este parámetro.

Tabla 3.62 verificación inicial de igualdad de varianza

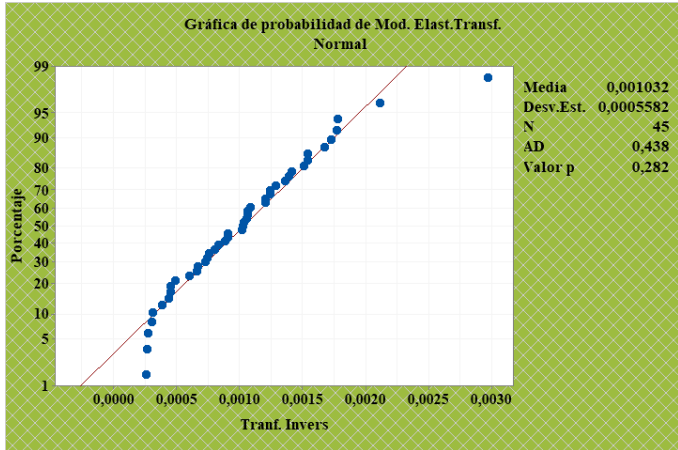
Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,288
Levene	1,72	0,110

Fuente: Autor

La tabla de resumen que se observa obedece a la verificación de igualdad de varianza como se puede observar el valor p es mayor al 5% de la significancia encontrada en el análisis. Sin embargo, como los datos no cumplen con normalidad se realiza una transformación de los datos.

Para este caso se utiliza la transformación de box-cox ejecutando el parámetro de transformación de  $\lambda -1$ , es decir el inverso. Y se procede a verificar los supuestos paramétricos.

Tabla 3.63 Verificación del supuesto de Normalidad para el módulo de Elasticidad a flexión transformado

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos del módulo de elasticidad de flexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan distribución normal”.		
	$H_1$ : “Los datos del módulo de elasticidad de flexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan distribución normal”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
			
<b>Estadístico de prueba:</b>	Anderson-Darling= 0,438	<b>Valor-p= 0,282</b>	
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del módulo de elasticidad de material compuesto de matriz epóxica tienen distribución normal.		

### Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.64 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para el módulo de Elasticidad a flexión transformado

<b>Hipótesis</b>	<b>H<sub>0</sub></b> : “Los datos del módulo de elasticidad de flexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	<b>H<sub>1</sub></b> : “Los datos del módulo de elasticidad de flexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan presenta igualdad de varianza”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
<b>Estadístico de prueba:</b>	Levene= 0,88		<b>Valor-p= 0,571</b>
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del ensayo de impacto de material compuesto de matriz epóxica existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

### Verificación de residuos

Para validar este supuesto se analiza la gráfica de residuos en el cual se puede observar que no existe un patrón definido con lo que podemos concluir que los datos tienen independencia de residuos, como se muestra en la figura 3.32

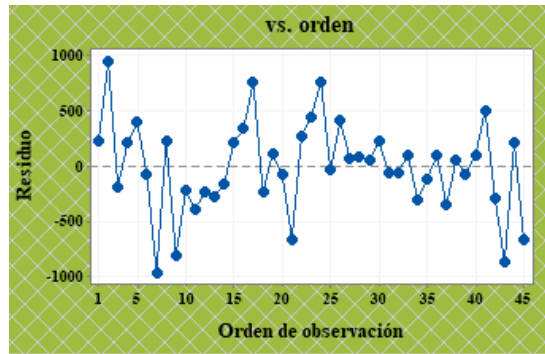


Figura 3.32 Gráfica de residuos vs ajustes de Módulo de Elasticidad de flexión.

Fuente: Minitab

### Análisis de varianza

Se efectuará un análisis inicial incluyendo todos los términos de un modelo cuadrático completo con el fin de generar el diagrama de Pareto donde se analizan los efectos significativos con el propósito de descartar efectos que no influyen significativamente en el Módulo de Elasticidad. Donde se rescata que la interacción de la OC1 y OC2, influyen significativamente.

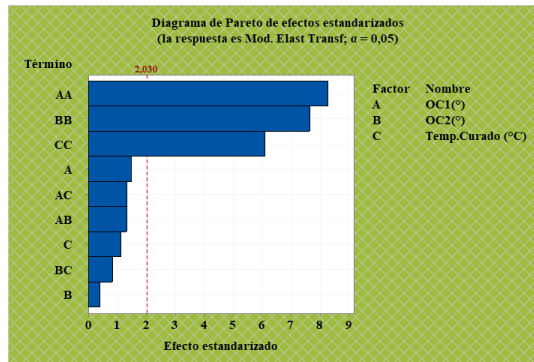


Figura 3.33 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el Módulo de Elasticidad a flexión.

Fuente: Minitab

Es necesario eliminar los términos que no influyen en el análisis esto se observa en la figura 3.34.

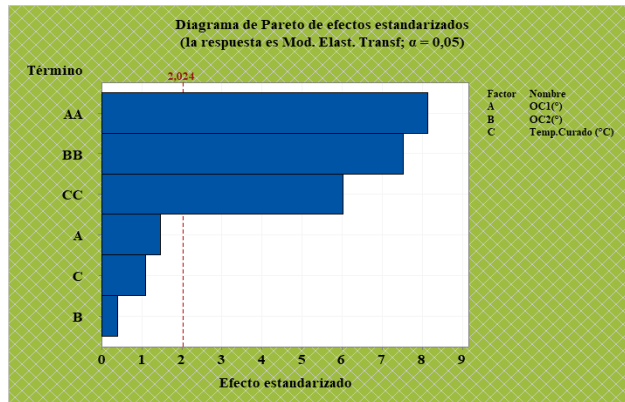


Figura 3.34 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para el Módulo de Elasticidad a flexión.

Fuente: Minitab

Para entender cómo cada parámetro afecta en el Módulo de Elasticidad se examina la gráfica normal de efectos estandarizados en la figura 3.35, se puede observar cómo los efectos significativos de las interacciones toman un valor apreciable para el análisis del Módulo de Elasticidad, es así que conforme sube la interacción de OC1 y OC2 el módulo de elasticidad aumenta.

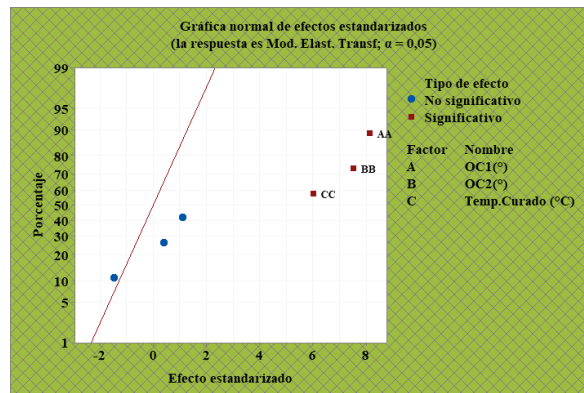


Figura 3.35 Análisis de efectos significativos del módulo de espasticidad de flexión

Fuente: Minitab

La tabla 3.65 muestra el análisis de ANOVA para el Módulo de Elasticidad, en el cual se visualiza la variabilidad presente en los datos, el mismo que se observa la existencia de diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando

la significancia calculada y definida de 0,0 y 0,05 respectivamente, además, se entiende que el modelo explica un ajuste del 75,52% de la variabilidad del Módulo de Elasticidad.

Tabla 3.65 Análisis de ANOVA para el Módulo de Elasticidad a flexión

<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor- p</b>
Modelo	6	30760100	5126683	23,62	0,000
Lineal	3	769621	256540	1,18	0,329
OC1(°)	1	472643	472643	2,18	0,148
OC2(°)	1	35728	35728	0,16	0,687
Temp. Curado (°C)	1	261251	261251	1,20	0,279
Cuadrado	3	29990479	9996826	46,07	0,000
OC1(°) *OC1(°)	1	14371376	14371376	66,23	0,000
OC2(°) *OC2(°)	1	12267616	12267616	56,53	0,000
Temp. Curado (°C) *Temp. Curado (°C)	1	7835274	7835274	36,11	0,000
Error	38	8246298	217008		
Falta de ajuste	6	1319455	219909	1,02	0,433
Error puro	32	6926843	216464		
Total	44	39006398			

Fuente: Minitab

Para entender de manera más específica el análisis de la tabla anterior, se expone la gráfica de efectos principales y de interacción, la primera detallada en la figura 3.36, indica que los efectos de los dos factores de la OC1 con la OC2 son significativos sobre el Módulo de Elasticidad, gráficamente se los compara tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que está presente. Sin embargo, la Temp. Curado presenta esta característica por lo que se entiende que presenta también efecto significativo.

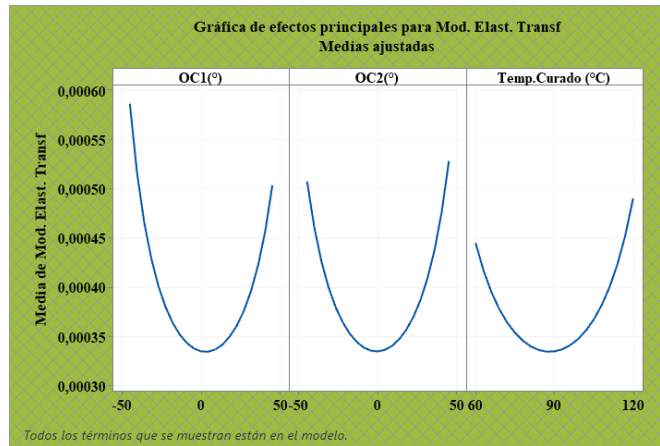


Figura 3.36 Análisis de efectos principales para el Módulo de Elasticidad a flexión

Fuente: Minitab

En esta gráfica que combina los factores continuos especificados anteriormente se observa que el punto en el que se obtiene el valor más alto de Módulo de Elasticidad es combinar una orientación de cero grados para la OC1 versus OC2 en la grafica **a**). sin embargo, analizando la grafica **b** se puede observar que el mayor Módulo de Elasticidad vamos a obtener al combinar la orientación de cero grados con una temperatura de curado de 60 grados centígrados, por otro lado esto se replica en la gráfica **c**.



Figura 3.37 Gráfica de superficie de respuesta para el Módulo de Elasticidad a flexión

Fuente: Minitab

## Optimización del Módulo de elasticidad

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los factores analizados de esta manera definir una única combinación como óptimo para el Módulo de Elasticidad, esto se representa en la figura 3.38, cabe destacar que la base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

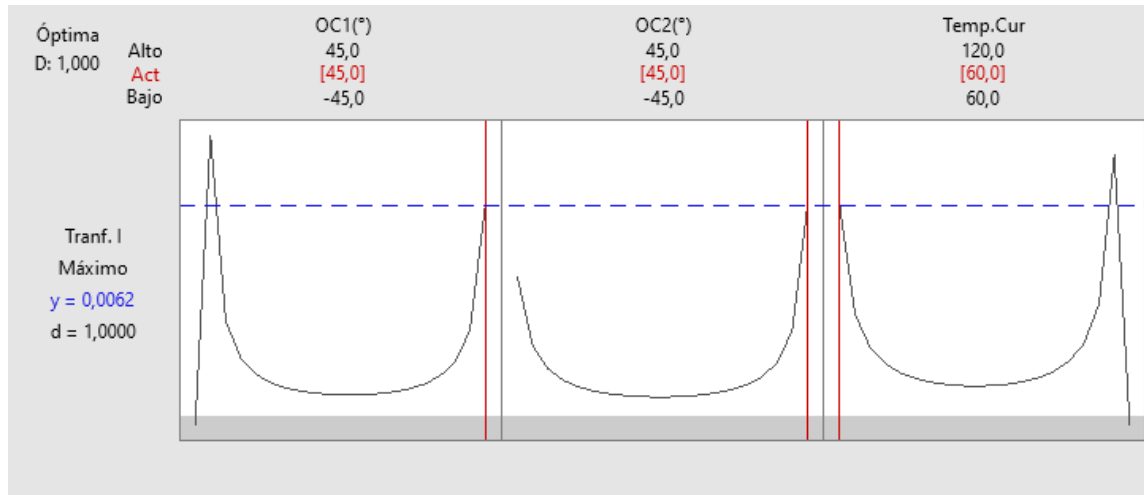


Figura 3.38 Análisis de optimización para el Módulo de Elasticidad a flexión

Fuente: Minitab

El punto óptimo con los respectivos niveles de cada factor se muestra en la tabla 3.66, los parámetros optimizados son orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado.

