



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

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

TEMA:

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

Autor: Johnny Israel Tipantasig Pérez

Tutor: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO – ECUADOR

Marzo - 2023

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“OPTIMIZACIÓN - MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL CHAMBIRA (Astrocaryum) Y SINTÉTICA (VIDRIO) MEDIANTE INFUSIÓN DE RESINA AL VACÍO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**, elaborado por el Sr. Johnny Israel Tipantasig Pérez, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1804361457, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, marzo 2023



Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Johnny Israel Tipantasig Pérez con C.I. 1804361457**, declaro que las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“OPTIMIZACIÓN - MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL CHAMBIRA (Astrocaryum) Y SINTÉTICA (VIDRIO) MEDIANTE INFUSIÓN DE RESINA AL VACÍO 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, marzo 2023



Johnny Israel Tipantasig Pérez

C.I. 1804361457

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, marzo 2023



Johnny Israel Tipantasig Pérez

C.I. 1804361457

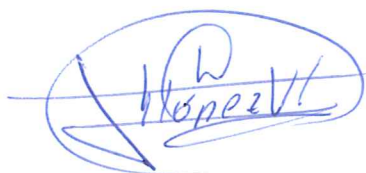
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Johnny Israel Tipantasig Pérez de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo El tema: **“OPTIMIZACIÓN - MSR DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ EPOXI REFORZADO CON FIBRA NATURAL CHAMBIRA (Astrocaryum) Y SINTÉTICA (VIDRIO) MEDIANTE INFUSIÓN DE RESINA AL VACÍO Y SU INCIDENCIA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS”**.

Ambato, marzo 2023

Para constancia firma:



Ing. Mg. Jorge Enrique López Velástegui

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. Mg. Henry Wilson Vaca Ortega

MIEMBRO CALIFICADOR

DEDICATORIA

Primeramente, quiero agradecerle a Dios por haberme dado la salud que es lo primordial para poder alcanzar cada meta planteada, por haberme dado valor y fuerza para culminar con mis estudios universitarios y hacerme sentir tan feliz en esta etapa de mi vida junto a mi familia.

A mis padres Juan Tipantasig y Elsa Pérez, que han sido los pilares para lograr mis objetivos, ellos me han inculcado buenos valores los cuales he practicado durante toda mi vida y me han llevado por un buen camino, también porque me brindan su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida para seguir adelante.

A mis hermanos Alexandra, José y Juan, que me apoyaron constantemente dándome consejos y sobre todo alentándome constantemente para superarme en esta etapa de la vida.

Especialmente quiero agradecer a mi mujer que estuvo ahí siempre apoyándome en los buenos y malos momentos de esta etapa, siempre brindándome sus palabras alentadoras y confiando en mí. A mi hijo Alexander Tipantasig que fue mi inspiración y me dio fuerzas para seguir adelante en pie de lucha.

Finalmente agradezco a toda mi familia y amigos que me apoyaron moralmente durante toda la carrera y confiaron en mi para no rendirme.

Johnny Israel Tipantasig Pérez

AGRADECIMIENTO

Este sueño cumplido se lo agradezco a DIOS y a la VIRGENCITA DE SANTA LUCIA, que me echaron sus bendiciones y me dieron la salud a mí y a mi familia y me han guiado por un buen camino para cumplir mis metas.

A mis amigos y familiares que estuvieron junto a mí en cada momento de mi vida apoyándome y ayudándome a superar los obstáculos que se me presentaron en el transcurso de mi carrera.

Agradeciendo también a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de forma especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica, la cual se convirtió en mi segundo hogar y me dio la oportunidad de expandir mis conocimientos y superarme tanto como persona y profesionalmente.

Gracias infinitas a mi tutor el Ing. Juan Paredes, que me brindo su conocimiento y estuvo guiándome desde el principio y hasta culminar con mi proyecto de titulación.

Johnny Israel Tipantasig Pérez

ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL

PORTADA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT	xx
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1. Antecedentes investigativos	1
1.2. Fundamentación teórica	3
1.2.1. Ingeniería de Materiales.....	3
1.2.2. Materiales compuestos en la actualidad.....	3
1.2.3. Aplicaciones de los materiales compuestos	4
1.2.4. Clasificación de los materiales compuestos.....	6
1.2.5. Materiales compuestos reforzados con fibras	6
1.2.6. Fibras artificiales y sintéticas	11
1.2.7. Fibras Naturales.....	14
1.2.8. Características para diseñar un material compuesto.....	17
1.2.9. Tipos de tejidos de las fibras	19
1.2.10. Materiales compuestos estructurales	19

1.2.11.	Matrices poliméricas.....	20
1.2.12.	Procesos para el conformado de materiales compuestos	22
1.2.13.	Hornos para el proceso de curado de materiales compuestos	27
1.2.14.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)	27
1.2.15.	Supuestos paramétricos para el análisis de un problema.	30
1.2.16.	Selección de pruebas estadísticas teniendo en cuenta el valor de significancia.....	30
1.2.17.	Ensayos mecánicos para pruebas de flexión, tracción e impacto.	31
1.3.	Objetivos	32
1.3.1.	Objetivo General	32
1.3.2.	Objetivos específicos	32
CAPÍTULO II.....		34
2.	METODOLOGÍA.....	34
2.1.	Diagrama de flujo	34
2.2.	Materiales.....	35
2.3.	Métodos de Investigación para el proyecto.....	38
2.4.	Metodología.....	39
2.5.	Pruebas estadísticas y valor de significancia correspondiente.	44
2.5.1.	Hipótesis.....	44
2.6.	Señalamientos de variables	44
2.6.1.	Variable independiente	44
2.6.2.	Variable dependiente	44
2.6.3.	Término de relación	44
2.7.	Operacionalización de variables	45
2.8.	Procedimiento para la formación del compuesto	47
2.8.1.	Obtención de los materiales	47

2.8.2.	Determinación de propiedades mecánicas de los componentes del material compuesto	48
2.8.3.	Corte del tejido de fibra natural y sintética a distintos ángulos.	49
2.8.4.	Determinación de la densidad del material compuesto en función del peso de las fibras de vidrio más chambira.	51
2.8.5.	Codificación de probetas para los ensayos mecánicos.	54
2.8.6.	Proceso para realizar el conformado de probetas.	56
2.8.7.	Curado de probetas al horno.....	60
2.8.8.	Corte de las muestras para los ensayos de tracción, flexión e impacto, en base a la normativa ASTM.....	61
2.9.	Preparación de probetas para corte laser	63
2.10.	Realización de los correspondientes ensayos mecánicos.....	65
CAPITULO III		71
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
3.1.	Interpretación y tabulación correspondientes a los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos.	71
3.1.1.	Resultados correspondientes a los resultados de los ensayos de tracción.....	.71
3.1.2.	Resultados de los ensayos realizados a Flexión	101
3.1.3.	Resultados correspondientes a los ensayos de Impacto.....	133
3.1.4.	Cuadro resumen de los resultados obtenidos de los 3 ensayos mecánicos.....	157
3.2.	Análisis de propiedades mecánicas para la comprobación de supuestos en tracción	158
3.3.	Análisis de propiedades mecánicas para la comprobación de supuestos en flexión.....	180
3.4.	Verificación de supuestos – energía de fallo.....	206

3.5. Optimización múltiple de respuestas – Tracción – Flexión – Impacto.....	213
3.6. Verificación de hipótesis.....	214
CAPITULO IV	216
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	216
4.1. Conclusiones	216
4.2. Recomendaciones	217
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	218
ANEXOS.....	223

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Tipos de matrices orgánicas.....	7
Tabla 1.2 Tipos de fibras de vidrio y sus propiedades.....	10
Tabla 1.3 Propiedades del Kevlar.....	13
Tabla 1.4 Propiedades de las fibras.....	13
Tabla 1.5 Características de las fibras vegetales.....	15
Tabla 1.6 Tipos de resinas.....	21
Tabla 2.1 Materiales para realizar el nuevo material compuesto.....	36
Tabla 2.2 Factores controlables en el diseño.....	40
Tabla 2.3 Combinaciones arrojadas en el diseño de experimentos.....	40
Tabla 2.4 Número de casos de estudio empleado el diseño de Box Behnken.....	42
Tabla 2.5 Variable Independiente.....	45
Tabla 2.6 Variable Dependiente.....	46
Tabla 2.7 Densidad promedio de la fibra de Chambira.....	48
Tabla 2.8 Densidad promedio de la fibra de vidrio.....	49
Tabla 2.9 Densidad de la Resina Epoxi (AEROPOXI PR2032-PH3630).....	49
Tabla 2.10 Secuencia del proceso para el conformado del material compuesto.....	50
Tabla 2.11 Pesos correspondientes a la cantidad de matriz y refuerzo para cada caso de estudio.....	52
Tabla 2.12 Fracciones volumétricas del refuerzo y matriz del material compuesto.....	53
Tabla 2.13 Códigos según los ensayos mecánicos a realizar.....	55
Tabla 2.14 Proceso para la formación de probetas.....	56
Tabla 2.15 Proceso de corte de probetas.....	63
Tabla 3.1 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 1.....	71
Tabla 3.2 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 2.....	73
Tabla 3.3 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 3.....	75
Tabla 3.4 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 4.....	77
Tabla 3.5 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 5.....	79
Tabla 3.6 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 6.....	81
Tabla 3.7 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 7.....	83
Tabla 3.8 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 8.....	85
Tabla 3.9 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 9.....	87
Tabla 3.10 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 10.....	89

Tabla 3.11	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 11...	91
Tabla 3.12	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 12....	93
Tabla 3.13	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 13....	95
Tabla 3.14	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 14....	97
Tabla 3.15	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 15....	99
Tabla 3.16	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 1.	101
Tabla 3.17	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 2.	104
Tabla 3.18	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 3.	106
Tabla 3.19	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 4.	108
Tabla 3.20	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 5.	110
Tabla 3.21	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 6.	112
Tabla 3.22	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 7.	115
Tabla 3.23	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 8.	117
Tabla 3.24	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 9.	119
Tabla 3.25	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 10. ...	121
Tabla 3.26	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 11. ...	123
Tabla 3.27	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 12. ...	125
Tabla 3.28	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 13. ...	127
Tabla 3.29	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 14. ...	129
Tabla 3.30	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 15. ...	131
Tabla 3.31	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 1..	133
Tabla 3.32	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 2.	134
Tabla 3.33	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 3.	136
Tabla 3.34	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 4..	137
Tabla 3.35	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 5..	139
Tabla 3.36	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 6..	141
Tabla 3.37	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 7..	142
Tabla 3.38	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 8..	144
Tabla 3.39	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 9..	146
Tabla 3.40	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 10.	147
Tabla 3.41	Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 11.	148

Tabla 3.42 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 12.	150
Tabla 3.43 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 13.	152
Tabla 3.44 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 14.	153
Tabla 3.45 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 15.	155
Tabla 3.46 Cuadro resumen de los resultados correspondiente a los ensayos.	157
Tabla 3.47 Análisis Supuesto de Normalidad - Esfuerzo Máximo de tracción.	159
Tabla 3.48 Análisis Supuesto de igualdad de Varianza - Esfuerzo Máximo de tracción.	160
Tabla 3.49 Análisis Supuesto de Normalidad datos transformados - Esfuerzo Máximo de tracción.	161
Tabla 3.50 Análisis Supuesto de igualdad de Varianza datos transformados - Esfuerzo Máximo de tracción.	162
Tabla 3.51 Análisis de Varianza - Datos Esfuerzo Máximo de Tracción.	164
Tabla 3.52 Coeficiente de determinación en datos del Esfuerzo Máximo de Tracción.	165
Tabla 3.53 Optimización de respuesta datos Esfuerzo Máximo de tracción.	167
Tabla 3.54 Análisis Supuesto de Normalidad - Modulo de elasticidad de Tracción.	168
Tabla 3.55 análisis de supuesto igualdad de Varianza - Modulo de Elasticidad de Tracción.	169
Tabla 3.56 Análisis de Varianza - Modulo de elasticidad en tracción.	171
Tabla 3.57 Coeficiente de determinación - Modulo de Elasticidad en tracción.	172
Tabla 3.58 Optimización de respuestas datos Modulo de Elasticidad en Tracción .	174
Tabla 3.59 Análisis de supuesto igualdad de Varianza - % de elongación.	176
Tabla 3.60 Análisis de Varianza - % de elongación.	177
Tabla 3.61 Coeficiente de determinación - % de elongación.	178
Tabla 3.62 Optimización de respuesta datos % de elongación.	180
Tabla 3.63 Verificación de supuesto de Normalidad - Esfuerzo Máximo de Flexión.	181

Tabla 3.64 Análisis de supuesto igualdad de Varianza - Esfuerzo Máximo de Flexión.	182
Tabla 3.65 Verificación de supuesto Normalidad - Esfuerzo Máximo de Flexión. .	184
Tabla 3.66 Verificación de supuesto igualdad de varianza - Esfuerzo Máximo de Flexión.....	185
Tabla 3.67 Análisis de Varianza - Esfuerzo Máximo de Flexión.....	187
Tabla 3.68 Coeficiente de determinación - Esfuerzo Máximo de Flexión.	188
Tabla 3.69 Optimización de respuesta - Esfuerzo Máximo de Flexión.....	190
Tabla 3.70 Verificación de supuesto Normalidad - Modulo de Elasticidad en Flexión.....	191
Tabla 3.71 Supuesto de igualdad de Varianza - Modulo de elasticidad en Flexión.	192
Tabla 3.72 Supuesto de Normalidad datos transformados - Modulo de Elasticidad en Flexión.....	194
Tabla 3.73 Supuesto Igualdad de varianza - Modulo de Elasticidad en Flexión.	195
Tabla 3.74 Análisis de Varianza - Modulo de elasticidad en flexión.	196
Tabla 3.75 Coeficiente de determinación - Modulo de Elasticidad en Flexión.	197
Tabla 3.76 Optimización de respuesta - Modulo de elasticidad en Flexión.	199
Tabla 3.77 Supuesto de normalidad – Deflexión.	200
Tabla 3.78 Supuesto igualdad de varianza - Deflexión.	201
Tabla 3.79 Análisis de varianza - Deflexión	203
Tabla 3.80 Coeficiente de determinación - Deflexión.....	204
Tabla 3.81 Optimización de respuesta – Deflexión.....	206
Tabla 3.82 Supuesto de normalidad - Energía de Fallo.....	207
Tabla 3.83 Supuesto igualdad de varianza - Energía de fallo.....	208
Tabla 3.84 Análisis de varianza - Energía de fallo.....	210
Tabla 3.85 Coeficiente de determinación - Energía de Fallo.....	210
Tabla 3.86 Optimización de respuesta - Energía de Fallo.....	212
Tabla 3.87 Optimización de respuesta múltiple.....	214
Tabla 3.88 Análisis de varianza global de las propiedades mecánicas.....	214