Tabla 3.66 Valores predichos del punto óptimo del módulo de Elasticidad a flexión

<b>Factores</b>	Orientación 1	45
	Orientación 2	45
	Temperatura de curado	60
<b>Respuesta</b>	Módulo de Elasticidad a Flexión (MPa)	0,0062

Fuente: Autor



### 3.2.5.3. Análisis de la deflexión máxima

Para el análisis de deflexión a flexión se engloban todas las variables numéricas continuas establecidos previamente. Para este análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interacciones de hasta segundo grado. Además, se contrasta la significancia de cada término, así como también el cumplimiento de los supuestos. Cabe destacar que, si este último no se efectuara, se procedería a transformar los datos ejecutando la transformación de Box-Cox.

#### Normalidad

Se realiza un previo análisis del comportamiento de la distribución normal de los datos como se muestra en la figura 3.39, en la cual se observa que los datos no tienen distribución normal.

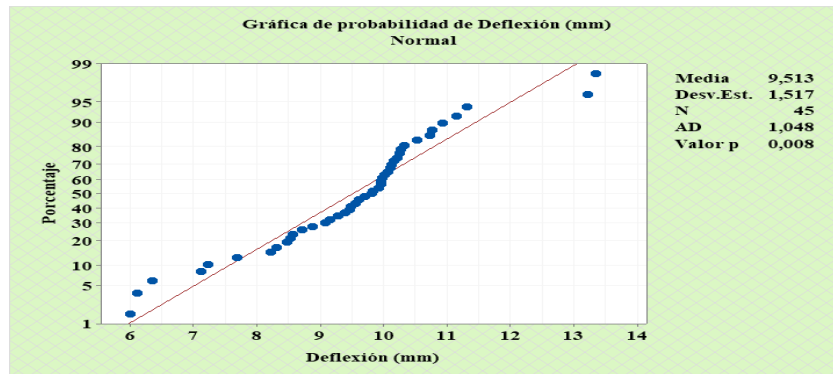


Figura 3.39 Gráfica de distracción normal para la deflexión a flexión

Fuente: Minitab

Además, es necesario también verificar el supuesto de igualdad de varianza para verificar que los datos cumplan con este parámetro.

Tabla 3.67 verificación inicial de igualdad de varianza

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,288
Levene	1,24	0,303

Fuente: Autor

La tabla de resumen que se observa obedece a la verificación de igualdad de varianza como se puede observar el valor p es mayor al 5% de la significancia encontrada en el análisis. Sin embargo, como los datos no cumplen con normalidad se realiza una transformación de los datos.

Para este caso se utiliza la transformación de box-cox ejecutando el parámetro de transformación de  $\lambda$  2,37, es decir exponencial, como se muestra en la figura 3.40.

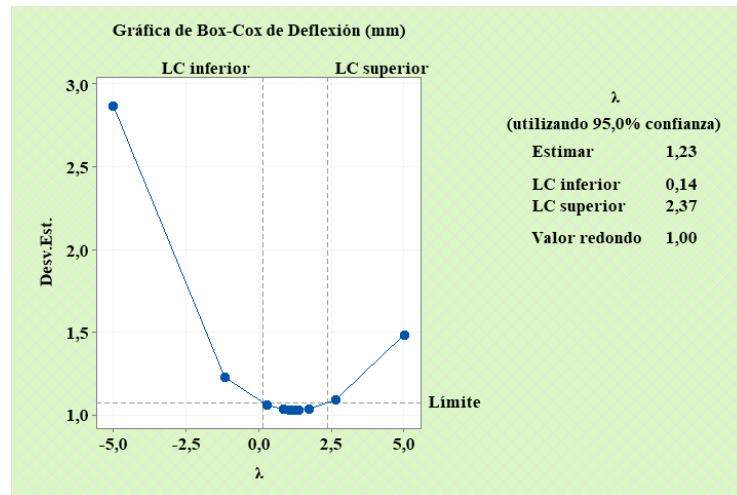


Figura 3.40 Grafica de estimación para transformación de datos de deflexión

Fuente: Minitab

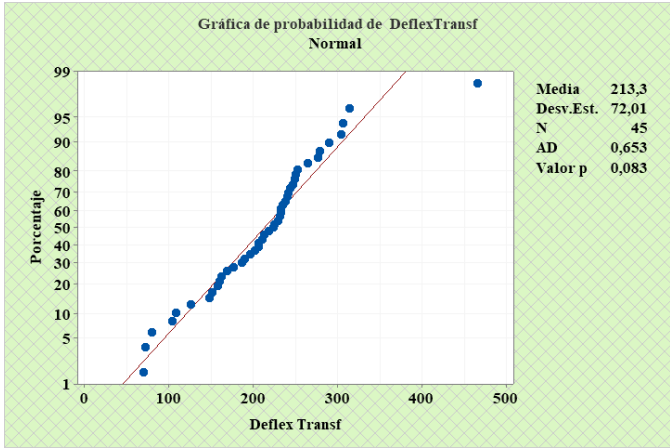
Basados en la prueba de normalidad anterior se vio la necesidad de ejecutar una transformación de los datos para determinar el cumplimiento de los supuestos paramétricos para la deflexión a flexión, con esto se procede a verificar los supuestos paramétricos.

Para este caso se utiliza la transformación de box-cox ejecutando el parámetro de transformación de  $\lambda$  2,37; es decir exponencial. Y se procede a verificar los supuestos paramétricos.

### Normalidad

Se ejecuta la prueba de normalidad de Anderson Darling a los datos de deflexión transformada.

Tabla 3.68 Verificación del supuesto de Normalidad para deflexión a flexión transformado

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos de deflexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan distribución normal”.		
	$H_1$ : “Los datos de deflexión en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan distribución normal”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
			
<b>Estadístico de prueba:</b>	Anderson-Darling= 0,653	<b>Valor-p= 0,083</b>	
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos de deflexión de material compuesto de matriz epóxica tienen distribución normal.		

Fuente: Autor

### Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.69 Verificación del supuesto de igualdad de varianza para deflexión a flexión transformado

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	$H_1$ : “Los datos del módulo de elasticidad en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan presenta igualdad de varianza”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
<b>Estadístico de prueba:</b>	Levene= 1,26		<b>Valor-p= 0,288</b>
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del ensayo de impacto de material compuesto de matriz epóxica existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Fuente: Autor

### Verificación de residuos

Para validar este supuesto se analiza la gráfica de residuos en el cual se puede observar que no existe un patrón definido con lo que podemos concluir que los datos tienen independencia de residuos, como se muestra en la figura

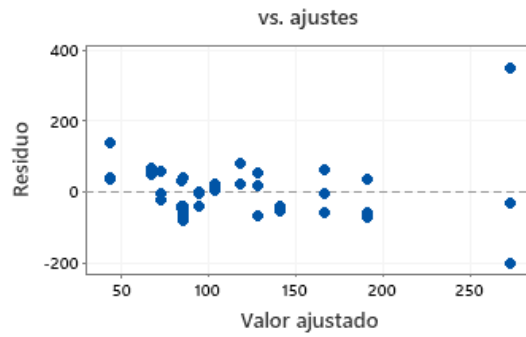


Figura 3.41 Gráfica de residuos vs ajustes de energía media de fallo.

Fuente: Minitab

### Análisis de varianza

Se efectuará un análisis inicial incluyendo todos los términos de un modelo cuadrático completo con el fin de generar el diagrama de Pareto donde se analizan los efectos significativos con el propósito de descartar efectos que no influyen significativamente en el Módulo de Elasticidad. Donde se rescata que la interacción de la OC1 y OC2, influyen significativamente.

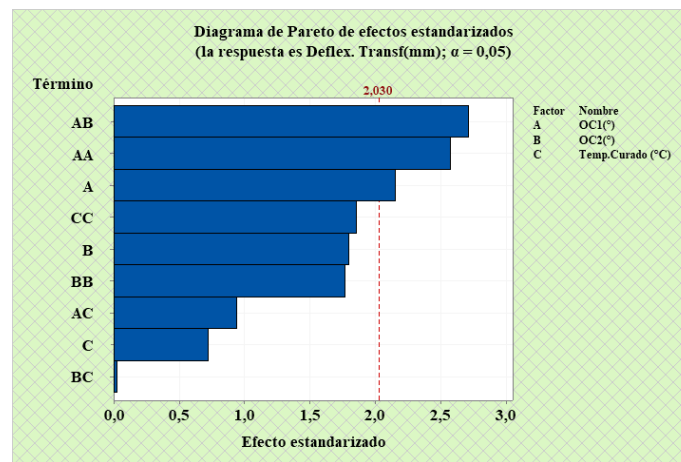


Figura 3.42 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para la deflexión

Fuente: Minitab

Se realiza otro análisis involucrando únicamente los efectos significativos que influyen en la deflexión como se muestra en la figura.

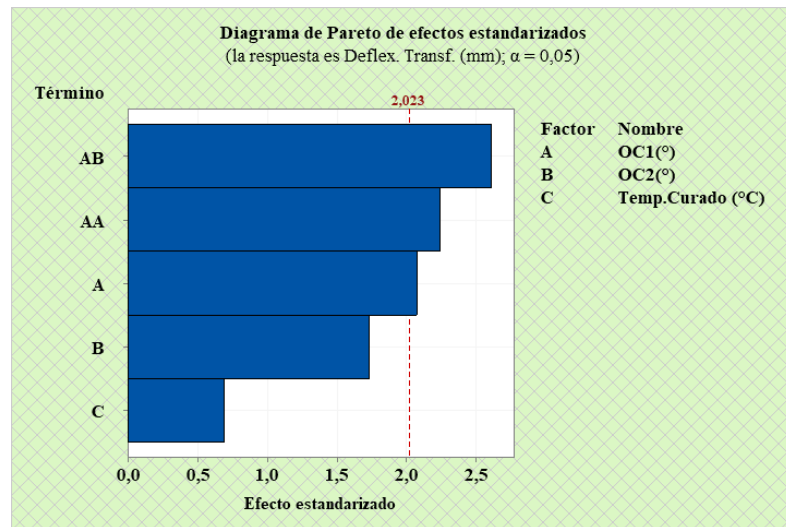


Figura 3.43 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para la deflexión

Fuente: Minitab

Para entender cómo cada parámetro afecta en la deflexión se examina la gráfica normal de efectos estandarizados en la figura 3.44, se puede observar cómo los efectos significativos de las interacciones toman un valor apreciable para el análisis del Módulo de Elasticidad, es así que conforme sube la interacción de OC1 y OC2 el módulo de elasticidad aumenta.

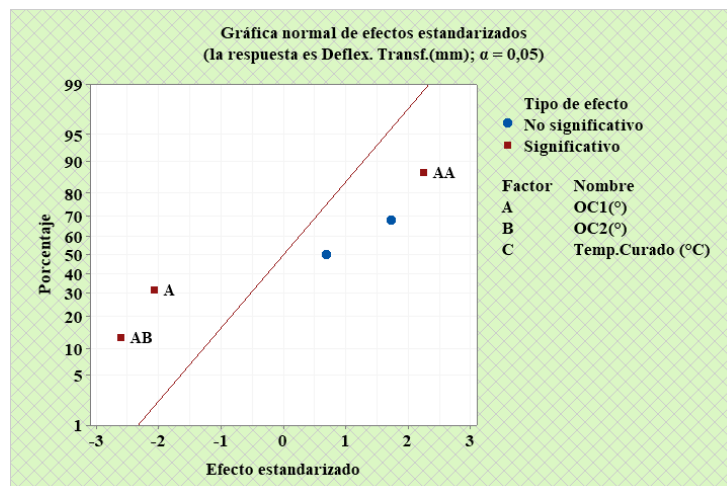


Figura 3.44 Análisis de efectos significativos del  $S_{ut}$ .

Fuente: Minitab

La tabla 3.70 muestra el análisis de ANOVA para la deflexión, en el cual se visualiza la variabilidad presente en los datos, el mismo que se observa la existencia de diferencias significativas en las medias poblacionales de cada tratamiento, contrastando la significancia calculada y definida de 0,0 y 0,05 respectivamente, además, se entiende que el modelo explica un ajuste del 24.95% de la variabilidad de la deflexión.

Tabla 3.70 Análisis de ANOVA para la deflexión

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor F	Valor p
Modelo	5	142394	28479	3,93	0,006
Lineal	3	56525	18842	2,60	0,066
OC1(°)	1	31212	31212	4,30	0,045
OC2(°)	1	21798	21798	3,01	0,091
Temp. Curado (°C)	1	3515	3515	0,48	0,491
Cuadrado	1	36378	36378	5,02	0,031
OC1(°)*OC1(°)	1	36378	36378	5,02	0,031
Interacción de 2 factores	1	49490	49490	6,82	0,013
OC1(°)*OC2(°)	1	49490	49490	6,82	0,013
Error	39	282901	7254		
Falta de ajuste	7	72445	10349	1,57	0,179
Error puro	32	210456	6577		
Total	44	425295			

Fuente: Minitab

Para entender de manera más específica el análisis de la tabla anterior, se expone la gráfica de efectos principales y de interacción, la primera detallada en la figura 3.11, indica que los efectos de los dos factores de la OC1 con la OC2 son significativos sobre el Módulo de Elasticidad, gráficamente se los compara tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que está presente. Sin embargo, la Temp. Curado presenta esta característica por lo que se entiende que presenta también efecto significativo.

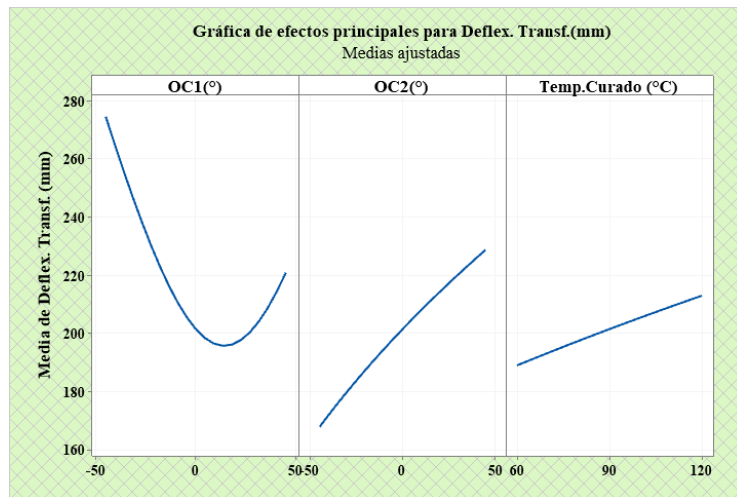


Figura 3.45 Análisis de efectos principales para el Módulo de Elasticidad

Fuente: Minitab

Se pueden visualizar los efectos de interacción en la figura 3.45 presente en el modelo final analizado, de esta gráfica se entiende una notable diferencia entre pendientes de las líneas en una misma gráfica de interacción correspondiente, a cada factor, pues indican que existe efectos de interacción estadística significativa. Es así que son significativos los efectos de interacción entre: la OC1 versus la OC2 y la OC2 versus la TEMP. CURADO, tienen efectos significativos sobre la deflexión.

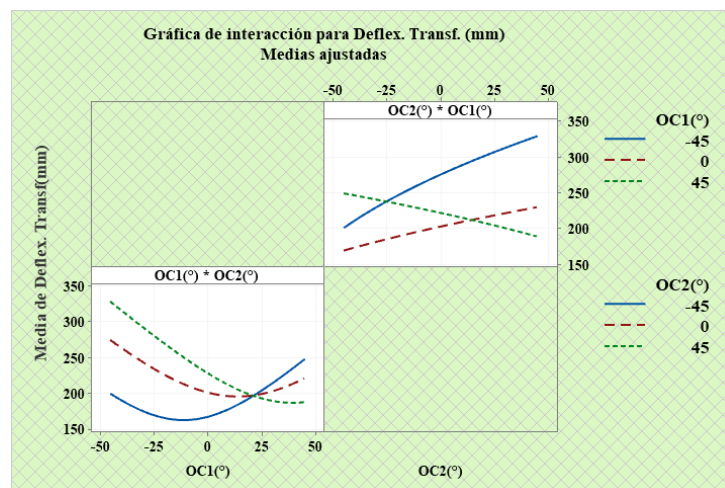


Figura 3.46 Análisis de interacciones para la deflexión

Fuente: Minitab



De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de varianza ANOVA es necesario examinar las superficies de respuesta presentes en la figura 3.46, donde se observa el comportamiento de la deflexión respecto a cada de factor de entrada empleados en el análisis.

En esta gráfica que combina los factores continuos especificados anteriormente se observa que el punto en el que se obtiene el valor más alto de la deflexión es combinar una orientación de cero grados para la OC1 versus OC2 en la gráfica a). sin embargo, analizando la gráfica b se puede observar que la mayor deflexión vamos a obtener al combinar la orientación de cero grados con una temperatura de curado de 60 grados centígrados, por otro lado esto se replica en la grafica c.

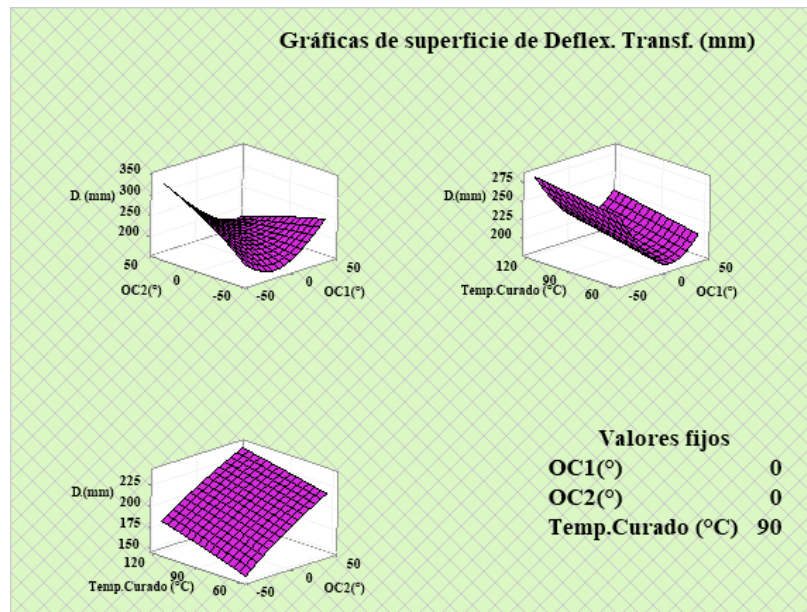


Figura 3.47 Grafica de superficie de respuesta para la deflexión

Fuente: Minitab

### Optimización de la deflexión

Utilizando la función de deseabilidad, se logra englobar los factores analizados de esta manera definir una única combinación como óptimo para la deflexión, esto se representa en la figura 3.48. cabe destacar que la base del análisis de la función de deseabilidad radica en estudiar las respuestas predichas por el modelo.

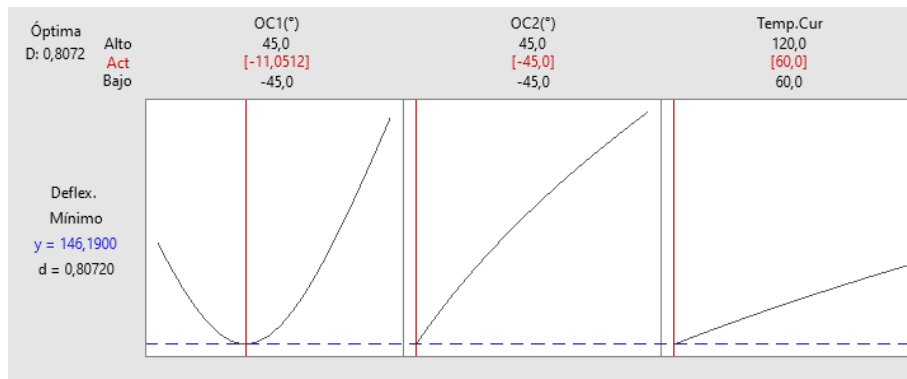


Figura 3.48 Análisis de optimización para la deflexión máxima

Fuente: Minitab

El punto óptimo con los respectivos niveles de cada factor se muestra en la tabla 3.71, los parámetros optimizados son orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado.

Tabla 3.71 Valores predichos del punto óptimo de la deflexión máxima

<b>Factores</b>	Orientación 1	-11,0512
	Orientación 2	-45
	Temperatura de curado	60
<b>Respuesta</b>	Deflexión (mm)	146,19

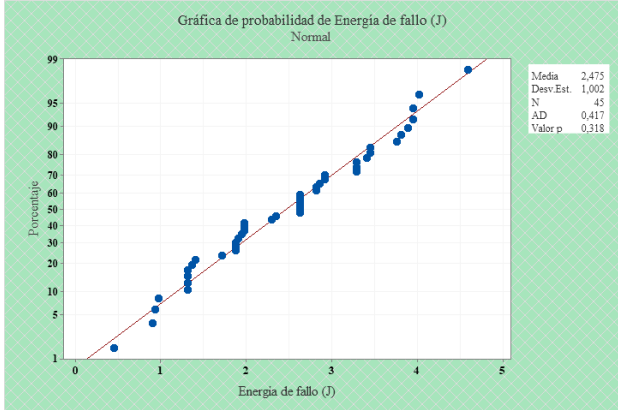
Fuente: Autor

### 3.2.6. Análisis del ensayo de impacto

Para el análisis estadístico del ensayo a impacto se realizaron 15 combinaciones con 3 réplicas por combinación aleatorizadas, la razón de este último es porque obedece a la naturaleza del ensayo ejecutado, ya que se debe variar la altura de falla para la caída del dardo descartando la probeta por cada vez que se varía la altura de caída.