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipos de refuerzos.....	4
Figura 1.2 Aplicación de los materiales compuestos por sectores industriales.....	5
Figura 1.3 Materiales utilizados en Ingeniería.....	5
Figura 1.5 Clasificación de las fibras naturales.....	15
Figura 1.6 Resistencia a la tracción vs ángulo entre fibras y esfuerzo.....	18
Figura 1.7 Posicionamiento de las capas en orden aleatorio.....	19
Figura 1.8 Elementos del tejido de fibras naturales.....	19
Figura 1.9 Grupo funcional epóxico.....	22
Figura 1.10 Tipos de procesos con molde cerrado.....	23
Figura 1.11 Proceso de molde abierto.....	24
Figura 1.12 Proceso automatizado en molde abierto.....	25
Figura 1.13 Elementos del proceso de vacío.....	26
Figura 1.14 Etapas para realizar un Diseño de Experimentos.....	29
Figura 1.15 Diagrama para ensayos a flexión.....	31
Figura 1.16 Máquina para ensayos a tracción.....	32
Figura 2.1 Diagrama de procesos del Proyecto.....	35
Figura 2.2 Trenzas de Fibra de Chambira (Astrocaryum).....	47
Figura 2.3 Tejido final de Chambira(Astrocaryum).....	47
Figura 2.5 Curado de probetas al horno.....	61
Figura 2.6 Dimensiones de probetas según la norma ASTM.....	61
Figura 2.7 medidas de probetas para flexión, tracción e impacto según la ASTM....	62
Figura 2.8. Plano de distribución de probetas para cada placa.....	62
Figura 2.9 Ensayo de Tracción bajo la norma D3039/D3039-17.....	67
Figura 2.10 Ensayo de flexión bajo la norma ASTM D7624/D7624-21.....	68
Figura 2.11 Ensayo de impacto bajo la norma ASTM D5628-18.....	70

Figura 3.1 Análisis de supuesto independencia de residuos - Esfuerzo Máximo de tracción.....	160
Figura 3.2 Valor de lambda – Transformación de datos.....	161
Figura 3.3 Independencia de Residuos – Transformación de datos.	163
Figura 3.4 Diagrama de Pareto – Esfuerzo Máximo de tracción.	164
Figura 3.5 Efectos e interacciones de factores - Esfuerzo Máximo de tracción.....	166
Figura 3.6 Superficie de respuesta - Esfuerzo Máximo de Tracción.....	167
Figura 3.7 Independencia de residuos - Modulo de elasticidad en tracción.	170
Figura 3.8 Diagrama de Pareto - Modulo de elasticidad en tracción.....	171
Figura 3.9 Efectos principales e interacción - Modulo de elasticidad en tracción. ..	173
Figura 3.10 Superficie de respuesta - Modulo de elasticidad en tracción.....	174
Figura 3.11 Análisis de Supuesto de Normalidad - % de elongación.....	175
Figura 3.12 Análisis de supuesto independencia de residuos - % de elongación.....	176
Figura 3.13 Diagrama de Pareto - % de elongación.	177
Figura 3.14 Efectos principales e interacciones - % de elongación.	179
Figura 3.15 Superficie de Respuesta - % de elongación.....	180
Figura 3.16 Independencia de residuos - Esfuerzo Máximo de Flexión.....	183
Figura 3.17 Independencia de residuos - Esfuerzo Máximo de Flexión.....	184
Figura 3.18 Independencia de Residuos - Esfuerzo Máximo de Flexión.	186
Figura 3.19 Diagrama de Pareto - Esfuerzo Máximo de Flexión.	187
Figura 3.20 Efectos principales e interacción variables - Esfuerzo Máximo de Flexión.	189
Figura 3.21 Efectos principales e interacción variables - Esfuerzo Máximo de Flexión.	190
Figura 3.22 Independencia de Residuos - Modulo de Elasticidad en Flexión.	192
Figura 3.23 Valor óptimo de transformación - Modulo de Elasticidad en Flexión. .	193

Figura 3.24 Independencia de residuos datos transformados - Modulo de elasticidad en flexión.....	195
Figura 3.25 Independencia de residuos datos transformados - Modulo de elasticidad en flexión.....	196
Figura 3.26 Efectos principales e interacción de variables - Modulo de Elasticidad en flexión.	198
Figura 3.27 Efectos principales e interacción de variables - Modulo de Elasticidad en flexión.	199
Figura 3.28 Supuesto Independencia de Residuos - Deflexión.....	202
Figura 3.29 Diagrama de Pareto - Deflexión.	202
Figura 3.30 Efectos principales e interacción de variables - Deflexión.....	205
Figura 3.31 Diseño de Superficie - Deflexión.....	206
Figura 3.33 Independencia de residuos - Energía de fallo.	209
Figura 3.34 Efectos principales e interacción de variables - Energía de fallo.	211
Figura 3.35 Superficie de respuesta- Energía de fallo.	212
Figura 3.36 Optimización global de respuesta.	213

RESUMEN

El presente trabajo experimental busca determinar la optimización de las propiedades mecánicas del compuesto desarrollado por medio de una matriz de resina Epoxi (Aeropoxy), reforzado con dos capas de fibra natural de chambira (Astrocaryum) y una de fibra sintética de vidrio (Fiber Glass HexForce 7788), mediante el método de infusión de resina al vacío, sometido a un curado de las probetas para finalmente fragmentarlas a través de corte laser.

Aplicando la Metodología de Superficies de Respuesta, se utilizó el software de análisis estadístico Minitab en el que se analizó las propiedades mecánicas del material compuesto, empleando el diseño de Box- Behnken en el que ingresamos 3 factores de entrada con 3 niveles cada uno: Orientación 1 (-45,0,45) grados, Orientación 2 (-45,0,45) grados y la temperatura (60,90,120) grados centígrados. En el diseño se indicó el total de muestras a obtener y posteriormente se realizaron los respectivos tratamientos para ejecutar los ensayos mecánicos destructivos de cada caso, estos resultados se validaron mediante el cumplimiento de los supuestos paramétricos especificados en el diseño.

Por medio del análisis de varianza ANOVA se determinó el análisis global con la mejor combinación de las propiedades mecánicas que interactúan en el proceso, el cual nos dio valores para la orientación 1 de 23,18 grados, orientación 2 de -10,45 grados y a una temperatura de 60 grados centígrados, además en la optimización global se obtuvo una deseabilidad de 0.5173

Palabras Claves: Astrocaryum, Deflexión, Elongación, MSR. Chambira, Fibra natural

ABSTRACT

The present experimental work seeks to determine the optimization of the mechanical properties of the compound developed by means of an Epoxy resin matrix (Aeropoxy), reinforced with two layers of natural chambira fiber (Astrocaryum) and a synthetic glass fiber (Fiber Glass HexForce 7788), using the vacuum resin infusion method, subjected to curing of the specimens to finally fragment them through laser cutting.

Applying the Response Surfaces Methodology, the Minitab statistical analysis software was used in which the mechanical properties of the composite material were analyzed, using the Box-Behnken design in which we entered 3 input factors with 3 levels each: Orientation 1 (-45.0.45) degrees, Orientation 2 (-45.0.45) degrees and the temperature (60,90,120) degrees Celsius. In the design, the total number of samples to be obtained was indicated and later the respective treatments were carried out to execute the destructive mechanical tests of each case. These results were validated by complying with the parametric assumptions specified in the design.

Through the ANOVA analysis of variance, the global analysis was determined with the best combination of the mechanical properties that interact in the process, which gave us values for orientation 1 of 23.18 degrees, orientation 2 of -10.45 degrees and a temperature of 60 degrees Celsius, also in the global optimization a desirability of 0.5173 was obtained.

Keywords: Astrocaryum, Deflection, Elongation, MSR. Chambira, Natural fiber

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos

Para la elaboración del presente trabajo de investigación es fundamental realizar investigaciones referentes a materiales compuestos los cuales están conformados de una matriz polimérica epoxi reforzado a base de fibras naturales, las cuales son de gran importancia en el desarrollo del trabajo experimental planteado.

En referencia al trabajo de investigación de materiales compuestos realizado por W. J. Mora y B.A. Ramón de la Universidad de Pamplona perteneciente al grupo de investigación en ingeniería mecánica GIUMUP, el cual realiza un trabajo sobre el tema: “BIOCOMPUESTO DE FIBRA NATURAL CHAMBIRA Y RESINA BIOEPOXI EN APLICACIONES INDUSTRIALES”, en el cual se realizaron ensayos de tracción y TGA para determinar el esfuerzo máximo del nuevo material, el método que se utilizó fue el de transferencia de resina asistida por vacío (VARTM) y para su caracterización se utilizaron las normas ASTM. El material compuesto reforzado con fibras se fabricó en secciones de 20x20 cm, con un gramaje de 489 g/m^2 y tejido bidimensional de $0/45^\circ$, además la relación fibra/resina corresponde al 40% resina/60% fibra. La relación resina/endurecedor según datos del fabricante fue de 100/33, posteriormente fue sometido a vacío por 2 minutos para disipar el aire atrapado y realizar la transferencia de resina mediante el proceso de infusión al vacío, el cual se efectúa utilizando una bomba de -23 inHg, la cual permitió distribuir la resina uniformemente. Los ensayos de tracción y flexión se realizaron bajo las normas ASTM D3822/D3822M-14, ASTM D790-15, a una velocidad de 1mm/min y 2mm/min respectivamente, todo a temperatura ambiente. Finalmente, en los resultados realizados a tracción en las 5 probetas se obtuvieron rangos cercanos a 32.17 ± 3.2 MPa en resistencia máxima a tracción, como módulo de elasticidad se tuvo un valor de 2.43 ± 1.2 GPa y una deformación correspondiente al $3.01 \pm 0.6\%$. Por otra parte en los resultados realizados a flexión en las 5 probetas se obtuvieron rangos cercanos a 221.93 ± 52.39 MPa en resistencia máxima a tracción, como módulo de elasticidad se tuvo un valor de 23.82 ± 4.47 GPa y una deformación correspondiente al $1.35 \pm 0.28\%$ así que presenta mejores resultados frente a la resina pura que tiene una resistencia de 124.45 MPa [1].

De acuerdo a la investigación elaborada por el Ing. Ángel Renato Pozo Morales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio, Universidad Politécnica de Madrid, con el tema: “MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRAS NATURALES” determina que se debe hacer una selección de materiales dependiendo la aplicación y la disponibilidad de presupuesto y materia prima ya que si se tiene que importar el material a utilizar el precio aumentara considerablemente, a su vez el material compuesto de fibra de bambú y resina PLA, puede competir con otros materiales compuestos de fibra de vidrio, en términos de compresión. Resistencia y tracción. Las probetas a utilizar tuvieron las siguientes dimensiones: 150mm x 15mm y se realiza el proceso mediante infusión de resina por bolsa de vacío, además el valor teórico de resistencia a tracción y módulo de Young considerando las mezclas de bambú 95.9% y resina PLA 4.1% son 212MPa y 25GPa respectivamente, así que este material puede utilizarse para distintas aplicaciones [2].

En la investigación realizada por el Ing. Héctor Guillermo Villacís Salazar, Escuela Politécnica Nacional correspondiente a la Facultad de Ingeniería Mecánica, con el tema: “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN” indica que al realizar este trabajo de investigación se lograron obtener mecánicamente materiales compuestos híbridos de matriz poliéster, reforzados con fibras sintéticas de vidrio y abacá, la fibra de abacá utilizo cuatro configuraciones: fibra corta de 10 mm, fibra continua unidireccional, tejido plano y tejido sarga, en las fracciones volumétricas se consideró valores de 0,15 y 0,2, posteriormente se usaron estos materiales para la formación de probetas las cuales se ensayaron a tracción para obtener las mejores propiedades, en los resultados se pudo concluir que la fracción volumétrica de 0,2 da mejores propiedades, además la mejor combinación de propiedades fue el de 75% de fibra continua unidireccional de abacá y 25% de fibra de vidrio, los cuales nos dieron valores aproximadamente de 138 MPa en resistencia a la tracción y 4473 Mpa, en el módulo de elasticidad, lo que corresponde a un incremento significativo de 270 y 150% en relación a la matriz. El esfuerzo fue de 270 MPa y su módulo de flexión de 5091 MPa lo que corresponde a un incremento de 113 y 122% con relación a la matriz, finalmente resulto que el nuevo material que se fabricó obtuvo mejores propiedades ya que su resistencia al impacto se incrementó en un 614% respecto al compuesto de fibra de vidrio [3].