### Prueba de normalidad

Tabla 3.72 Verificación del supuesto de Normalidad de energía media de fallo

<b>Hipótesis</b>	<b>H<sub>0</sub></b> : “Los datos del ensayo de impacto en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan distribución normal”.		
	<b>H<sub>1</sub></b> : “Los datos del ensayo de impacto en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan distribución normal”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
			
<b>Estadístico de prueba:</b>	Anderson-Darling= 0,417	<b>Valor-p= 0,318</b>	
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del ensayo de impacto de material compuesto de matriz epóxica tienen distribución normal.		

Fuente: Autor

### Prueba de igualdad de varianza

Tabla 3.73 Verificación del supuesto de igualdad de varianza de energía media de fallo

<b>Hipótesis</b>	<b><math>H_0</math></b> : “Los datos del ensayo de impacto en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira presentan igualdad de varianza”.		
	<b><math>H_1</math></b> : “Los datos del ensayo de impacto en el material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibra de chambira no presentan presenta igualdad de varianza”.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0,05$	<b>Número de experimentos</b>	$N = 45$
<b>Estadístico de prueba:</b>	Levene= 0,34		<b>Valor-p= 0,975</b>
<b>Descripción:</b>	Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa		
<b>Conclusión:</b>	Tomando en cuenta la significancia del 5% de error se concluye que los datos del ensayo de impacto de material compuesto de matriz epóxica existen igualdad de varianza en los tratamientos.		

Fuente: Autor

### Verificación de residuos

Para validar este supuesto se analiza la gráfica de residuos en el cual se puede observar que no existe un patrón definido con lo que podemos concluir que los datos tienen independencia de residuos, como se muestra en la figura

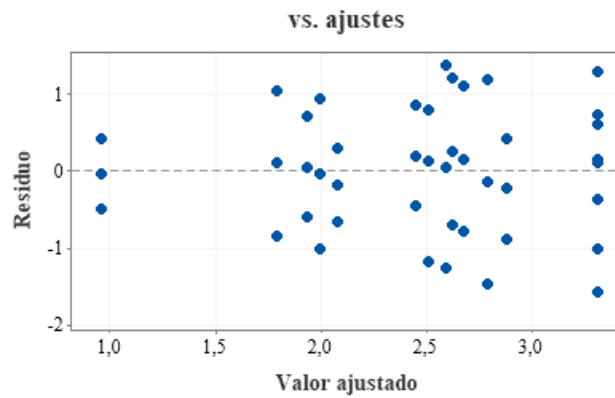


Figura 3.49 Gráfica de residuos vs ajustes de energía media de fallo.

Fuente: Minitab

### Análisis de Varianza

Se efectuará un análisis inicial incluyendo todos los términos de un modelo cuadrático completo con el fin de generar el diagrama de Pareto donde se analizan los efectos significativos con el propósito de descartar efectos que no influyen significativamente en esfuerzo máximo a flexión. Donde se rescata que la interacción de la OC1, OC2 y l Temp. Curado, influyen significativamente.

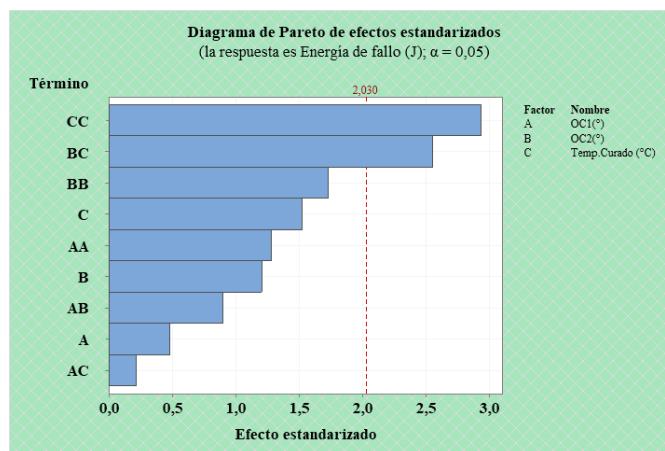


Figura 3.50 Análisis de la gráfica de Pareto de los efectos significativos para la energía media de fallo

Fuente: Minitab

Para entender de una mejor manera como afecta cada parámetro en la energía media de fallo se analiza la gráfica de probabilidad normal de efectos significativo en la cual indica que factor tienen más significancia que otro, en este caso la interacción de la temperatura de curado tiene más significancia, así mismo es significativo la intención de la orientación 2 y la temperatura de citado.

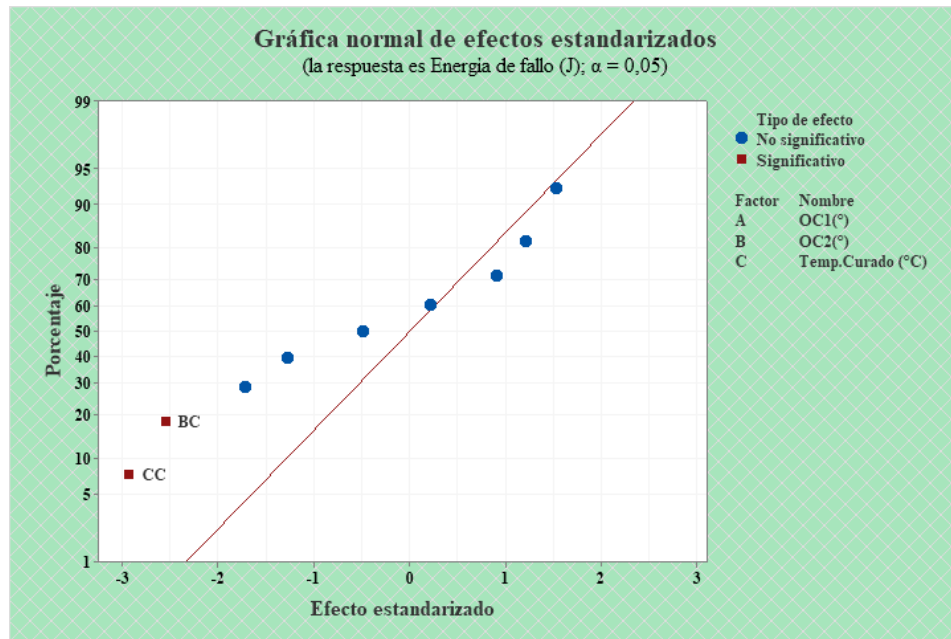


Figura 3.51 Análisis de efectos significativos de probabilidad normal de la energía media de fallo.

Fuente: Minitab

Basado en el modelo de cumplimiento de los supuestos y teniendo en cuenta los términos que aportan significativamente a la respuesta del análisis experimental, se ejecuta el análisis de varianza descrita en la tabla 3.73, en el cual se enfatiza que existe diferencias significativas entre las medias globales poblacionales de cada tratamiento

Tabla 3.74 Análisis de ANOVA para la Energía Media de Fallo

Fuente	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	Valor F	Valor p
Modelo	9	17,5639	1,95155	2,56	0,022
Lineal	3	3,0403	1,01344	1,33	0,280
OC1(°)	1	0,1780	0,17801	0,23	0,632

OC2(°)	1	1,1039	1,10395	1,45	0,237
Temp. Curado (°C)	1	1,7583	1,75835	2,31	0,138
Cuadrado	3	8,9254	2,97515	3,91	0,017
OC1(°) *OC1(°)	1	1,2414	1,24137	1,63	0,210
OC2(°) *OC2(°)	1	2,2614	2,26138	2,97	0,094
Temp. Curado (°C) *Temp. Curado (°C)	1	6,5188	6,51885	8,56	0,006
Interacción de 2 factores	3	5,5982	1,86606	2,45	0,080
OC1(°) *OC2(°)	1	0,6189	0,61890	0,81	0,373
OC1(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,0361	0,03611	0,05	0,829
OC2(°) *Temp. Curado (°C)	1	4,9432	4,94318	6,49	0,015
Error	35	26,6494	0,76141		
Falta de ajuste	3	0,7714	0,25713	0,32	0,812
Error puro	32	25,8780	0,80869		
Total	44	44,2133			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica un 24,33% de la variabilidad de la energía media de fallo, esto quiere decir que existe un 75,67% de factores que no fueron considerados en el experimento esto significa que para obtener una variabilidad mayor aceptable es necesario además de controlar la orientación de la fibra y la temperatura es necesario tomar en cuenta factores como el espesor o verificar acumulación de grumos de fibra en algunas zonas y eso ocasionó datos altos en los ensayos, mismos que deben ser tomados en cuenta para investigaciones futuras.

En la gráfica se detalla los efectos principales de cada factor donde explica que la orientación 2 y la temperatura tienen más significancia, esto debido a la pronunciación sobre la energía media de fallo gráficamente se los compara con el considerando la pendiente de sus líneas, ya que a medida que la línea tiende a ser más propiciada mayor será el efecto del factor que esta presenta.

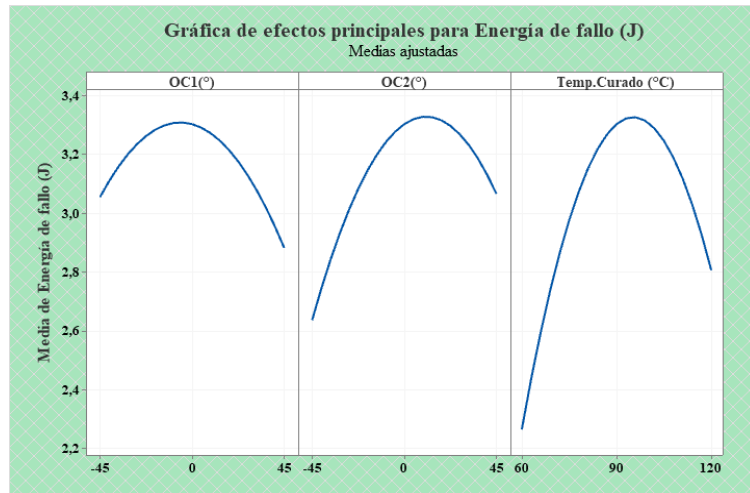


Figura 3.52 Gráfica de efectos principales de la energía media de fallo.

Fuente: Minitab

De la misma manera en la gráfica se detalla los efectos de interacción de cada factor mismo que interviene en la energía media de fallo, cabe recalcar que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a cada factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. Se observa en la gráfica que la orientación dos y la temperatura tienen mayor efecto de interacción sobre la energía media de fallo.