1.2. Fundamentación teórica

1.2.1. Ingeniería de Materiales

La ingeniería de materiales está basada en el estudio de las relaciones entre la estructura y las propiedades a considerar al momento de realizar un diseño, una transformación o conformado de materiales. Hoy en día se realiza la producción de este tipo de materiales con un propósito o una función inmediata, es decir el estudio general de producir un nuevo material se basa en la aplicación que tendrá mas no solo en el hecho de producir en gran cantidad. Por este motivo es importante generar profesionales con las herramientas y destrezas para elaborar diseños, procesos y tratamientos de materiales ya sean cerámicos, metálicos, poliméricos, entre otros, para darle una oportunidad al país de desarrollarse económicamente y sean capaces de aprovechar las materias primas disponibles para diseñar materiales convenientes que superen las propiedades de otros materiales ya existentes [4].

Para poder realizar el trabajo de investigación planteado se necesitó de mucha información acerca de los materiales compuestos con fibras naturales para profundizar el conocimiento y llevar correctamente el proceso, además se utilizará la metodología de superficie de respuesta para establecer el número de probetas a utilizar en los ensayos mecánicos correspondientes, dicha información necesaria se tomó de diferentes textos referentes al tema que estamos tratando, la cual se tomará de libros, tesis, normas, artículos científicos.

1.2.2. Materiales compuestos en la actualidad.

En la actualidad las nuevas tecnologías necesitan de materiales con una combinación de propiedades imposibles de conseguir con un material tradicional por separado, es decir que se buscan materiales con características similares o superiores al de los convencionales [5].

Un material compuesto puede estar formado por dos o más materiales distintos que presentan características superiores a los materiales que lo constituyen, la importancia ingenieril de los materiales compuestos es elevada puesto que se combinan las prestaciones y propiedades de los materiales integrantes cuando se diseña y se fabrica el material compuesto de forma correcta, dichas propiedades que se obtienen son producto de la matriz y el refuerzo utilizados [6].

1.2.2.1. Estructura de los materiales compuestos

Matriz: Se la conoce como el volumen en donde se halla alojado el refuerzo, la cual se puede reconocer a simple vista por ser continua, además los refuerzos deben estar unidos a la matriz fuertemente, de manera que su resistencia y rigidez se transmita al material compuesto, dichas matrices pueden ser orgánicas e inorgánicas [6].

Refuerzo: hay varios tipos de refuerzos los cuales se clasifican según la geometría que posean, teniendo en cuenta esto dichos refuerzos pueden ser: particulados, fibras discontinuas, fibras continuas [6][7].

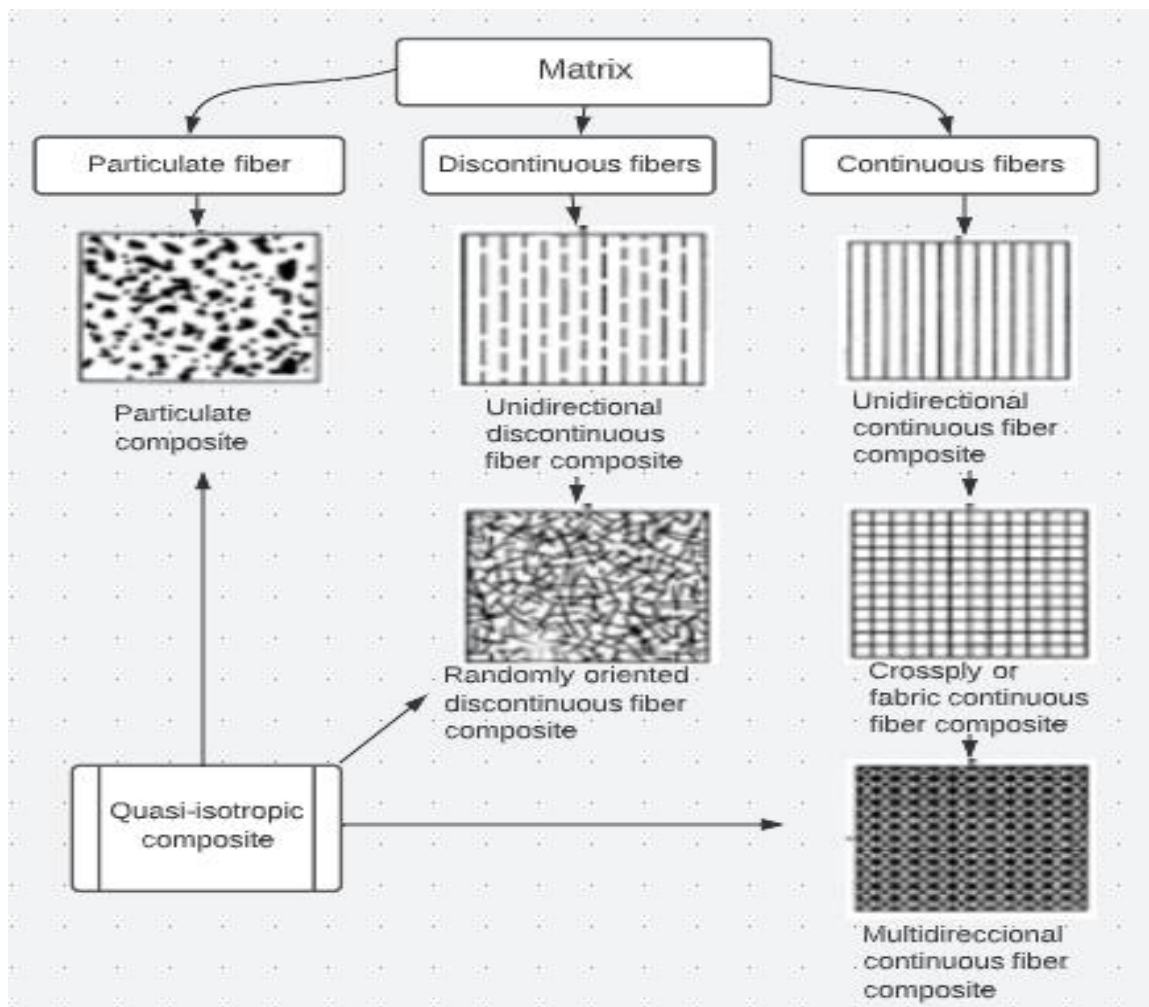


Figura 1.1 Tipos de refuerzos [7].

1.2.3. Aplicaciones de los materiales compuestos

La necesidad de obtener o de formar nuevos materiales surge de la necesidad de las personas de obtener nuevos materiales con mejores propiedades como la tenacidad y resistencia y que contribuyan al medio ambiente, estos materiales son muy utilizados

en el área de ingeniería puestos que tienen una alta gama de aplicaciones en sectores como el automovilismo, náutica, energía, espacial, aviación comercial, aviación militar, reducción de ensamblajes, entre otros [7] [8].

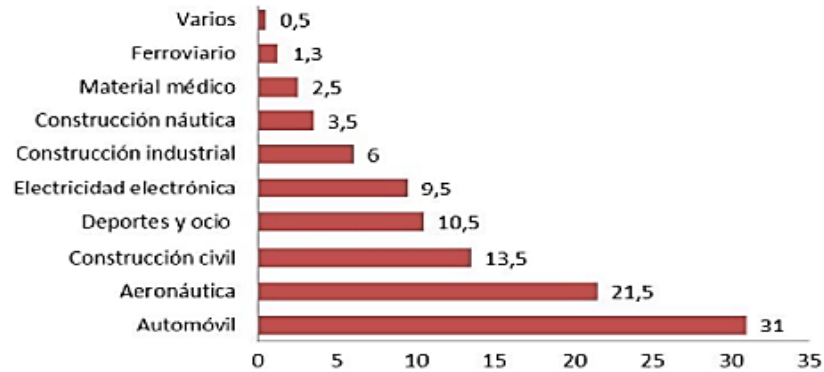


Figura 1.2 Aplicación de los materiales compuestos por sectores industriales [8].

El mejor material es aquel que sirve para la finalidad propuesta con bajo coste para la manufactura y para la conservación de la pieza acabada en funcionamiento. Esto no siempre es fácil de encontrar y normalmente tenemos diferentes alternativas. Pero como el resultado de la máquina depende frecuentemente del material, es muy importante el acierto en su elección. Las fuerzas, por muy pequeñas que sean, provocan deformaciones sobre los materiales [9].

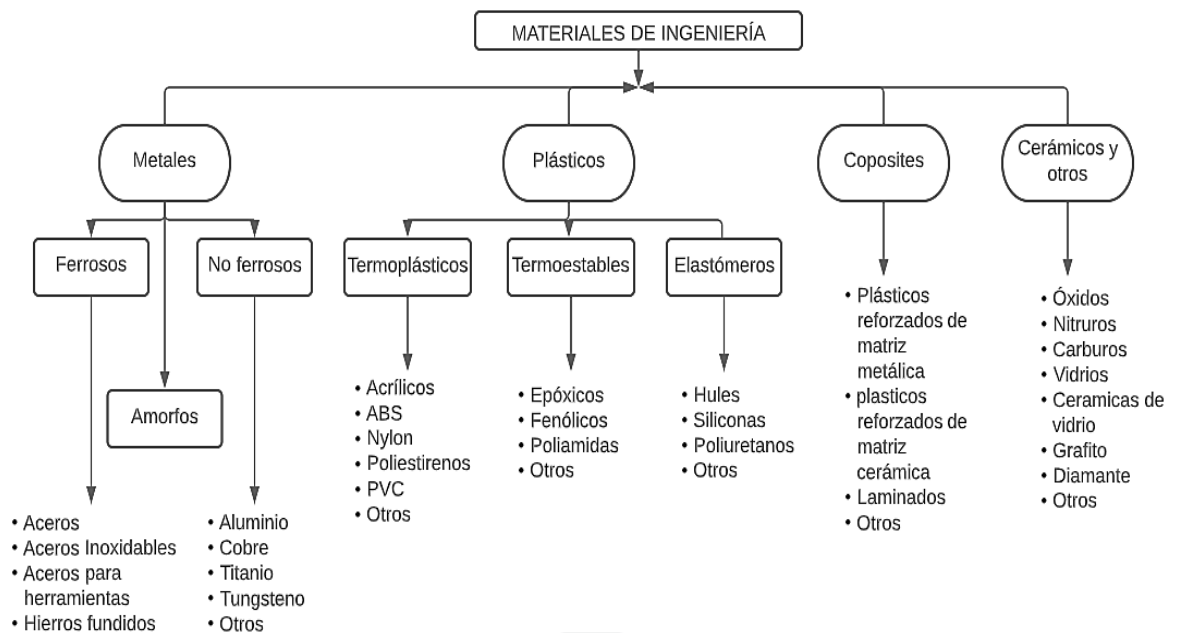


Figura 1.3 Materiales utilizados en Ingeniería [9].

1.2.4. Clasificación de los materiales compuestos

Basados en el criterio de la naturaleza de la microestructura de la fase dispersa para la clasificación de los materiales compuestos se pueden establecer tres grandes grupos: 1) compuestos reforzados con partículas, 2) compuestos reforzados con fibras, 3) compuestos estructurales, además dicha clasificación de materiales compuestos está basada de acuerdo a la matriz que lo contiene o el tipo de refuerzo utilizado [10].

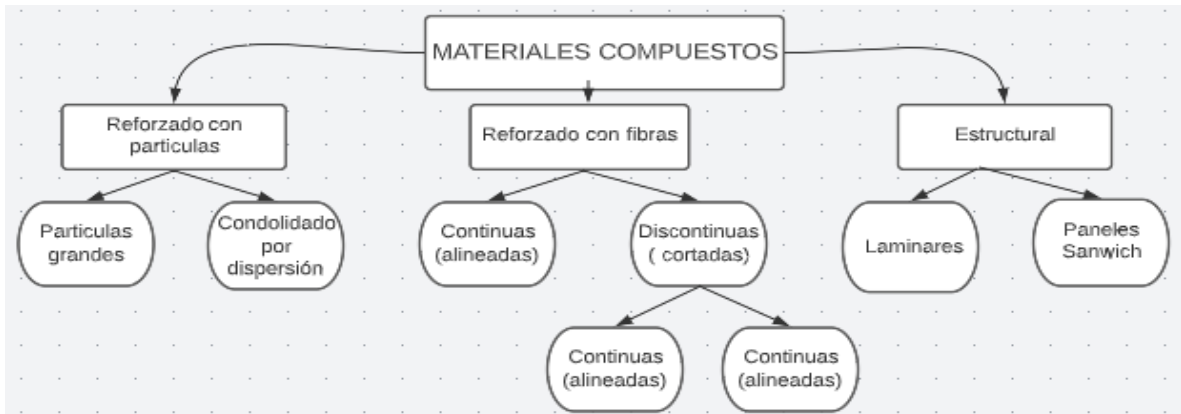


Figura 1.4 Clasificación de los materiales compuestos [10].

1.2.5. Materiales compuestos reforzados con fibras

Los más empleados, por su ligereza y sus excelentes propiedades mecánicas, son los materiales compuestos de matriz polimérica con refuerzos en forma de fibras. Estos están sustituyendo a otros materiales, principalmente a los metálicos, en aquellas aplicaciones en las que la relación ‘propiedades mecánicas – peso’ influye decisivamente en los costes de mantenimiento del producto [11].

Las matrices orgánicas pueden ser:

Tabla 1.1 Tipos de matrices orgánicas [11].

MATRICES		
TERMOPLÁSTICAS	TERMOESTABLES	ELASTOMEROS
Polipropileno PP	Poliéster insaturado UP	Poliuretanos PU
Poliamidas PA	Resinas Epoxi	Siliconas SI
Policarbonatos PC	Resinas Viniléster	
	fenoles	

Las matrices o resinas termoestables son las más usadas en materiales compuestos de altas prestaciones. Estas resinas dan lugar a un producto rígido, insoluble e infusible mediante una serie de reacciones químicas, llamadas de curado o reticulación. Las termoplásticas en cambio se funden con un suministro de calor [11].