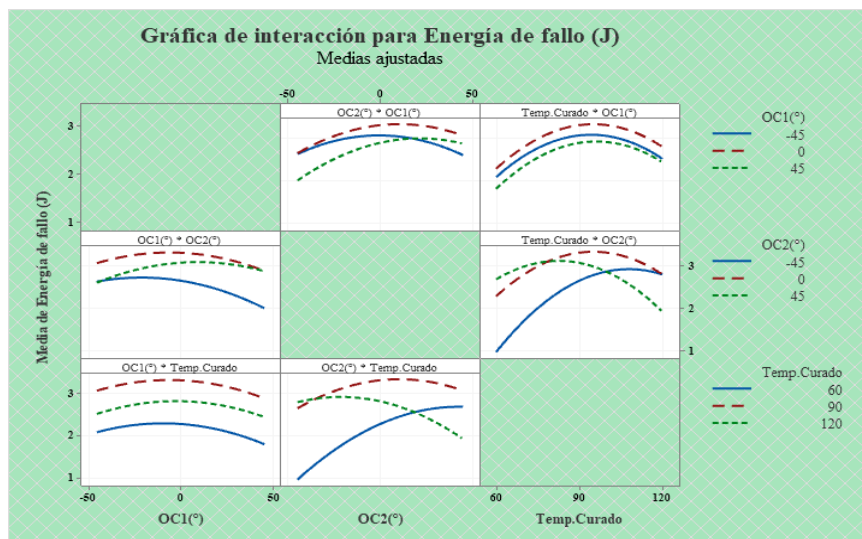


Figura 3.53 Gráfica de efectos de interacción sobre la energía media de fallo.

Fuente: Minitab



En base a la ecuación de regresión ejecutada en el análisis de varianza se obtiene la superficie expuesta en la figura en esta gráfica se observa el comportamiento de la energía media de fallo respecto a cada factor de entrada empleada en el análisis.

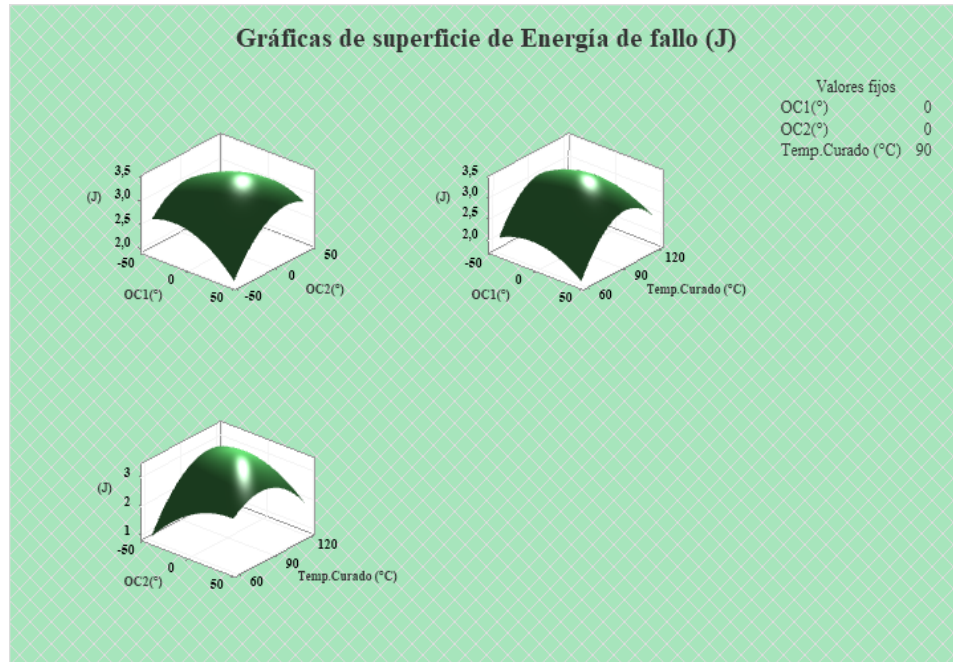


Figura 3.54 Gráfica de Superficie de respuesta de la energía media de fallo

Fuente: Minitab

### 3.2.6.1.Optimización de la energía media de fallo

Utilizando la función de deseabilidad se engloba los tres factores utilizados y poder definir una única una única combinación como óptimo para conocer la máxima respuesta para la energía media de falla en el ensayo de impacto.

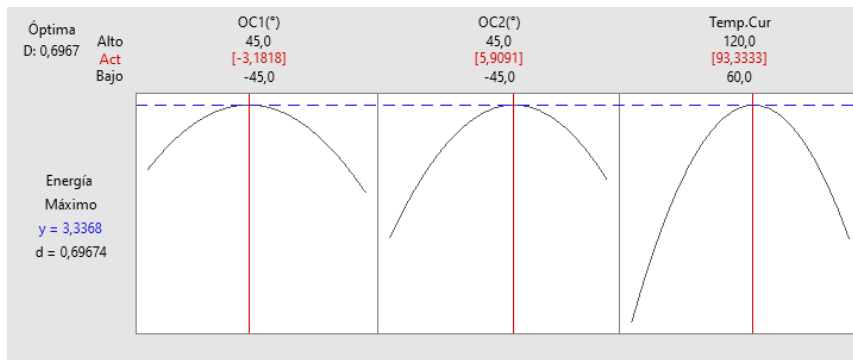


Figura 3.55 Gráfica de optimización para la energía media de falla.

Fuente: Minitab

El punto óptimo con los respectivos niveles de cada factor se muestra en la tabla 3.75, los parámetros optimizados son orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado.

Tabla 3.75 Valores predichos del punto óptimo de la energía media de fallo

<b>Factores</b>	Orientación 1	-3,1818
	Orientación 2	5,9091
	Temperatura de curado	93,33
<b>Respuesta</b>	Energía media de falla (J)	3,3368

Fuente: Autor

### 3.2.7. Optimización simultánea

Para determinar los valores de optimización simultánea donde se engloba el valor de las deseabilidades individuales, estimadas en base a los valores predichos se aprovecha un único valor analizable global, este es la deseabilidad compuesta cuyo valor se visualiza en la figura.

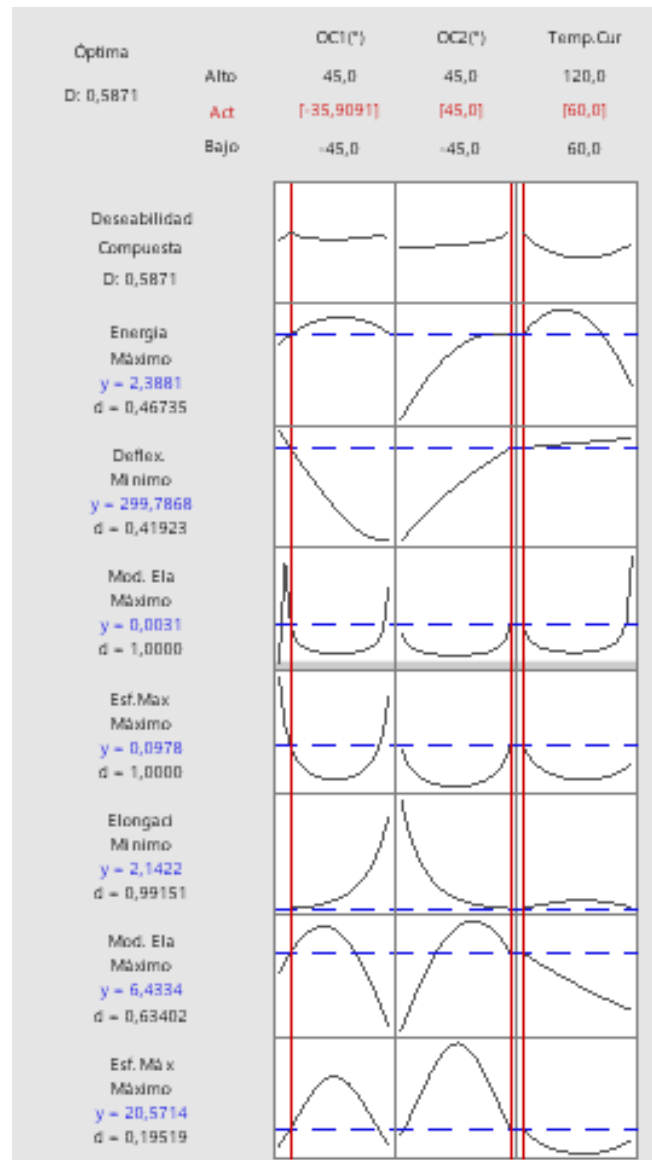


Figura 3.56 Grafica de optimización simultánea.

Fuente: Minitab

En la tabla 3.76, se visualiza la configuración óptima del material compuesto para obtener el máximo rendimiento de sus propiedades mecánicas.

Tabla 3.76 Configuración óptima del material compuesto

Variable	Valor de configuración
OC1(°)	-35,9091
OC2(°)	45
Temp. Curado (°C)	60

Fuente: Autor

En base a la ecuación de regresión que se generó en el análisis de varianza de cada respuesta experimental se obtiene las siguientes respuestas predichas, que se expone en la tabla

Tabla 3.77Valores predichos del punto óptimo simultáneo.

Respuesta	Ajuste
Energía de fallo (J)	2,388
Deflexión. (mm)	299,8
Mod. Elast a flexión (MPa)	0,003108
Esf.Max. a flexión (MPa)	0,09784
Elongación	2,142 %
Mod. Elast. a tracción (Mpa)	6,433
Esf. Máx. a tracción (Mpa)	20,57

Fuente: Autor

### 3.3. Verificación de hipótesis

Para verificar la hipótesis planteada en este estudio el cual menciona que, “*La optimización bajo metodología de superficie de respuesta del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira permitirá optimizar las propiedades mecánicas*”, esto se determina examinando las significancias calculadas en el ANOVA para lo cual es necesario examinar los valores de la deseabilidad global puesto que en el mismo se contempla todas las propiedades analizadas en la investigación, para así obtener la verificación general de la hipótesis. Teniendo en cuenta que para aceptar o rechazar la hipótesis nula es importante considerar que el nivel de significancia  $\alpha$  es el 5%.

Tabla 3.78 ANOVA de la deseabilidad global

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medio.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,342819	0,038091	1222,75	0,000
Lineal	3	0,007059	0,002353	75,53	0,000
OC1(°)	1	0,000248	0,000248	7,97	0,008
OC2(°)	1	0,005772	0,005772	185,28	0,000
Temp. Curado (°C)	1	0,001039	0,001039	33,34	0,000
Cuadrado	3	0,310758	0,103586	3325,18	0,000
OC1(°) *OC1(°)	1	0,001764	0,001764	56,62	0,000
OC2(°) *OC2(°)	1	0,002420	0,002420	77,69	0,000
Temp. Curado (°C) *Temp. Curado (°C)	1	0,296362	0,296362	9513,44	0,000
Interacción de 2 factores	3	0,025002	0,008334	267,52	0,000
OC1(°) *OC2(°)	1	0,001069	0,001069	34,32	0,000
OC1(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,000426	0,000426	13,66	0,001
OC2(°) *Temp. Curado (°C)	1	0,023507	0,023507	754,59	0,000
Error	35	0,001090	0,000031		
Falta de ajuste	3	0,001090	0,000363	*	*
Error puro	32	0,000000	0,000000		
Total	44	0,343909			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 96,6% de la variabilidad de la deseabilidad, puesto que contempla que el p-valor del modelo es de 0,000 menor que la significancia de error, a pesar que en la gráfica 3.56 se observa una deseabilidad individual bajo para el esfuerzo máximo a tracción, energía media de fallo y deflexión, por lo que se puede concluir la hipótesis planteada en el análisis de investigación de la siguiente manera.

$H_0$ : La optimización bajo metodología de superficie de respuesta del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira no permitirá optimizar las propiedades mecánicas”

$H_1$ : La optimización bajo metodología de superficie de respuesta del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira permitirá optimizar las propiedades mecánicas”

Realizado el análisis basado en los resultados en la tabla 3.78 donde se puede identificar las diferencias significativas correspondientes a cada propiedad mecánica, obteniendo un valor p menor a la significancia del margen de error, por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa, donde la optimización bajo metodología de superficie de respuesta del material compuesto de matriz polimérica epoxi reforzado con fibra de Chambira permitirá optimizar las propiedades mecánicas.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

El trabajo experimental sobre la optimización de las propiedades mecánicas mediante el método de superficie de respuesta permitió obtener las siguientes conclusiones.

Se utilizó el diseño de Box-Benhken el cual permitió generar un modelo de experimentación dirigido al método de superficie de respuesta permitió generar 45 corridas efectuados con 3 réplicas para ejecutar los ensayos mecánicos pertinentes, obteniendo 15 combinaciones por ensayo, el cual permitió además generar 135 probetas.

El método de elaboración del material compuesto mediante estratificación al vacío ofrece excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo ya que ayuda a la eliminación de porosidad en la interfaz, además, permite descartar el exceso de resina en la formación del material.

Se efectuó un secado a las probetas en un intervalo de tiempo de 60 a 120 °C, sin embargo, se consideró que la orientación de las fibras es un factor predominante para obtener las mejores propiedades mecánicas del material compuesto, además, del espesor mientras que con la variación de la temperatura no se observa variaciones significantes en el rendimiento del composite.

Basado en la Normas ASTM se consiguió la aplicación de los ensayos mecánicos a tracción, flexión e impacto mismos que cumplieron con el proceso de elaboración y número de probetas para cada ensayo.

La metodología de superficie de respuesta permitió la evaluación de las propiedades mecánicas del composite mismo que arrojó los siguientes resultados:

- ✓ El esfuerzo máximo a tracción ofrece su mejor desempeño cuando la orientación de la fibra OC1 es  $-04545$ , OC2 es  $1,3636^\circ$ , con una temperatura de curado de  $60^\circ\text{C}$  alcanza una respuesta predicha de  $105,967$  [MPa]
- ✓ El módulo de elasticidad a tracción ofrece su mejor desempeño cuando la orientación de la fibra OC1 es  $-2,2727$ , OC2 es  $7,7273^\circ$ , con una temperatura de curado de  $60^\circ\text{C}$  alcanza una respuesta predicha de  $7,8523$  [MPa]
- ✓ La elongación ofrece su mejor desempeño cuando la orientación de la fibra OC1 es  $-45$ , OC2 es  $45^\circ$ , con una temperatura de curado de  $60^\circ\text{C}$  alcanza una respuesta predicha de  $2,043$  %.
- ✓ El esfuerzo máximo a flexión ofrece su mejor desempeño cuando la orientación de la fibra OC1 es  $-45$ , OC2 es  $-45^\circ$ , con una temperatura de curado de  $60^\circ\text{C}$  alcanza una respuesta predicha de  $0,1793$  [MPa]
- ✓ El módulo de elasticidad a flexión ofrece su mejor desempeño cuando la orientación de la fibra OC1 es  $45$ , OC2 es  $45^\circ$ , con una temperatura de curado de  $60^\circ\text{C}$  alcanza una respuesta predicha de  $0,0062$  [MPa].
- ✓ La deflexión ofrece su mejor desempeño cuando la orientación de la fibra OC1 es  $-11,0512$ , OC2 es  $-45^\circ$ , con una temperatura de curado de  $60^\circ\text{C}$  alcanza una respuesta predicha de  $146,19$  [mm]
- ✓ La energía media de fallo ofrece su mejor desempeño cuando la orientación de la fibra OC1 es  $-3,1818$ , OC2 es  $5,9091^\circ$ , con una temperatura de curado de  $60^\circ\text{C}$  alcanza una respuesta predicha de  $3,3368$  [J]

Se generó la optimización de las respuestas estableciendo prediciendo los puntos óptimos para cada propiedad siendo los valores máximos que se puede obtener con cada configuración de factores.

- ✓ Se entiende que el modelo explica el  $96,6\%$  de la variabilidad de la deseabilidad, de las propiedades a pesar que se observa una deseabilidad individual bajo para el esfuerzo máximo a tracción, energía media de fallo y deflexión.
- ✓ La configuración óptima simultánea con la que se aprovecha las propiedades mecánicas del material compuesto es al combinar la OC1 de  $-35,9^\circ$ ; la OC2 de  $45^\circ$



y una temperatura de 60 °C, valores predichos de la deseabilidad con un valor de 0,5871, con mencionada configuración se consigue los siguientes resultados.

Esfuerzo máximo a tracción: 20,57 [MPa]

Módulo de elasticidad a tracción 6, 433[MPa]

Elongación 2,143%

Esfuerzo máximo a flexión:0,0978[MPa]

Módulo de elasticidad a flexión 0,0031 [MPa]

Deflexión máxima: 299,8[mm]

Energía media de fallo 2,38[J]

#### **4.2. Recomendaciones**

La fibra de chambira es considerada una fibra especial ya que mientras más se deshila se forman micro fibras más delgadas por tal motivo al momento de tejer la fibra considerar 4 fibras por pasada.

Al momento de realizar las planchas de las probetas encerar bien el lugar de trabajo, debido a que eso ayuda a que el material compuesto tenga un buen acabado en la parte inferior y no tenga porosidades.

Tener cuidado al momento de hacer el vaciado, debido a que, si se hace mucha succión la bomba, esta podrá succionar en exceso la resina y podríamos tener problemas al momento de obtener las planchas.

Definir correctamente los factores y niveles de entrada para la determinación de la matriz experimental.

El tiempo en el que se deben desmoldar las probetas es de 24 horas, para así conseguir una buena interfaz entre la matriz y el refuerzo.

Sobre estimar las dimensiones en la configuración de las planchas del material compuesto para no tener problemas al momento de cortar las probetas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] W. D. Callister, "Materials Science an Engeneering an Introduction", United States of America: Wiley Binder Version ISBN, 2014.
- [2] S. Witayakran, W. Smitthipong, R. Wangpradid, R. Chollakup y P. Clouston, «"Natural Fiber Composites: Review of Recent Automotive Trends",» *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*, pp. 1-9, 2017.
- [3] G. V, D. J, S. Galeas, P. P y R. N, «Nuevos Materiales, Aplicaciones Estructurales e Industriales,» 2011. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>.
- [4] D. Ramirez, «Estudio preliminar de un material compuesto de matriz termoplástica con adición particulada en caracterización,» 2015.
- [5] S. G. L. Geovany, "ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LAS PRUEBAS TECNOLÓGICAS SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE COMPUESTOS DE RESINA POLIMÉRICA REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DEL ECUADOR BAJO NORMA ASTM", 2019.
- [6] B. Eduardo, R. Miguel, M. Bogart y G. Claudia, «Desarrollo de un material compuesto ultraligero para construir la plataforma de una mesa vibradora,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. 14, nº 4, pp. 595-611, 2013.
- [7] H. Ren, X. Chen y Y. Chen, «Chapter 1 - Introduction,» de *Reliability Based Aircraft Maintenance Optimization and Applications*, AP, 2017, pp. 1-18.
- [8] S. Barroso, J. Gil y A. Camacho, «Materiales compuestos reforzados con partículas,» de *Introducción al conocimiento de los materiales y sus aplicaciones*, Madrid, IBS electrónico, 2010, p. 690.
- [9] A. M. A. CASTIBLANCO, *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIAL COMPUESTO RESINA POLIÉSTER - FIBRA DE PIÑA*, 2017.

- [10] A. Miravete, *Los nuevos Materiales en la Construcción*, Segunda ed., España: Reverte S.A., 2002.
- [11] M. Loos, «Chapter 2: Composites,» de *Carbon Nanotube Reinforced Composites*, USA, PDL Handbook Series, 2015, pp. 37-72.
- [12] L. Calzado y F. Ortiz, «Eczema alérgico de contacto por resina epoxi,» *Actas Dermo-Sifiliográficas*, vol. 69, nº 9, pp. 616-618, 2005.
- [13] M. G. Antigüedad, *Procesado y caracterización de materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con nanofibras de carbono para aplicaciones tecnológicas*, Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Madrid, Españ, 2018.
- [14] L. SM, *Handbook of composite reinforcements*, New York, USA: John Wiley & Sons, 1992.
- [15] R. Wool y X. Sun, «Hurricane-Resistant Houses From Soybean Oil and Natural Fibers,» de *Bio-Based Polymers and Composites*, Academic Press, 2005, pp. 448-482.
- [16] P.K. Mallick, «Thermoplastics and thermoplastic–matrix composites for lightweight automotive structures,» de *Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles*, Boca Raton Boston New York Washington, DC, Woodhead Publishing, 2010, pp. 174-207.
- [17] M. J. M. Bravo, *Fibras foliares de Astrocaryum chambira Burret (Arecaceae) y especies afines, caracterización histológica y físico-química en relación a su potencial productividad comercial*, UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS ,FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS, Lima- Perú, 2013.
- [18] Y. I. A. W. Uwak, *USO SOSTENIBLE DE LA FIBRA VEGETAL DE LA CHAMBIRA ASTROCARYUM PARA DIVERSIFICAR LA ARTESANIA TEXTIL EN EL CENTRO POBLADO DE URAKUSA, PROVINCIA DE*

CONDORCANQUI, 2017.U. NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS F DE CIENCIAS ECONÓMICAS, CHACHAPOYAS - PERÚ, 2018.

- [19] A. R. F. Enrique y C. Y. F. Javier, CARACTERIZACION MECANICA DEL COMPOSITE UV FOTOCURABLE RESINA ASTROCARYUM CHAMBIRA ECUATORIANA, ESPE, CARRERA DE INGENIERIA MECANICA,, SANGOLQUI, 2020.
- [20] M. Valencia R y R. N. B, Palmas Ecuatorianas: Biología y uso sostenible, Herbario QCA de la Pontificia de la Universidad Católica del Ecuador, Quito, 2013.
- [21] M. C. Monrroy Cardenas , Caracterización macromecánica de un material compuesto a base de ácido poliláctico (PLA) y fibras de cumare (Astrocaryum Chambira), Universidad de los Andes, departamento de Ingeniería Mecánica, Bogotá , 2011.
- [22] C. Perez, *“Elaboración y comercialización de calzado artesanal para damas a base de fibras naturales de la Amazonía.”* Universidad técnica de Ambato., 2017.
- [23] M. Marín, B. Millán y F. Kahn, «Anatomy and physicochemical properties of the chambira fiber,» *Scielo Analytics*, vol. 19, nº 1, 2012.
- [24] W. Mora y B. Ramon, «biocompuesto de fibra natural de palma cumare (Astrocaryum Chambira) y resina bioepoxi, aplicaciones industriales,» *Materiales compuestos* , vol. 2, nº 3, pp. 28-34, 2017.
- [25] A. Sánchez, «ESTUDIO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS COMO MÉTODO DE INTERVENCIÓN EN TUBERÍAS DE TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS,» Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Norte,» Barranquilla , 2018.