1.2.5.1. Clasificación de las Fibras inorgánicas

Las principales fibras usadas como refuerzos son [11]:

- Fibras de vidrio
- Fibras de carbono
- Fibras de boro
- Fibras cerámicas
- Fibras metálicas
- Fibras de aramida
- Fibras naturales: sisal, cáñamo, cabuya, chambira, etc.

Fibra de vidrio

Es un material estructural muy usado en ingeniería debido a su gran resistencia, además son materiales inconsumibles, químicamente estables y no absorbentes, resisten a diferentes ataques de hongos, roedores, entre otros, además consta de numerosos filamentos cerámicos basados en dióxido de silicio (SiO_2) muy finos, se lo conoce también como un material aislante y es usado como refuerzo en distintos productos poliméricos [12].

Tipos de fibras

- **Tipo E:** es la más empleada, caracterizada por sus propiedades dieléctricas, además representa en 90% de refuerzo para composites.

Compuesta de 53,54% SiO₂, 14-15,5% Al₂O₃, 23-24% CaO, 6.5-9% B₂O₃ y escaso contenido de álcalis.

- Especificaciones técnicas

Tenacidad: 1.30 (N/tex)

Fuerza a la tracción: 3400 (MPa)

Elongación hasta rotura: 4.5%

Conductividad térmica: 1 (W/m^{°K})

Resistividad: 1014-1015 (ohm*cm)

- **Tipo R:** posee buenas prestaciones mecánicas, muy utilizada en sectores de armamento, aviación e industria espacial.

Compuesta de un 60% SiO₂, 25% Al₂O₃, 9% CaO y 6% MgO, posee excelentes propiedades mecánicas y es resistente a la fatiga, temperatura y humedad.

- Especificaciones técnicas

Tenacidad: 1.74 (N/tex)

Fuerza a la tracción: 4400 (MPa)

Elongación hasta rotura: 5.2%

Conductividad térmica: 1 (W/m^{°K})

Resistencia termomecánica: 50% después de 150h a 750°C

Resistividad: 1014-1015 (ohm*cm)

- **Tipo D:** tiene un excelente poder dieléctrico, se aplica en ventanas electromagnéticas, radares, entre otros.

Fibra inorgánica compuesta de un 73-74% SiO₂ y 22-23% B₂O₃, además tiene excelentes propiedades dieléctricas con un peso específico de 2.14 g/cm³.

- Especificaciones técnicas

Tenacidad: 1.17 (N/tex)

Fuerza a la tracción: 2500 (MPa)

Elongación hasta rotura: 4.5%

Conductividad térmica: 0.8 (W/m^{°K})

- **Tipo AR:** posee una gran resistencia a los álcalis debido a su elevado contenido de óxido de circonio.
tiene un alto contenido de óxido de circonio con un peso específico de 2.68-2.7 g/cm³
 - Especificaciones técnicas
 - Fuerza a la tracción: 3.000-3.500 (MPa)
 - Elongación hasta rotura: 4.3%
 - Absorción de humedad a 20°C
 - Resistencia a la intemperie y rayos UV alta
- **Tipo C:** posee una gran resistencia a los agentes químicos.
Está compuesta de un 60-72% SiO₂, 9-17% CaO, MgO y 0.5-7% B₂O₃, además posee un peso específico de 2.5 g/cm³.
 - Especificaciones técnicas
 - Tenacidad: 1.24 (N/tex)
 - Fuerza a la tracción: 3100 (MPa)
 - Elongación hasta rotura: 4%
 - Factor de disipación dieléctrica: 0.005 a 106 Hz
 - Se utiliza en torres de refrigeración, material para techos, tanques de agua, tuberías, barcos, entre otros [12].

Fibra de carbono.

Esta posee una estructura filamentosa por lo que adquiere propiedades antrópicas, lo que conlleva a la necesaria combinación con otros materiales, todo ello con el afán de crear nuevos materiales que tengan mejores propiedades mecánicas o más equilibradas [13].

Clasificación según sus propiedades mecánicas:

- **Fibras de ultra-alto modulo elástico (UHM):** Estas presentan un valor de módulo de elasticidad superior a 500 GPa
- **Fibras de alto modulo elástico (HM):** su módulo de elasticidad es superior a 300 GPa y con una relación resistencia a la tracción/ módulo de elasticidad de 1%.

- **Fibras de alta fuerza elástica (HT):** sus valores de resistencia a la tensión superan los 3 GPa y con relaciones resistencia a la tracción/ módulo de elasticidad de 0.015-20%.
- **Fibras de modulo elástico intermedio (IM):** valores de módulo de tensión que superan los 300 GPa y con relaciones resistencia a la tracción/ módulo de elasticidad de 0.01%.
- **Fibras de bajo modulo elástico:** son de estructura isótropa, con valores relativamente bajos de módulo de elasticidad y resistencia, además este tipo de materiales se los comercializa en fibras cortas.

Tabla 1.2 Tipos de fibras de vidrio y sus propiedades [13].

Propiedad	Fibras SM	Fibras IM	Fibras HM	Fibras LM	Fibras UHM
Contenido en carbono (%)	95	95	>99	>97	>99
Diámetro (µm)	6-8	5-6	5-8	11	10
Densidad (gtm)	1,8	1,8	1,9	1,9	2,2
Resistencia a la tracción (MPa)	3800	3450-6200	3450-5520	1380-3100	2410
Alargamiento a la rotura	1,6	1,3-2,0	0,7-1,0	0,9	0,4-0,27
Resistencia eléctrica (µ _{cm})	1650	1450	900	1300	220-130
Propiedad	Fibras SM	Fibras IM	Fibras HM	Fibras LM	Fibras UHM
Conductividad térmica (W/m.k)	20	20	50-80	-	-

Clasificación según los precursores utilizados: estos se pueden clasificar de la siguiente manera.

- **Fibras de carbono a partir de PAN (poliarilonitrilo):** de este se obtienen la mayoría de fibras industriales ya que es el precursor más importante.
- **Fibras de carbono a partir de breas:** están caracterizados por presentar un tamaño de poros muy uniforme y las velocidades de adsorción/desorción 100 veces superior a la de carbones activos.
- **Fibras de carbono crecidas en fase de vapor (VGCF):** se obtienen por medio de un proceso catalítico de depósito químico en forma de vapor, se la puede encontrar de distintos tamaños que van de pocos centímetros hasta nanofibras [14].

1.2.6. Fibras artificiales y sintéticas

Artificiales.

Estas se originan a través de materias naturales transformadas por sustancias químicas, que se extraen de la celulosa o también de la pelusa del algodón y se pueden clasificar en [15]:

- **Fibras artificiales celulósicas:** se obtiene a partir de la celulosa molida y posee una gran resistencia mecánica en seco.
- **Fibras artificiales proteínicas:** este tipo de fibras no han resultado muy apetecibles y se la obtiene a partir de la hiladura de masa obtenida de la disolución de proteínas a su vez se divide en:
 - Fibrolana o lanitel:** se la obtiene por medio de la caseína de la leche disuelta en sosa cáustica.
 - Picara:** se la obtiene a partir de las proteínas de maíz disuelto en soda caustica.
 - Rayon alginato:** se fabrica a partir de las proteínas de algas marinas disueltas en sosa cáustica.

Sintéticas

El proceso de elaboración de las fibras sintéticas se las puede obtener por medio de diferentes productos que están derivados del petróleo mediante la polimerización, esto nos quiere decir que el proceso es químico en su totalidad [15].

Los polímeros son moléculas orgánicas complejas, que se forman a partir de varias moléculas orgánicas simples, además estos polímeros forman una gran cadena lineal, con increíbles condiciones de ligereza, resistencia y elasticidad lo cual es fundamental para el desarrollo de estas fibras, estos polímeros son empleados por lo general para la elaboración de tejidos, plásticos, productos estructurales que se diseñan para resistir esfuerzos, en la industria automotriz, eléctrica, entre otras [15].

Se clasifican en:

Fibras por policondensación.

- Poliamidas: en este tipo el tipo de fibra más conocida es el nylon, debido a su gran resistencia y elasticidad
- Poliésteres: en este tipo la fibra más conocida es el tergal, la cual se obtiene a partir de un diácido y de un alcohol

Fibras por polimerización.

- Polivinilos: este tipo de fibras se las utiliza para la industria textil principalmente en prendas de vestir ya que son muy suaves y la más conocida es el ríovil.
- Acrílicas: son resistentes a la luz de la intemperie además se obtiene a partir de la polimerización del acrilonitrilo y su fibra más conocida es el leacril.
- Polietilénicas: su fibra más conocida es el saran, estas se forman a partir de hidrocarburos de etileno y son muy resistentes a la abrasión.
- Poliuretano: se las obtiene del uretano, además son muy elásticas y la más conocida es la lycra
- Polipropilénicas: en este tipo de fibras la más conocida es el merkilon y se la obtiene de hidrocarburos de propileno [15].

Fibra de aramida

Este tipo de fibra se emplea más en estructuras, ya que posee una gran resistencia a cargas axiales y al calor, su resistencia es 5 veces mayor que el acero, estas se han fabricado a partir del nylon y se las considera de muy altas prestaciones en la industria [16].

En la actualidad existen distintos tipos de fibras de aramida como el Kevlar, este a su vez se subdivide en distintos tipos como son el Kevlar RI, Kevlar 29, Kevlar 49 y Nomex, entre todas el más utilizado es el Kevlar 49 [16].

Tabla 1.3 Propiedades del Kevlar [17].

Designación	Kevlar 29	Kevlar 49
Diámetro de hilo (um)	12	12
Densidad (kg/m³)	1440	1450
Módulo de elasticidad (GPa)	60	128
Resistencia a la tracción (GPa)	1,92	2,94-3,6
Modulo específico	41	88
Alargamiento a la rotura	4,0	2,8
Módulo de Young (GPa)	83	131

En función de la rigidez, distinguimos dos fibras de aramida dependiendo del proceso de fabricación.

Fibras de bajo modulo (LM): su módulo de elasticidad e igual a 70 GPa

Fibras de alto modulo (HM): tiene un módulo de 130 GPa

Tabla 1.4 Propiedades de las fibras [17].

Propiedad	Fibra LM	Fibra HM
Densidad (g/cm)	1,39	1,47
Módulo de Young (GPa)	70	179
Módulo de Young específico (Mm)	5,1	12,4
Resistencia a la tracción (GPa)	3,0	3,5

1.2.7. Fibras Naturales

Este tipo de fibras son de gran utilidad en diferentes industrias ya sea para el conformado de nuevos materiales y entre otras aplicaciones de estos materiales que pueden ser de lino, ramiro, yute, algodón, etc [18].

Las fibras naturales se forman de 3 partes, el primero de ellas es el núcleo central que puede estar relleno o vacío, una cutícula la cual es una cubierta externa y el área interna. Estas fibras se presentan en forma de fibra corta a excepción de la seda. Dicho grosor de fibra se mide en micras y de esta forma provoca una gran diferencia al momento de realizar un tejido ya que mientras más fina sea la fibra, mejor será la regularidad en los hilos y ayudará a realizar dobleces, por otro lado, si se tienen fibras gruesas, nos dan firmeza y resisten mucho más a las arrugas [18].

Las fibras pueden tener forma redonda, triangular, de hueso, en forma de frejol, lobular, hueca o también puede ser plana. Otra característica de gran importancia es el rizado que presenta a lo largo de la fibra, ya que influye mucho en la resistencia a la resiliencia, abrasión, cohesión, conservación de color, el volumen y elasticidad de la fibra. Existen tres tipos de rizado, el primero es el natural que se muestra en las fibras de lana y algodón, el rizado latente, que se puede apreciar en las prendas confeccionadas y el rizado mecánico que hace que las fibras se envuelvan [18].

La composición química de las fibras se clasifica de la siguiente manera:

Proteicas: Esta consiste en la hiladura de masa que obtiene de la disolución de proteínas

Celulósicas: La materia prima es la celulosa y poseen una gran resistencia mecánica en seco

Acrílicas: Se la obtiene por medio de la polimerización del acronitrilo y son muy resistentes a la intemperie y a la luz.

Las fibras naturales son aquellas que las obtenemos de la naturaleza y las podemos clasificar según su origen como se muestra en la siguiente figura.

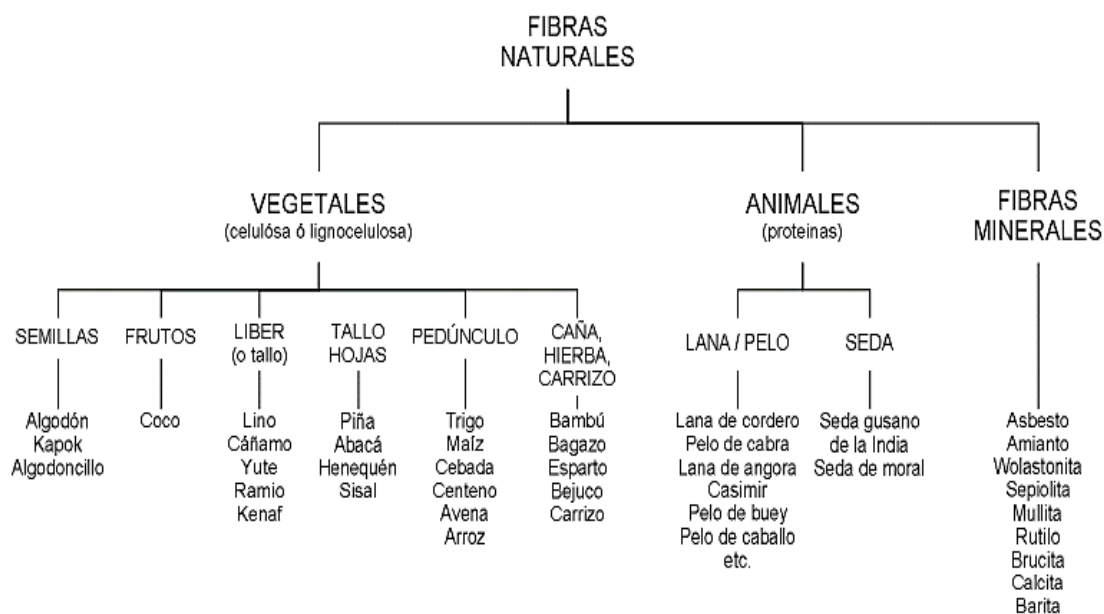


Figura 1.5 Clasificación de las fibras naturales [18].