- [26] K. D. P. a. J. E. D. H. J. A. Lukaszewicz, «A concept for the in situ consolidation of thermoset matrix prepreg during automated lay-up,» *Compos Part B Eng*, vol. 45, n° 1, p. 538–543, 2013.
- [27] E. C. Freire, «Comparativa del módulo de elasticidad de materiales biocomposite entre ensayos dinámicos y estáticos,» *Investigar*, pp. 1-7, 2019.
- [28] W. & H. J. Smith, *Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales*, Cuarta ed., 2014.
- [29] E. H., «Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abaca en matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración, Tesis, Universidad Técnica de Ambato,» [En línea].
- [30] D. R. Askeland y W. J. Wright, *Ciencia e ingeniería de materiales*, 7 ed., México: Cengage Learning, 2016.
- [31] A. Díaz, *Diseño Estadístico de Experimentos*, Medellín: Universidad de Antioquia, 2009.
- [32] H. Gutierrez y R. Salazar, *Análisis y Diseño de Experimentos*, Tercera ed., México: McGrawHill, 2012.
- [33] M. Careaga, «Superficies de Respuesta mediante un Diseño Central Compuesto,» *Revista Varianza*, n° 11, 2015.
- [34] Y. Doaquiz y M. Brigitte, «Producción y Biosíntesis de fibras naturales,» *Una revisión*, vol. 6, n° 1, pp. 29-46, 2016.

## ANEXOS

### ANEXO 1



### ANEXO 2



## ANEXO 3



**Nombre comercial:** JEV SOLUCIONES EN INGENIERIA  
**Razón Social:** LEDESMA VARGAS YASILA VIOLETA  
**RUC/Ci:** 1711629087001  
**Dirección:** DE LAS CAMELIAS E17-270 Y DE LAS NUECES  
**Correo:** facturacion@jevsoluciones.com  
**Teléfono:** 0999531704 /02 3261 202

**COTIZACION: No. 202102000009**

**Cliete:**  
 JHONNY MICHAEL PLASENCIA TERCERO  
**Ci/RUC:**  
 0504152232  
**Dirección:**  
 SALCEDO - BARRIO SAN ANTONIO 1  
**Teléfono:**  
 0987031035  
**Fecha Emisión:**  
 10/02/2021  
**Vencimiento:**  
 15 días.

#	Item	Descripción	Cantidad	Precio	Subtotal
1	Bolsa de vacío PO 75µ (max 120°) METRO - BVPO*	100cm *120 cm Bolsa de vacío.	2.00 Unid.	\$7.14	\$14.28
2	Butilo AN-3 12mm x 2 mm x 21 grey (150°) ROLLO - BAN-3		1.00 ROLLO	\$16.52	\$16.52
3	FIBRA DE CARBONO 3K TWILL 198g/M2 100x120 - FC3KTW0*		2.00 Unid.	\$62.50	\$125.00
4	Film perforado ELA 20 100cm 25µ blue (max120°) M2 - FPELA20*	100cm*100cm Film perforado	2.00 Unid.	\$4.02	\$8.04
5	Manta de absorción POLY-FLEX 120gr/m2 * ancho 100cm - MAPF*	100cm*100cm Manta de absorción POLY-FLEX	2.00 Unid.	\$6.00	\$12.00
6	Peel ply PA - PP80*	100cm * 100 cm Peel ply PA80	2.00 Unid.	\$7.59	\$15.18
7	Q102 AB RESINA CATALIZADOR EPÓXICO kg - Q102AB	RESINA Q102A 1Kg CATALIZADOR Q102B 120 Gr	6.00 Unid.	\$44.64	\$267.84

### Información Adicional

**Descripción:** RETIRO EN OFICINAS JEV  
**Forma de Pago:** DE CONTADO  
**Usuario:** VIOLETA LEDESMA

Descuento:	\$0.00
Subtotal 12 %:	\$458.86
Subtotal 0%:	\$0.00
IVA:	\$55.06
Total:	\$513.92
Saldo:	\$513.92

Atentamente,

**Ing. Yasila Ledesma**

Gerente General

gerencia@jevsoluciones.com

099 953 1704 / 023 261 202



## ANEXO 4



### PR2032 Laminating Resin For Composite Parts

NEW HARDENER

#### DESCRIPTION

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

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

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

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

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

#### PRODUCT SPECIFICATIONS

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

#### HANDLING and CURING

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

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

Page 1

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



## PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

### TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



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

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

### PACKAGING WEIGHTS



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

### SAFETY and HANDLING

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

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



## PTM&W Industries, Inc.

10640 S. Painter Avenue Santa Fe Springs, CA 90670-4092  
562-946-4511 800-421-1518 FAX: 562-941-4773

Visit Us At: [www.aeropoxy.com](http://www.aeropoxy.com) Send Questions To: [info@aeropoxy.com](mailto:info@aeropoxy.com)

## PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

### TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH3630	PR2032 with PH3660				PR2032 PH3663	PR2032 PH3665	ASTM Method
		Neat Resin (Unreinforced)	With Fiberglass	With Graphite	With Kevlar			
Mix Ratio	100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume					100 : 25 By Weight	100:27 By Wt. 3 to 1 By Vol.	PTM&W
Pot Life, @ 77°F	30 minutes	1 hour				1.5 Hour	2 hours	D2471
Color	Lt. Amber	Light Amber				Light Amber	Lt. Amber	Visual
Mixed Viscosity, @77°F, cps	800-875 cps	900 - 950 cps				440 cps	925-975 cps	D2393
Cured Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, grams, cc	1.16	1.11				1.109	1.12	D1475
Density, lb./cu. Inch	.0420	.0401				.0401	.0410	D792
Specific Volume, cu. in./lb.	23.8	25.0				24.96	24.4	D792
Tensile Strength, psi <sup>(1)</sup>	45,350 psi	9828 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % <sup>(1)</sup>	1.91 %	1.90 %	1.96 %	0.91 %	1.31 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile modulus, psi <sup>(1)</sup>	2,800,000 psi	418,525 psi	2,620,000 psi	8,170,000 psi	3,770,000 psi	2,647,520 psi	2,520,000 psi	D638
Flexural Strength, psi <sup>(1)</sup>	68,167 psi	16,827 psi	62,285 psi	96,541 psi	34,524 psi	65,461 psi	66,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi <sup>(1)</sup>	2,770,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,500,000 psi	2,639,766 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., T <sub>g</sub>	194°F	196°F				194°F	194°F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 <sup>-4</sup> in./in./°F	4.3 x 10 <sup>-4</sup> in./in./°F				4.14 x 10 <sup>-4</sup> in./in./°F	4.15 x 10 <sup>-4</sup> in./in./°F	D696

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

### PACKAGING WEIGHTS



	Quart Kit	Gallon Kit	Pail Kit	Drum Kit
PR2032	2.25 lb.	7.5 lb.	48 lb.	500 lb.
PH3630, PH3660 or PH3665	.66 lb.	2 lb.	13 lb.	135 lb.
PH3663	.5 lb.	1.9 lb.	12 lb.	126 lb.
Kit	2.9 lb.	2.85 lb.	9.5 lb.	635 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 w-4 Hardeners Bulletin / ZW-38 / 062408-CZ



## 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.aeropoly.com](http://www.aeropoly.com) Send Questions To: [info@aeropoly.com](mailto:info@aeropoly.com)



# ANEXO 5

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



Designation: D3039/D3039M – 17

## Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation D3039/D3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

### 1. Scope

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

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

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

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

### 2. Referenced Documents

#### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

- D792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins

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

Current edition approved Oct. 15, 2017. Published November 2017. Originally approved in 1971. Last previous edition approved in 2014 as D3039/D3039M – 14. DOI: 10.1520/D3039\_D3039M-17.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

- D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
- D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials
- D3878 Terminology for Composite Materials
- D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
- E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems
- E111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
- E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature
- E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages
- E456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application
- E1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

### 3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D883 defines terms relating to plastics. Terminology E6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E456 and Practice E177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D3878 shall have precedence over the other standards.

#### 3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *Note*—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental dimensions, shown within square brackets:  $[M]$  for mass,  $[L]$  for length,  $[T]$  for time,  $[\Theta]$  for thermodynamic temperature,

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

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

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

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

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

### 3.3 Symbols:

*A*—average cross-sectional area of a coupon.

*B<sub>y</sub>*—percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about *y* axis of the specimen (about the narrow direction).

*B<sub>z</sub>*—percent bending for a uniaxial coupon of rectangular cross section about *z* axis of the specimen (about the wide direction).

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

*E*—modulus of elasticity in the test direction.

*F<sup>u</sup>*—ultimate tensile strength in the test direction.

*F<sup>su</sup>*—ultimate shear strength in the test direction.

*h*—coupon thickness.

*L<sub>g</sub>*—extensometer gage length.

*L<sub>min</sub>*—minimum required bonded tab length.

*n*—number of coupons per sample population.

*P*—force carried by test coupon.

*P<sup>f</sup>*—force carried by test coupon at failure.

*P<sup>max</sup>*—maximum force carried by test coupon before failure.

*s<sub>n-1</sub>*—standard deviation statistic of a sample population for a given property.

*w*—coupon width.

*x<sub>i</sub>*—test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

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

$\delta$ —extensional displacement.

$\epsilon$ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

$\epsilon$ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

$\sigma$ —normal stress.

$\nu$ —Poisson's ratio.

## 4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording the force. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum force carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

## 5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

## 6. Interferences

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

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

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

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

## 7. Apparatus

7.1 *Micrometers and Calipers*—A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in] nominal diameter ball interface shall be



used to measure the specimen thickness when at least one surface is irregular (such as the bag-side of a laminate). A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball interface or with a flat anvil interface shall be used to measure the specimen thickness when both surfaces are smooth (such as tooled surfaces). A micrometer or caliper, with a flat anvil interface, shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample dimensions. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of  $\pm 0.0025$  mm [ $\pm 0.0001$  in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 0.025$  mm [ $\pm 0.001$  in.] is adequate for width measurement.

**7.2 Testing Machine**—The testing machine shall be in conformance with Practices E4 and shall satisfy the following requirements:

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

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

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

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

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

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

**7.2.5 System Alignment**—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment

during tensile testing. In addition to Practice E1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

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

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

**7.2.5.3** The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1 and Eq 2 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon. Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

**7.2.5.4** Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process

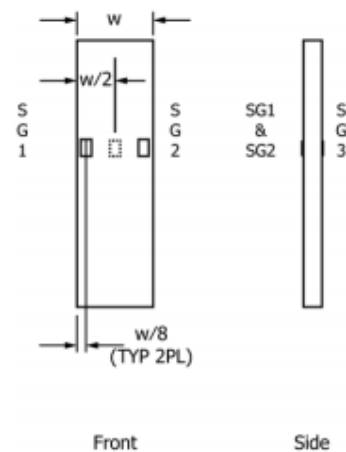


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation force range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels (>1000  $\mu\epsilon$ ). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

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

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

where:

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

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

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

**7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—**Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].<sup>3</sup> Gage calibration certification shall comply with Test Methods E251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the

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

**7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites** in accordance with Practice E1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

**7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages** having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350  $\Omega$  or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

**7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation** is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

**7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage.** The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 14.

**7.3.2 Extensometers—**For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

NOTE 4—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

**7.4 Conditioning Chamber—**When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to

<sup>3</sup> A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- $\Omega$  resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

<sup>4</sup> Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54-65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.