Fibras de origen vegetal

Al ponernos a pensar en fibras naturales de origen vegetal podemos entender que se tratan de materiales fibrosos que se extraen de distintas plantas. Este tipo de fibra se encuentran en los troncos, en hojas y además en raíces, los cuales son unidas mediante resinas naturales o pegamentos.

Parte de las fibras vegetales son las fibras textiles, las cuales se clasifican de acuerdo a las partes de donde son extraídas, estas pueden ser de las hojas, troncos, fruto o semillas, dichas fibras se clasifican según la siguiente tabla:

Tabla 1.5 Características de las fibras vegetales [18].

NOMBRE COMERCIAL	NOMBRE BOTÁNICO	ZONA GEOGRÁFICA	DENSIDAD (g/cm ³)
FIBRAS DE LOS TRONCOS			
Lino	Linum sp.	Zonas templadas	1,5
Cáñamo	Cannabis sativa	Zonas templadas	1,4
Yute	Corchorus capsularis	India	1,3

Ramio	Bohemeria nivea	China, Estados Unidos	1,5
Bambú	Bambusoideae	China	0,6
FIBRAS DE LAS HOJAS			
Abacá	Musa textilis	Filipinas, Ecuador	1,3
Chambira	Astrocaryum		1,24
Sisal	Agave sisalana	Haití, México	1,5
FIBRAS DE SEMILLAS			
Algodón	Gossypium sp.	Estados Unidos, Asia, África	1,5
Coco	Cocos nucifera	Trópicos	1,2

Fibras de origen animal

Este tipo de fibras por lo general las podemos obtener de los folículos pilosos o de glándulas de animales, las cuales son extraídas y además contemplan un proceso según convenga, dependiendo la aplicación en cualquier ámbito en el que se las necesite, especialmente al textil, cabe destacar que dichas fibras sirvieron de protección para las primeras generaciones de humanos pero hoy en día se descubrió como darle mejores beneficios y sin la necesidad de sacrificar a los animales como se lo hacía anteriormente [19].

Clasificación de las fibras de origen animal

Podemos encontrarlas de esta manera:

- **De glándulas sedosas:** se la extrae del capullo que cubre al gusano de seda, además esta es aplicada a tejidos de alta gama y calidad, a más de otros productos textiles muy costosos.
- **De folículos pilosos:** este tipo de fibra se la puede encontrar en distintas especies de animales, entre las cuales podemos exteriorizar a los caballos, ovejas, llamas, cabras, entre otras

- **Lana:** esta se la puede extraer de las ovejas, además posee una contextura suave y rizada, posee un 20-25% de queratina, tiene una longitud de 20 a 350 milímetros y un diámetro que va de 12 a 120 micras [19].
- **Pelos:** hay que tener en cuenta la diferencia existente entre lana y pelo, como por ejemplo tenemos:
 - En un animal la lana forma vellones o pelotas de fibras, por el contrario, los pelos caen sueltos es decir no se enredan.
 - En la lana se pueden concentrar una gran cantidad de impurezas, en cambio en el pelo no mucho.
 - La lana es rizada mientras que los pelos son lisos [19].

1.2.8. Características para diseñar un material compuesto

El material que se va a fabricar debe tener diversas características importantes, ya que este puede formar parte en distintos productos que requieran dichas cualidades, además debe ser fácil de construirlo, soportar distintos cambios climáticos, que sea muy ligero, su costo debe ser accesible posea alta resistencia y mejore sus propiedades mecánicas. Hay que tener en cuenta estos factores para su conformado [20].

- **Longitud y diámetro**

Estas pueden ser cortar o largas, normalmente se pueden caracterizar sus dimensiones aplicando la relación entre la longitud de las fibras y el diámetro, dicha relación mejora cuando su relación de forma es grande.

- **Cantidad de fibras**

El hecho de que tengamos un volumen alto de fibras, estamos incrementando la resistencia y la rigidez del conformado, por otra parte, la capacidad máxima de volumen de fibra tiene que ser del 80%, debido a que si sobrepasa el valor esta puede ser ineficiente.

- **Orientación**

Los refuerzos se pueden involucrar en la matriz con distintas orientaciones. Los conformados unidireccionales con fibras largas y continuas pueden darnos propiedades anisotrópicas, con rigidez y resistencia paralelas a las fibras, es decir son buenas, a estas las denominamos como capas con 0° de inclinación, de este modo si le aplicamos carga en dirección particular a las fibras estas nos dan resultados deficientes.

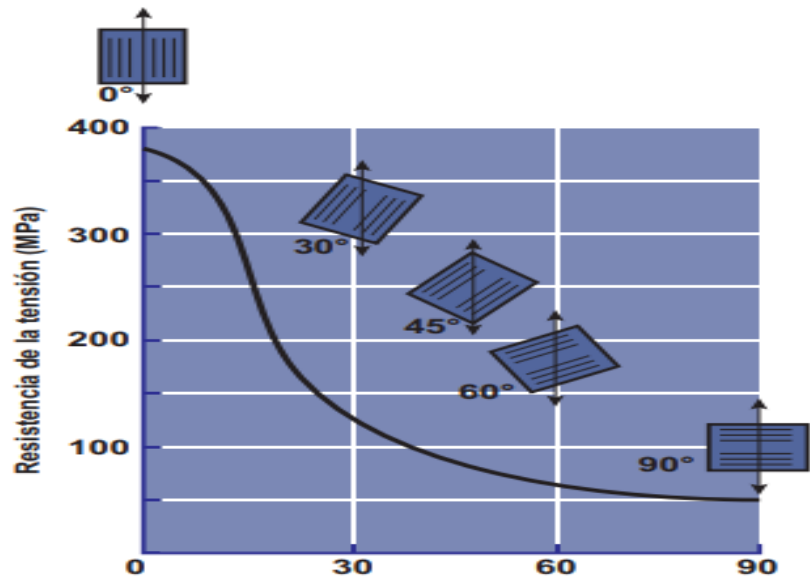


Figura 1.6 Resistencia a la tracción vs ángulo entre fibras y esfuerzo [20].

La principal característica en materiales compuestos reforzados con fibras es que los podemos construir para soportar distintas condiciones de carga, en la matriz podemos introducir fibras largas en distintas direcciones, utilizando arreglos ortogonales en capas de 0° y 90° de inclinación, para obtener resistencia en las dos direcciones perpendiculares a las mismas fibras, pero si queremos obtener una mejor resistencia lo que se hará es arreglar estas ortogonalmente entre capas de 0° , $\pm 45^\circ$ y 90° , entonces diremos que estamos reforzando el compuesto en varias direcciones [20].

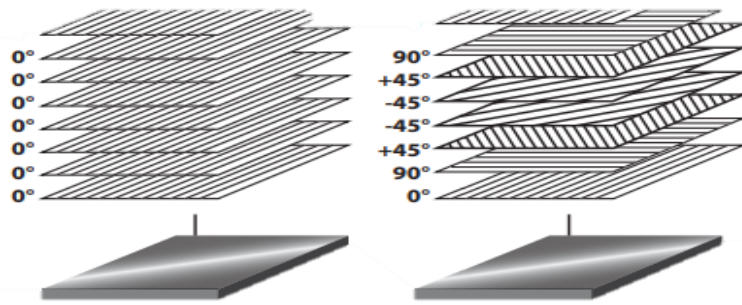


Figura 1.7 Posicionamiento de las capas en orden aleatorio [20].

1.2.9. Tipos de tejidos de las fibras

Los tipos de tejidos que se utilizan en mayor cantidad y son usados como refuerzo para materiales híbridos, poseen una estructura alargada en donde por ejemplo en las fibras naturales, estas presentan una estructura fina y alargada, las cuales mediante un entrecruzamiento se puede obtener un tejido y además poseen los siguientes elementos que interactúan en el proceso [21].

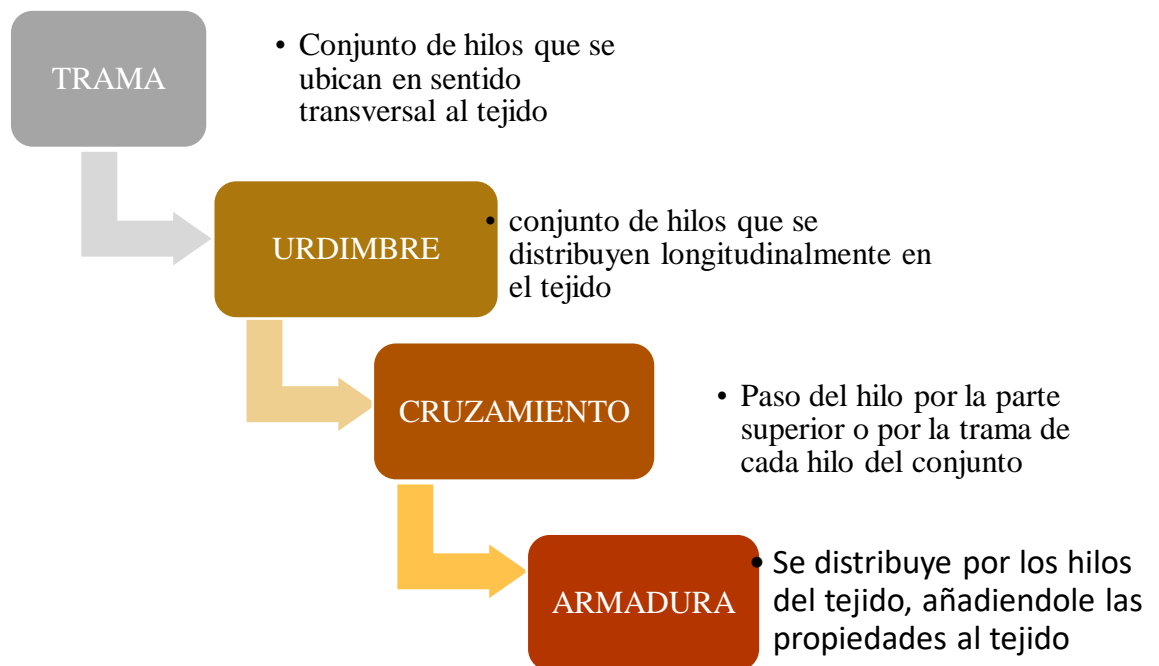


Figura 1.8 Elementos del tejido de fibras naturales [21].

1.2.10. Materiales compuestos estructurales

Combinan materiales compuestos y homogéneos cuyas propiedades dependen, además de los materiales que lo conforman, de la geometría del diseño de los elementos estructurales. Se pueden clasificar en:

- Estructuras tipo sándwich: se componen de un núcleo y tapas, permiten mejorar las propiedades mecánicas, pero sin un aumento excesivo de su peso. Este tipo de estructuras mejoran el aislamiento térmico y acústico.
- Estructuras monolíticas: poseen una geometría más o menos compleja, formadas por telas superpuestas con unas orientaciones determinadas que permiten obtener unas características específicas. Este tipo de piezas están destinadas a sufrir las mayores cargas estructurales [11].

1.2.11. 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 [22].

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 [22].

1.2.11.1. Matrices poliméricas termoestables.

Este tipo de matrices se caracterizan porque poseen una característica muy importante ya que no son fundibles, ya que si elevamos la temperatura se da una degradación química a la cual denominamos carbonización y a este grupo pertenecen las resinas epoxi, poliéster, fenólicas, viniléster, etc. [22].

Tipos de Resinas y sus aplicaciones

Conocemos por resina cualquiera de las resinas naturales modificadas químicamente o sintéticas polimerizadas físicamente similares, teniendo en cuenta también a los materiales termoplásticos tales como polivinil, poliestireno, y polietileno y materiales

termo rígidos tales como poliésteres, epóxidos, y siliconas que se usan con los estabilizadores, pigmentos y otros elementos para formar plásticos [22].

Tabla 1.6 Tipos de resinas [22].