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

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

**8. Sampling and Test Specimens**

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

*NOTE 5*—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

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

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

**8.2.1 General Requirements:**

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

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

**TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements**

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

<sup>a</sup> See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

**8.2.2 Specific Recommendations:**

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

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

**TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations<sup>a</sup>**

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

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

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

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

**8.2.2.5 Tab Material**—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]<sub>n</sub>s laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the force direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

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

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

where:

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

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

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

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

### 8.3 Specimen Preparation:

**8.3.1 Panel Fabrication**—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

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

**8.3.3** If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods **D792**. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method **D3171**, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method **D2584**. The void content equations of Test Methods **D2734** are applicable to both Test Method **D2584** and the matrix digestion procedures.

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

## 9. Calibration

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

## 10. Conditioning

**10.1** The recommended pre-test condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method **D5229/D5229M**; however, if the test requestor does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, no conditioning is required and the test specimens may be tested as prepared.

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

**Note 6**—The term moisture, as used in Test Method **D5229/D5229M**, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.



- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
  2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

NO DECIMAL	.X	.XX
± 3	± 1	± .3
  3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
  4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO  $\overline{A-A}$  WITHIN ± .5°.
  5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6 $\sqrt{r}$  (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
  6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO  $\overline{A-A}$ , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
  7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

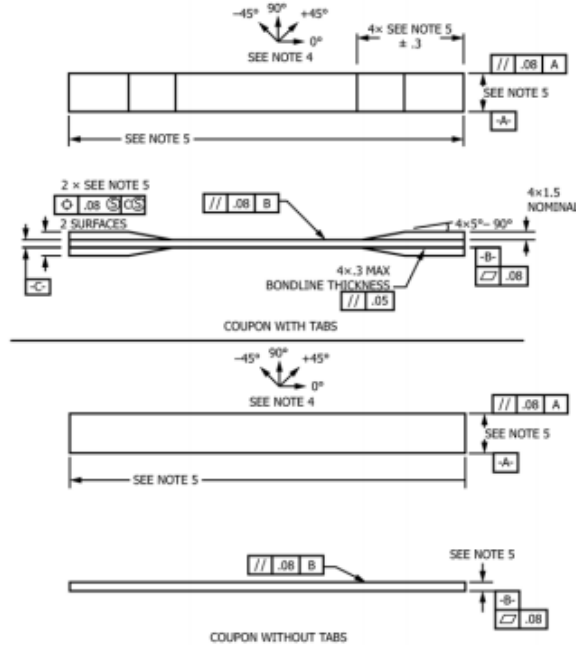


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

### 11.2 General Instructions:

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

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

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

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of force application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

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

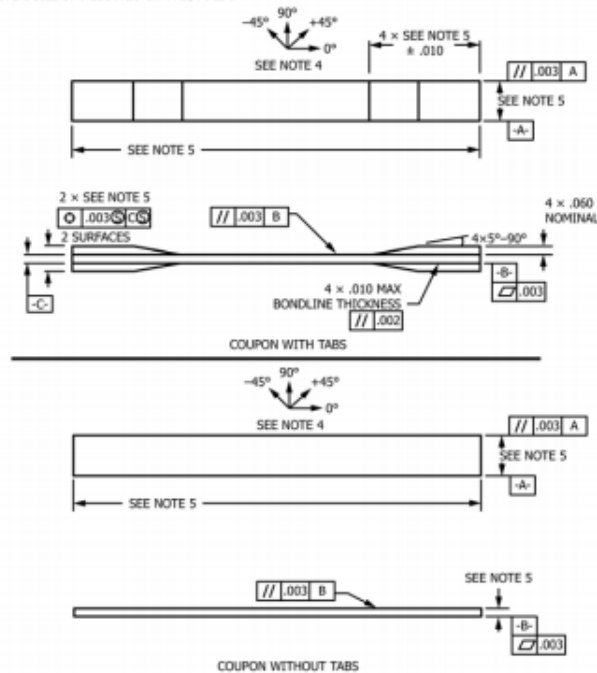


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min<sup>-1</sup>.

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

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

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

alistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded. In the case where there is no fluid exposure control, the percentage moisture loss of the specimen prior to test completion may be estimated by placing a conditioned traveler coupon of known weight within the test chamber at the same time as the specimen is placed in the chamber. Upon completion of the test, the traveler coupon is removed from the chamber, weighed, and the percentage weight calculated and reported.

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

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

NOTE 10—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of emery cloth (suggested grit of 80 to 180) between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm (0.5 in.) past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

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

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 4, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|e_f - e_b|}{|e_f + e_b|} \quad (4)$$

where:

- $e_f$  = indicated strain from front transducer,  $\mu\epsilon$ ;
- $e_b$  = indicated strain from back transducer,  $\mu\epsilon$ ; and
- $B_y$  = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the force to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record force versus crosshead displacement (and force versus strain, if extensometers are utilized) continuously or at frequent regular intervals. For this test method, a sampling rate of 2 to 3 data recordings per second, and a target minimum of 100 data points per test are recom-

mended. If a transition region or initial ply failures are noted, record the force, strain, and mode of damage at such points. Record the method used to determine the initial failure (visual, acoustic emission, etc.). If the specimen is to be failed, record the maximum force, the failure force, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 11—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes force versus head displacement data and force versus time data.

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

12. Validation

12.1 Values for ultimate properties shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious flaw, unless such flaw constitutes a variable being studied. Retests shall be performed for any specimen on which values are not calculated.

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

13. Calculation

13.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 5 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 6.

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

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

where:

- $F^u$  = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- $P^{max}$  = maximum force before failure, N [lbf];
- $\sigma_i$  = tensile stress at  $i$ th data point, MPa [psi];
- $P_i$  = force at  $i$ th data point, N [lbf]; and
- $A$  = average cross-sectional area from 11.2.2,  $mm^2$  [ $in.^2$ ].

13.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 7 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (7)$$

where:

- $\epsilon_i$  = tensile strain at  $i$ th data point,  $\mu\epsilon$ ;
- $\delta_i$  = extensometer displacement at  $i$ th data point, mm [ $in.$ ]; and
- $L_g$  = extensometer gage length, mm [ $in.$ ].

13.3 *Tensile Modulus of Elasticity*:

NOTE 12—To minimize potential effects of bending it is recommended

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending $\mu\epsilon$
Start Point $\mu\epsilon^A$	End Point $\mu\epsilon$	
1000 <sup>B</sup>	3000	2000

<sup>A</sup> 1000  $\mu\epsilon$  = 0.001 absolute strain.  
<sup>B</sup> This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000  $\mu\epsilon$ , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

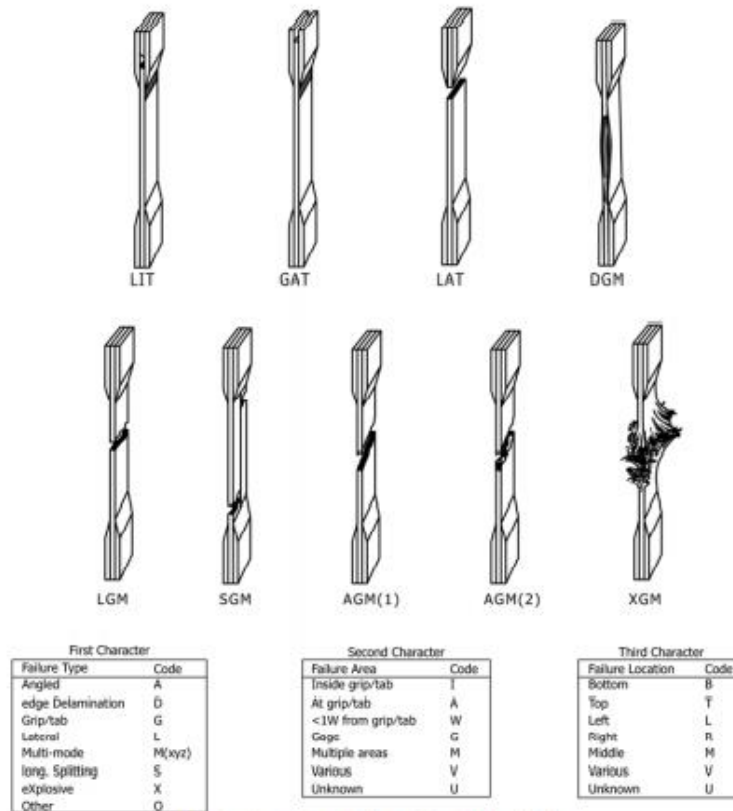


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

13.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 8. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

13.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

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

where:

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

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

NOTE 13—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

13.4 *Poisson's Ratio:*

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



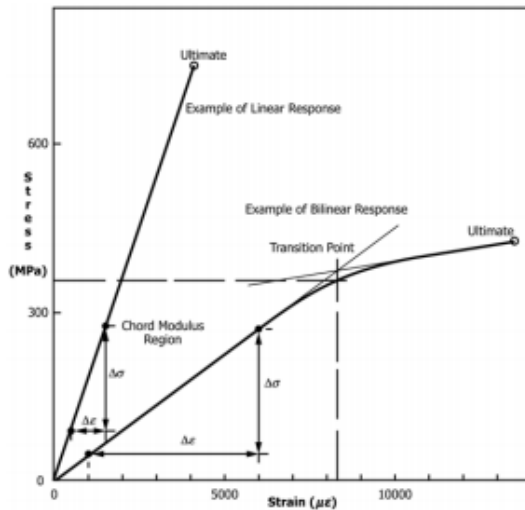


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

13.4.1 *Poisson's Ratio By Chord Method*—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied force),  $\epsilon_t$ , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied force),  $\epsilon_l$ , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 9 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

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

where:

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

13.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

13.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longi-

tudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

13.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

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

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

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

where:

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

#### 14. Report

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

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

14.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

14.1.15 Dimensions of each test specimen.

14.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Speed of testing.

14.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

14.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

14.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

14.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

14.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure force was less than the maximum force before failure.

14.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

14.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

14.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias<sup>5</sup>

15.1 Precision:

15.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D3039/D3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

15.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of force application and displacement/strain measurement, speed of force application, alignment of test specimen with applied force, parallelism of the grips, grip pressure, and type of force control (displacement, strain, or force).

15.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

15.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D3039/D3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

15.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

15.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

<sup>5</sup> A research report is available from ASTM International Headquarters. Request RR:D30-1003.

TABLE 4 Precision Statistics

Material	$\bar{x}$	$s \bar{x}$	$S_y$	$S_D$	$S/\bar{x}, \%$	$S_D/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

15.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.<sup>6</sup> Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 4 are defined as:

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

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

**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

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

ity (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

15.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 16. Keywords

16.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

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

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

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



## ANEXO 6

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



Designation: D7264/D7264M – 21

### Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials<sup>1</sup>

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

#### 1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 *ASTM Standards*:<sup>2</sup>

- D790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
  - 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*:<sup>3</sup>
- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric

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

Current edition approved Jan. 1, 2021. Published February 2021. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2015 as D7264/D7264M – 15. DOI: 10.1520/D7264\_D7264M-21.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

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



# ANEXO 7

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



Designation: D5628 – 18

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

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 ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

### 1. Scope\*

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

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

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

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Brucceton Staircase method of calculation are used.

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

### 2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*<sup>2</sup>

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

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved May 1, 2018. Published June 2018. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2010 as D5628 - 10. DOI: 10.1520/D5628-18.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

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:*<sup>3</sup>

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.

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

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Mar 23 10:09:29 EDT 2021

Downloaded/printed by

Escuela Politecnica Nacional (Escuela Politecnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.