TIPO DE RESINA	PROPIEDADES	APLICACIONES
Fenólicas	Buena fuerza, estabilidad al calor y resistencia al impacto, alta resistencia a la corrosión por químicos y a la penetración de humedad, maquinabilidad	<ul style="list-style-type: none"> - Impregnación de resinas - Revestimiento de freno - Resinas de hule - Componentes eléctricos - Laminado - Adhesivos para cemento - Adhesivos aglomerados - Moldes
Aminas	Buena resistencia al calor, resistencia a solventes y químicos, dureza superficial extrema, resistencia al descoloramiento	<ul style="list-style-type: none"> - Compuestos de moldeo - Adhesivos - Resinas de laminado - Recubrimiento de papel - Tratamiento de textiles - Madera laminada - Estructuras de decoración
Poliéster	Flexibilidad extrema en el proceso, excelente resistencia al calor, químicos y llama, bajo costo, excelentes características mecánicas y eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> - Construcción - Laminado - Auto-reparación de masillas - Esquí - Caña de pescar - Componentes de aviones y barcos - Recubrimientos - Accesorios decorativos - Botellas
Alquílicas	Excelentes propiedades eléctricas y térmicas, versatilidad en la flexibilidad y rigidez, buena resistencia química	<ul style="list-style-type: none"> - Aislamiento eléctrico - Componentes electrónicos - Masillas Putty - Pintura
Epóxicas	Tienen una estupenda resistencia química, excelentes propiedades de adhesión, así como buenas	<ul style="list-style-type: none"> • Se usan en laminados • Útiles para los adhesivos • Gran presencia en pisos • Empleados en forros

	características eléctricas y alta resistencia al calor.	<ul style="list-style-type: none"> • Destacan por su uso en hélices
Policarbonatos	Este material tiene índice de refracción alto, así como estupendas propiedades químicas, eléctricas y térmicas. Tiene gran estabilidad dimensional, cuenta con resistencia al manchado y a la filtración. Se caracteriza por ser transparente.	<ul style="list-style-type: none"> • Es útil para el reemplazo de metales • Se usa en cascos de seguridad • Empleado en diversos tipos de lentes • Es utilizado en la película fotográfica. • Eficaz para los aisladores

Resina epóxica

Es un polímero muy utilizado en la industria como aislante eléctrico, revestimientos y adhesivos, además para componentes aeroespaciales, piezas de autos, aviones, construcción, entre otros [16].

La resina epóxica es un oligómero o prepolímero de bajo peso molecular que contiene más de un grupo funcional epóxi en su estructura química y que, a través de un proceso de curado, se convierte en un polímero termoestable. Se considera como un polímero de adición, ya que durante su reacción de curado no produce subproductos volátiles [23].

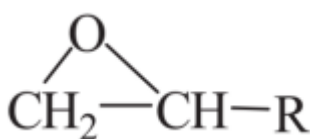


Figura 1.9 Grupo funcional epóxico [16].

1.2.12. Procesos para el conformado de materiales compuestos

A continuación, se presentan y detallan los distintos procesos indispensables para la fabricación de estos materiales híbridos.

Molde cerrado

Este proceso se enfoca principalmente a la fabricación de láminas obtenidas mediante la combinación de fibras de carbono o vidrio las cuales a su vez están unidas por

resinas y otros aditivos y se los puede hacer de la siguiente manera que se indica en la figura 1.10 [24].

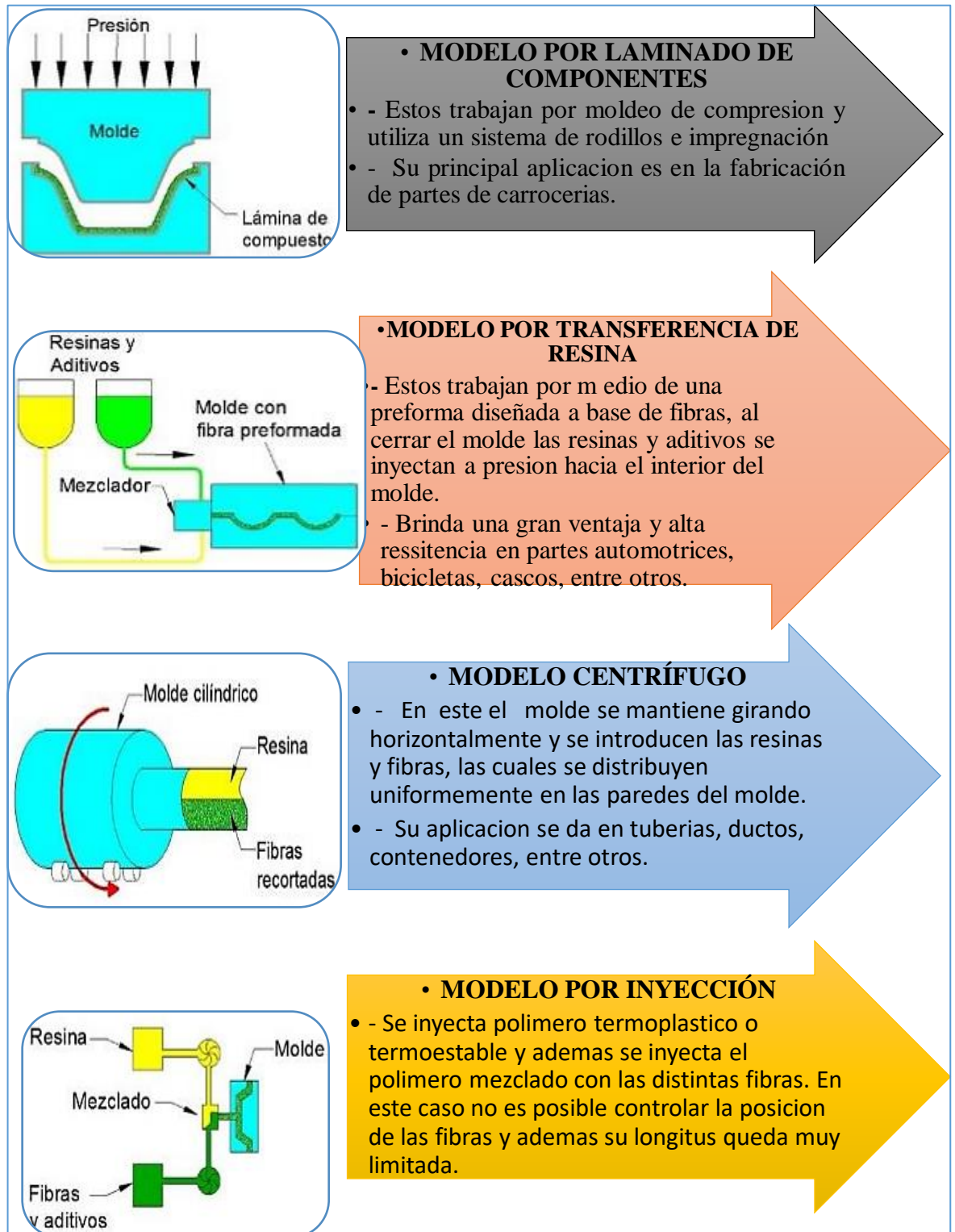


Figura 1.10 Tipos de procesos con molde cerrado [24].

Molde abierto.

Este tipo de proceso es conocido como proceso de laminación por contacto y moldeo por contacto, además en este proceso se utiliza una sola superficie del molde positivo o negativo para generar las estructuras laminadas, en este método las resinas, fibras, mechas tejidas y esteras se aplican en capas en el molde hasta conseguir el espesor deseado. En este método se emplean los poliésteres insaturados y epóxicas utilizando la fibra de vidrio de refuerzo [25].

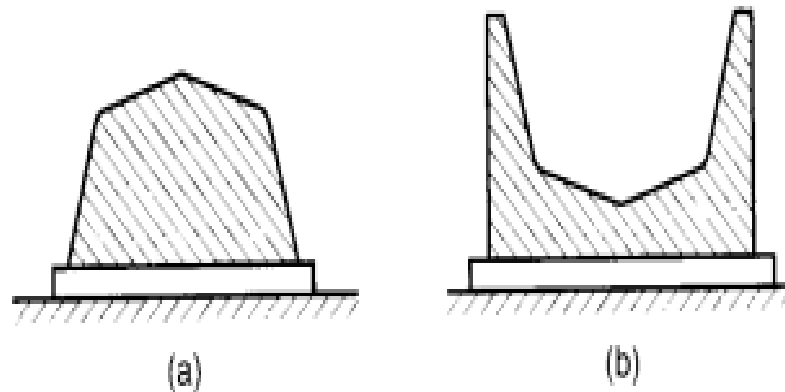


Figura 1.11 Proceso de molde abierto [25].

Para poder darle forma a plásticos reforzados mediante fibra en molde abierto se puede realizar la siguiente clasificación.

- Manual
- Por aspersion
- Mediante máquinas automáticas
- Con bolsa

Proceso manual

Este tipo de proceso es muy antiguo y lo usaban para fabricar cascos de barcos, además el costo de la mano de obra es relativamente elevado debido al tiempo y personas que interactúan en la formación del compuesto y su proceso se divide en 5 partes que son:

1. Se debe limpiar el molde y tratarlo con un material antiadherente.
2. Se aplica un delgado recubrimiento de gel este puede ser resina pigmentada.
3. Una vez que se seque la anterior capa de resina, se deben colocar las capas de fibras y resina en forma de estera, además a cada capa se le aplasta con un rodillo para liberar burbujas y impregnarlas de manera correcta.

4. Se realiza un curado de la pieza.
5. Se retira del molde la pieza cuando se encuentre totalmente dura y seca.

Proceso mediante automatización

En este proceso la resina y las fibras cortadas son esparcidas sobre el molde abierto para ir proporcionándole las capas [26].

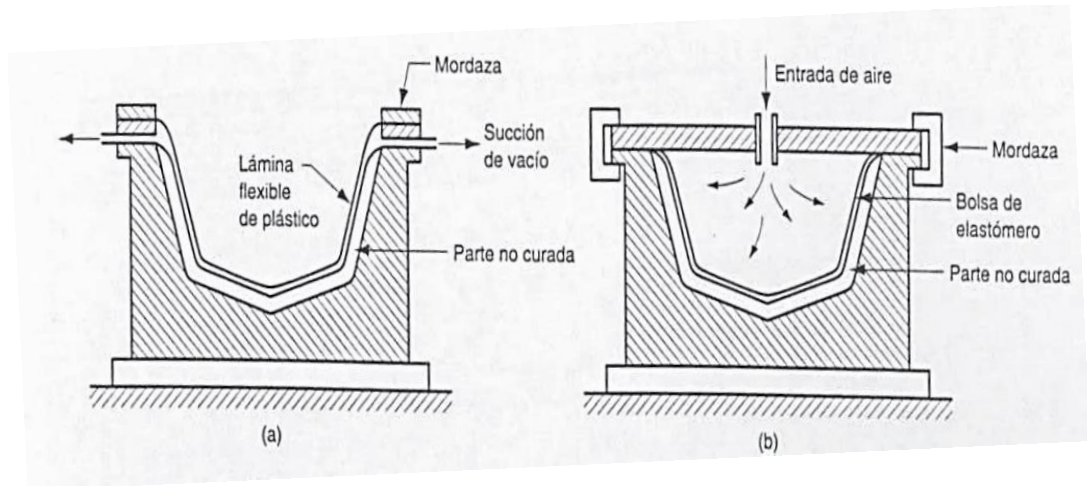


Figura 1.12 Proceso automatizado en molde abierto [26].

Método por infusión de resina

En este se utiliza un molde abierto para poder darle una forma específica del producto que queremos diseñar, mediante la aplicación de vacío es la forma en que podemos compactar las fibras para que interactúen entre sí, en este la resina es introducida hacia el molde utilizando un contenedor a través de un conducto de entrada que puede ser manguera, entonces la resina se va esparciendo uniformemente por toda el área del material, hasta que llega al final y esta resina sale por otro conducto el cual se encuentra conectado a una trampa para evitar que la resina se ponga en contacto con la bomba de vacío [27].

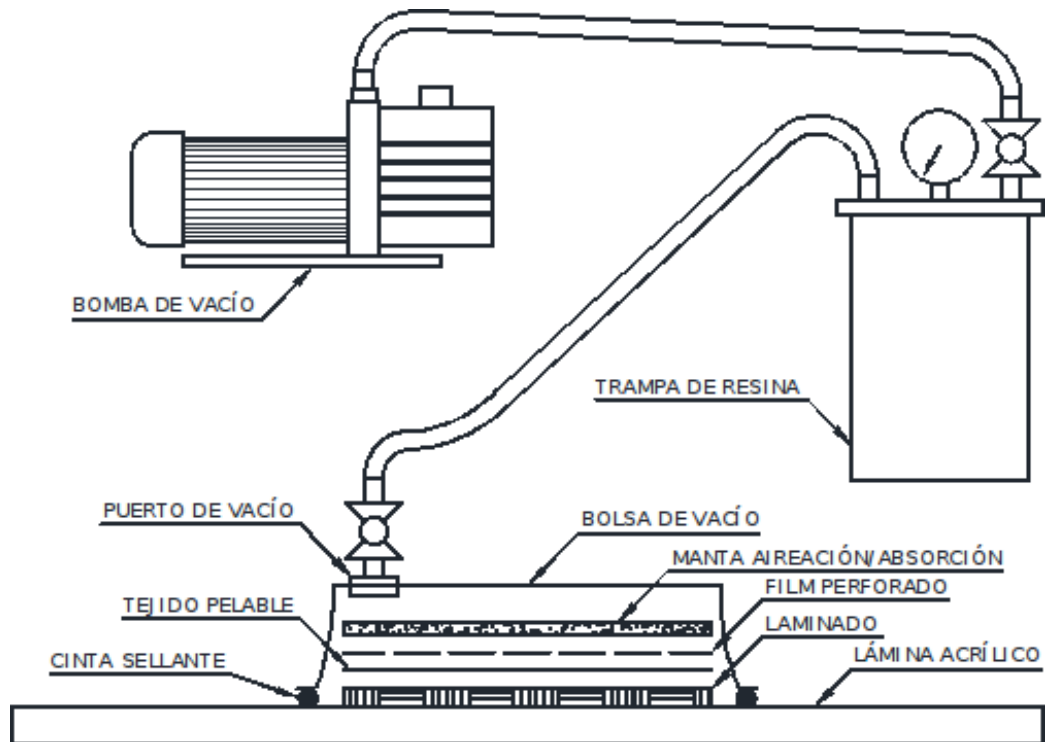


Figura 1.13 Elementos del proceso de vacío [27].

En este proceso, la bolsa se encuentra en un estado de equilibrio en donde la presión en el interior y el exterior son iguales a la presión atmosférica que es de $1\text{kg}/\text{cm}^2$, durante este lapso el material no está sometido a compactación. Entonces cuando encendemos la bomba de vacío extraemos el aire que se encuentra en el interior de la bolsa de vacío mientras que afuera la presión no ha cambiado, esto provoca que el material se compacte uniformemente debido a la presión constante en toda el área [28].

Materiales a utilizar en el proceso

- **Refuerzos:** Estos pueden ser fibras naturales o sintéticas.
- **Matriz:** Puede ser de resina Epóxicas, fenólicas, poliéster, entre otras que puedan servirle dependiendo la aplicación.
- **Molde:** Se utiliza cualquier superficie dependiendo la longitud de la pieza.
- **Bolsa de vacío:** Es la encargada de sellar y ejercer presión sobre la pieza a construir.
- **Film perforado:** Controla la cantidad de resina que se desprende del laminado.

- **Manta de absorción:** Se encarga de absorber el exceso de resina y permite que el aire que está dentro de la bolsa salga fácilmente.
- **Cinta sellante:** proporciona un pegado eficiente entre el molde y la bolsa de vacío.
- **Desmoldante:** Tiene la función de evitar que se adhiera la resina al molde cuando el proceso haya finalizado.
- **Trampa de resina:** Se encarga de recolectar los excesos de resina que se succione hacia fuera con la ayuda de la bomba de vacío [28].

1.2.13. Hornos para el proceso de curado de materiales compuestos

Los hornos para el proceso de curado cumplen la función de ofrecer temperaturas uniformes y controladas en toda la superficie [29].

Podemos tener hornos industriales que se fabrican teniendo en cuenta los requerimientos técnicos del usuario, además estos brindan aislamiento entre placas, mantenimiento de la temperatura uniforme en todo momento y sobre todo el consumo de energía eléctrica es relativamente bajo.

Reglas para la construcción de hornos de curado

- Grado de curado correspondiente al material compuesto.
- Capacidad de mantener la temperatura uniforme y controlada.
- Tensiones residuales en las capas después de haber curado el material.
- Tiempo de permanencia en el horno a temperaturas elegidas [29].

1.2.14. DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)

Hoy en día en la industria se considera muy importante realizar experimentos o pruebas con la finalidad de dar solución a un problema o comprobar alguna idea o hipótesis. El diseño estadístico es la forma más confiable de realizar pruebas, en este diseño se consideran cuales pruebas deben realizarse y la forma correcta de ejecutarlos, de forma que, al tener los datos de los resultados, estos nos den evidencias confiables que aclaren y resuelvan nuestras inquietudes planteadas. Entre los problemas que se pueden dar solución con este método tenemos:

- Comparar 2 o más materiales con la finalidad de elegir al que cumple con los requisitos.

- Comparar distintos instrumentos de medición con la finalidad de ver tienen la misma exactitud y precisión.
- Estipular los factores de un proceso que tienen un gran impacto en el producto terminado.
- Buscar las condiciones de operación ya sea humedad, temperatura, velocidad, entre otros, que ocasionen defectos y optimizarlos para lograr un mejor desempeño.
- Acortar tiempos en un proceso.
- Apoyar el diseño o renovación del diseño en nuevos productos o proceso de elaboración.
- Ayuda a caracterizar a nuevos materiales y tener más información sobre ellos.

Definiciones a tener en cuenta en el Diseño de Experimentos.

El DOE nos permite entender de mejor manera las relaciones causa-efecto que existen en un proceso, mediante pruebas estructuradas adecuadamente [30].

Experimento

Un experimento nos permite conocer mejor un material, ya que este nos permite hacer un cambio en las condiciones de trabajo de un sistema, el cual se realiza con el objetivo de medir los efectos que se produzcan en el producto [30].

Unidad experimental

Se considera a las piezas o muestras utilizadas para proporcionar un número representativo del resultado de las pruebas realizadas, así que es de gran importancia en cada diseño definir la unidad experimental ya que esta puede ser una pieza o cantidad de piezas o muestras dependiendo el asunto de estudio [30].

Variables de respuesta

Por medio de esta podemos conocer los efectos de cada ensayo experimental, por lo que los estudios experimentales buscan la forma de mejorar dichas variables. Entre ellas tenemos 2 tipos y son [30]:

Factores

- Factores controlables: Estas son características de los materiales experimentales que toman en cuenta un nivel dado.
- Factores no controlables: Son características que no podemos controlar durante el proceso de operación
- Factores no estudiados: Son los que investigamos en el proceso, respecto como afectan las variables de respuesta, además estos pueden ser controlable o no.

Niveles y tratamientos

Llamamos niveles a los distintos valores que se asignan a cada factor estudiado, además si existe una combinación entre los niveles los llamaremos como punto de diseño [30].

Fases que influyen en el Diseño de Experimentos

Las etapas que constituyen en el diseño se presenta en la figura 1.14.

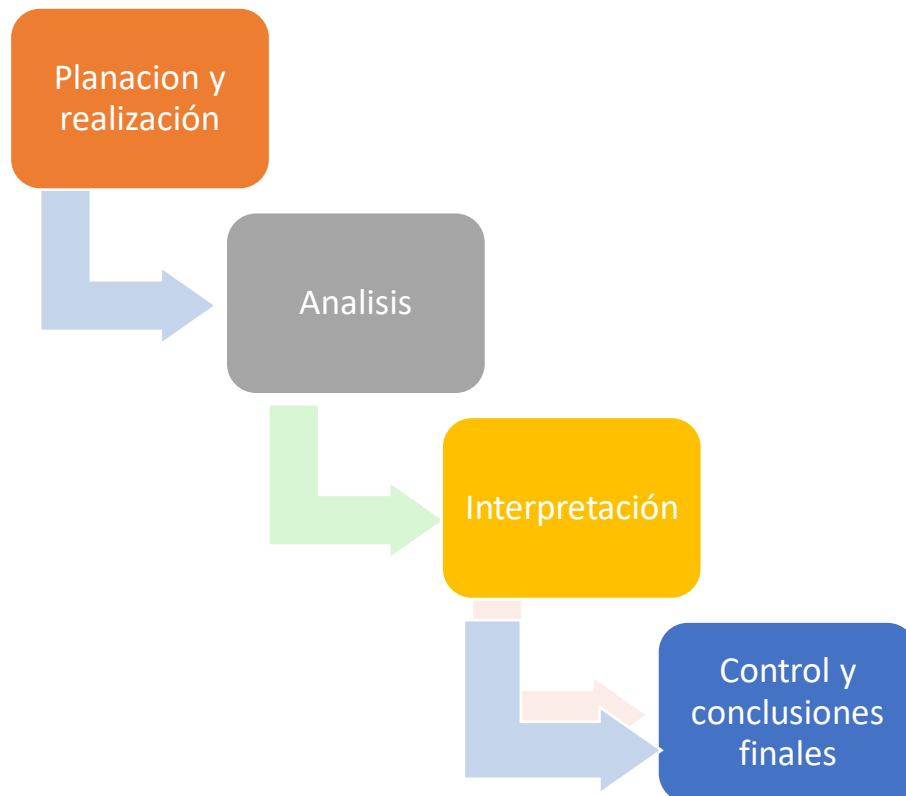


Figura 1.14 Etapas para realizar un Diseño de Experimentos [30].

Diseño de Box Behnken

Este tipo de diseño es de carácter cuantitativo y además aplicables a 3 niveles, además es muy fácil de poner en práctica y brindan la ventaja de realizarse secuencialmente. Para la selección del tipo de diseño de experimento debemos tener en cuenta lo siguiente.

- Experimentación secuencial.
- Propósito experimental dependiendo el caso.
- Recursos y presupuestos aplicables al proceso.
- Información del proceso [31].

1.2.15. Supuestos paramétricos para el análisis de un problema.

Para la elaboración del proyecto experimental lo que se hace es considerar las pruebas paramétricas en el cual se aplican criterios que hagan cumplir los supuestos del modelo, lo que nos indica que se deben cumplir con los diversos parámetros como la distribución normal, análisis de varianzas, independencia de residuos siempre y cuando se haya efectuado con anterioridad el número de corridas del diseño [31].

Hipótesis estadística

Es una afirmación sobre los datos de los parámetros de un proceso, que se puede probar por medio de la información que posee la muestra, además se subdivide en 2 hipótesis que se indican a continuación [31].

Hipótesis nula (H₀): Esta es la hipótesis que se desea contrastar y la cual va a ser sometida a una comprobación [31].

Hipótesis alternativa (H₁): permite evidenciar a la hipótesis nula y se acepta en caso de que H₀ se rechace [31].

1.2.16. Selección de pruebas estadísticas teniendo en cuenta el valor de significancia.

Para este caso se considera práctico conocer el valor de significancia (α), puesto que este indica la posibilidad de rechazar la hipótesis nula, para el criterio de aceptación consideramos un valor de $-p$ del 5%, es decir con un nivel de confianza del 95% por lo tanto se puede establecer lo siguiente:

- Si el valor de $-p$ es menor o igual a α , entonces se acepta H₁
- Si el valor de $-p$ es mayor o igual a α , entonces aceptamos H₀ [32].

1.2.17. Ensayos mecánicos para pruebas de flexión, tracción e impacto.

Mediante la normativa ASTM, la cual desarrollo normas para poder realizar ensayos de materiales, dichos ensayos mecánicos destructivos nos permiten obtener y comparar resultados adquiridos de máquinas propiamente diseñadas con estos fines [33].

Ensayo de flexión

Mediante la utilización de este método podemos encontrar la rigidez a flexión y la resistencia y la deflexión. Para realizar esta prueba aplicamos la norma ASTM D7264/D7624M-21, la cual se realiza utilizando una maquina universal ajustándolo a los parámetros indicados en la norma. El material diseñado debe ser construido a base de una matriz polimérica utilizando fibras como refuerzos y se lo debe realizar de acuerdo al siguiente esquema gráfico [33].

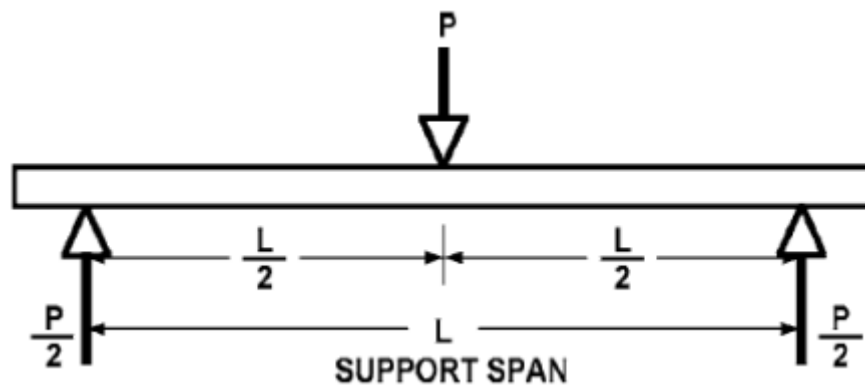


Figura 1.15 Diagrama para ensayos a flexión [33].

Ensayo de tracción

Mediante la aplicación de este ensayo se puede determinar la resistencia, ductilidad, elasticidad, entre otras propiedades que son necesarias para el análisis de la muestra. Este trabaja bajo la norma ASTM D3039/D3039M-17 en el cual podemos encontrar todos los parámetros para realizar las muestras del material y además para la calibración de la máquina de ensayos [33].

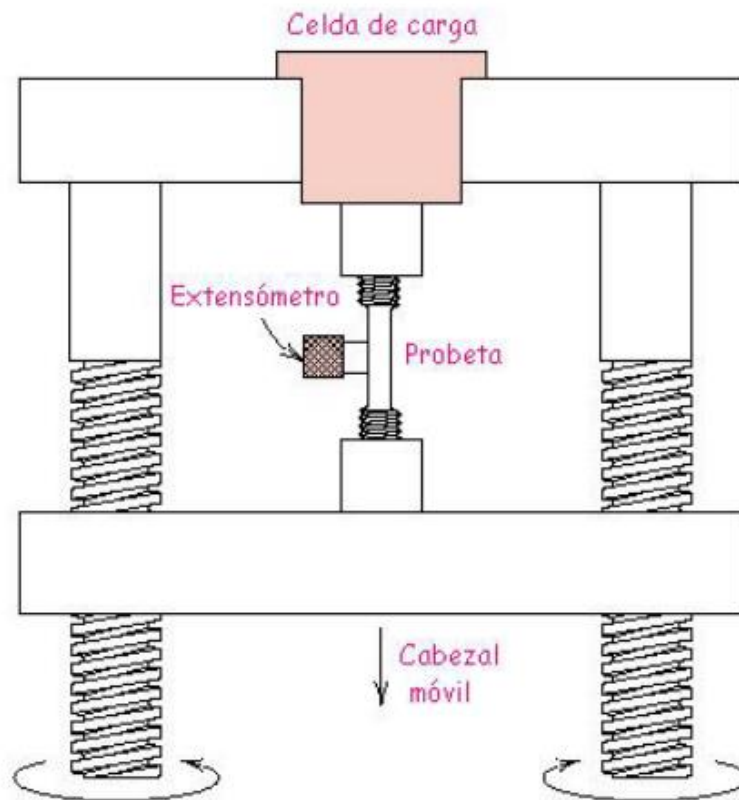


Figura 1.16 Máquina Universal de ensayos a tracción [33].

Ensayo de impacto

en este ensayo destructivo utilizamos la norma ASTM D5628-18, en la que se puede determinar la capacidad que tiene un material para soportar carga de manera rápida, mediante la caída de un dardo a una altura determinada la cual se especifica en la norma [34].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra sintética (vidrio) y fibra natural (chambira) mediante infusión de resina al vacío.

1.3.2. Objetivos específicos

- Establecer los distintos parámetros de conformado del material compuesto (factores y niveles) temperatura de curado y orientación del refuerzo de la fibra natural.

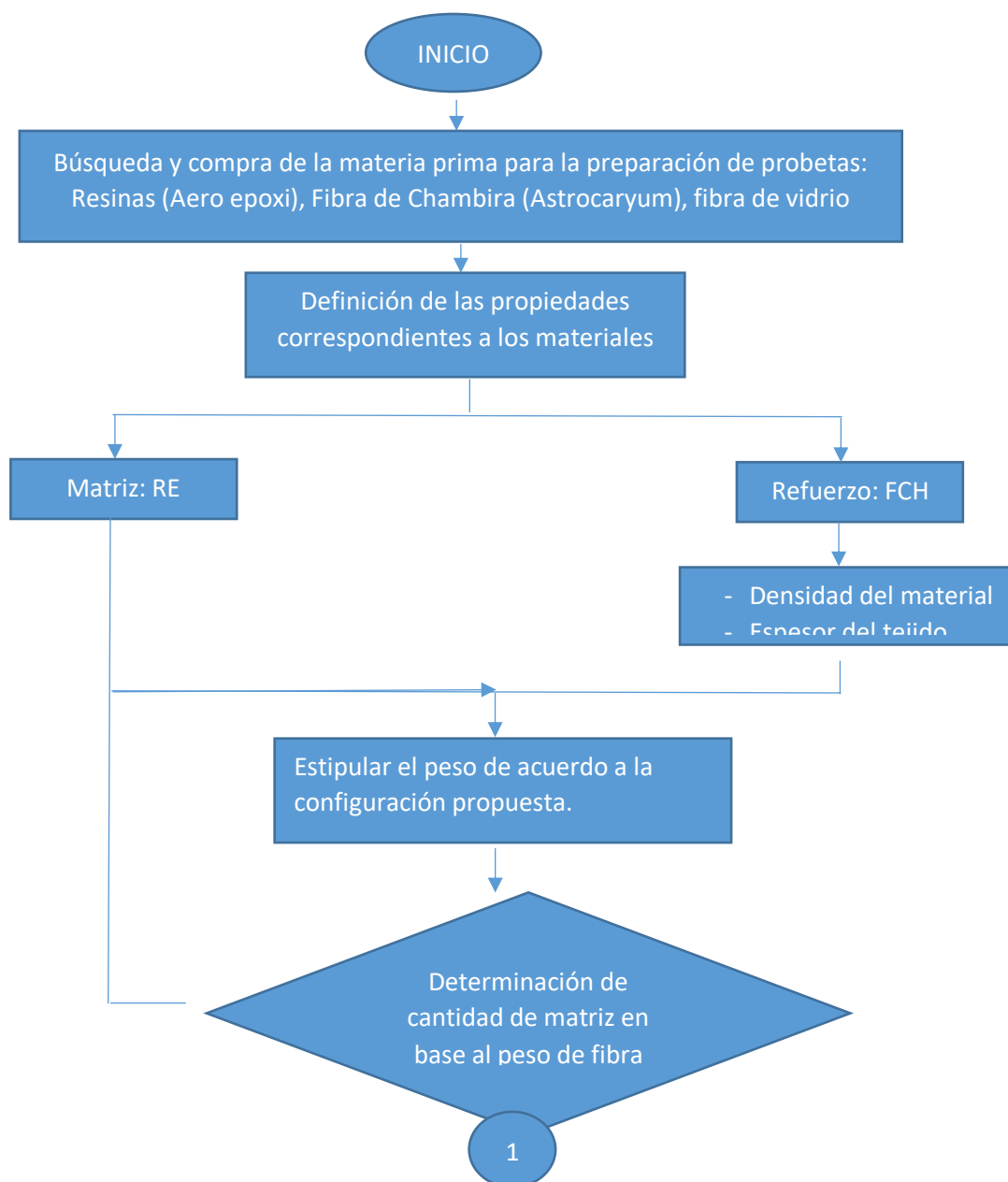
- Utilizar el método de diseño de experimentos bajo la Metodología de Superficie de Respuesta para obtener la adecuada configuración de los casos y obtener las propiedades mecánicas.
- Determinar las propiedades mecánicas del material híbrido realizando los ensayos de tracción, flexión e impacto, en base a la normativa ASTM D3039, ASTM D7264 y ASTM D5628.
- Determinar la optimización de las propiedades mecánicas del material mediante software especializado

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Diagrama de flujo

Para poder realizar correctamente el trabajo experimental es fundamental generar el correspondiente diagrama de proceso en el que se especificara de manera ordenada los pasos desde la obtención de los materiales hasta finalmente sacar una conclusión del análisis de la investigación.



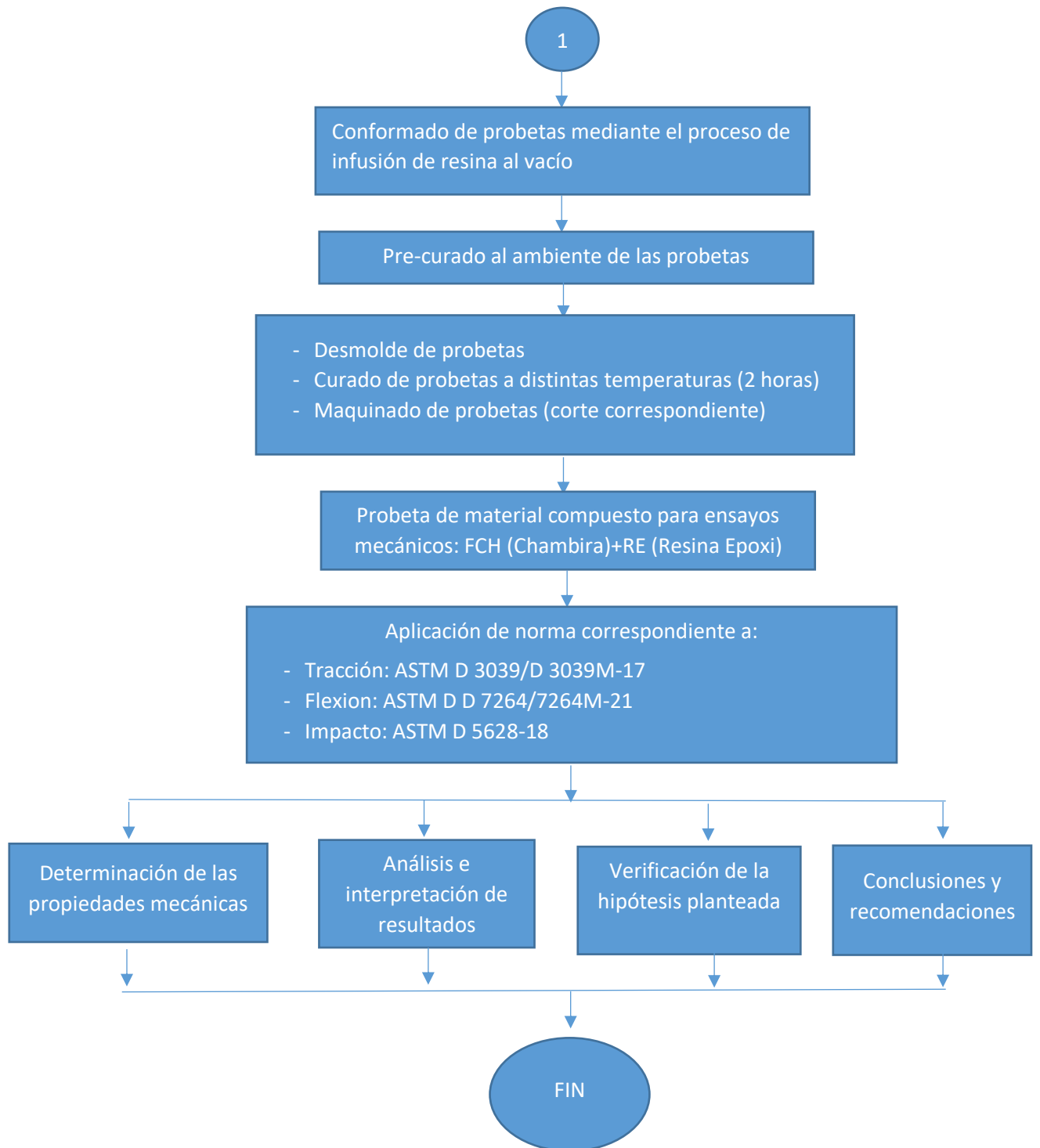





Figura 2.1 Diagrama de procesos del Proyecto.

2.2. Materiales

En la siguiente tabla se presentan los distintos materiales utilizados para la elaboración de las probetas correspondientes al trabajo experimental.

Tabla 2.1 Materiales para realizar el nuevo material compuesto.

Material	Especificación técnica	Ilustración
Resina Epoxi	Marca: Aero epoxi Resina PR2023 Endurecedor PH3660 Densidad: $1.16 \frac{g}{cm^3}$	
Fibra de Chambira	Esta fibra de chambira se origina de la provincia de Pastaza y requiere de un proceso sumamente largo para el secado	
Balanza electrónica digital	Permite obtener la cantidad exacta de tejido y resina necesarias en el proceso	
Material	Especificación técnica	Ilustración

<p>Equipo de seguridad personal</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mandil - Mascarilla - Guantes - Gafas de protección 	
<p>Fibra de vidrio</p>	<p>Este sirve para el conformado de material y su marca es Fiber Glass HexForce 7781</p>	
<p>Telas y películas de absorción</p>	<p>Nombre: Breather, utilizada para la absorción de resina excedente en el material</p>	
	<p>Nombre: Baggin film, película de plástico utilizada para la realización del proceso de vacío.</p>	

	<p>Nombre: Peel ply, se puede desmoldar de la resina ya que no se pega a ella con el contacto directo.</p>	
Material	Especificación técnica	Ilustración
<p>Cinta de Butilo</p>	<p>Nombre: Butilo AN-3, su función es sellar los lados del material para efectuar el proceso de infusión al vacío.</p>	
<p>Bomba de vacío</p>	<p>La bomba utilizada para el proyecto es de ¼ HP, con una succión de 2,75ft³/min, modelo VIOT VPES3 y trabaja con 110V.</p>	

2.3. Métodos de Investigación para el proyecto

Nivel o tipo de investigación

Para el presente trabajo experimental se tienen en cuenta los siguientes niveles de investigación.

Investigación exploratoria

Puesto que vamos a elaborar un nuevo material compuesto el cual se formó a partir de una matriz polimérica de resina epoxi reforzada con fibra de Chambira y vidrio, además teniendo en cuenta factores como la orientación de las capas, temperatura y

tiempo de curado se analizan distintos factores de configuración para realizar la combinación más efectiva del material compuesto planteado.

Investigación descriptiva

Por medio de este método se puede determinar las distintas propiedades mecánicas como son los ensayos de: tracción, flexión e impacto del material en términos cuantitativos, por otro lado, este método nos ayudara a determinar el comportamiento de las demás configuraciones propuestas anteriormente.

Investigación bibliográfica

Es de suma importancia, puesto que necesitamos de una extensa recopilación de datos en fuentes confiables como son: libros, revistas, artículos científicos, tesis, paginas, etc., que se encuentran llenos de información referente a los materiales compuestos, y que además toman en cuenta los factores que son determinantes para el proceso del conformado del nuevo material.

Investigación experimental

A través de este tipo de investigación se analiza el efecto producido por la acción o manipulación de uno o más variables que actúan en el proceso, ya sean estas dependientes o independientes como objeto del trabajo experimental. También nos permitirá dar un breve análisis de aplicación de este nuevo material compuesto y que sector o sectores beneficiará.

2.4. Metodología

Superficie de respuesta (MSR)

El método empleado para el análisis del trabajo experimental es el de superficies de respuesta, el cual permite al investigador inspeccionar una variable de respuesta, además este método es muy práctico.

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 como se presenta a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 2.2 Factores controlables en el diseño.

Factores	Categorías			Unidades
Orientación 1 (fibra natural de Chambira)	-45	0	45	(grados)
Orientación 2 (fibra natural de Chambira)	-45	0	45	(grados)
Temperatura de curado (al horno).	60	90	120	(°C)

Por medio de los factores planteados podemos detallar las variables de salida necesarias, que resultan de la asociación de 2 capas de fibra natural chambira a distintas orientaciones y una capa de fibra sintética de vidrio la que se combinan con una matriz de resina epoxi, que se obtienen mediante los ensayos de tracción, flexión e impacto, de esta forma lo que necesitamos es el esfuerzo máximo tanto para tracción como para impacto, el módulo de elasticidad en tracción y flexión, el porcentaje de elongación para impacto, la deflexión máxima en flexión y la energía de fallo en impacto.

Mediante la aplicación del Diseño de Experimentos, podemos crear un diseño de superficies de respuesta de Box- Behnken aplicando los factores ya planteados y que se indican en la siguiente tabla.

Tabla 2.3 Combinaciones arrojadas en el diseño de experimentos.

Orden Estadístico	Orden de Corrida	Tipo Puntos	Bloques	Orientación 1	Orientación 2	Temperatura
24	5	2	1	0	-45	60
39	15	2	1	0	-45	60
9	25	2	1	0	-45	60

35	2	2	1	-45	0	60
6	11	2	1	45	0	60
36	12	2	1	45	0	60
5	14	2	1	-45	0	60
21	32	2	1	45	0	60
20	41	2	1	-45	0	60
25	1	2	1	0	45	60
40	42	2	1	0	45	60
10	43	2	1	0	45	60
32	18	2	1	45	-45	90
1	20	2	1	-45	-45	90
2	26	2	1	45	-45	90
17	34	2	1	45	-45	90
16	37	2	1	-45	-45	90
31	38	2	1	-45	-45	90
43	7	0	1	0	0	90
30	8	0	1	0	0	90
44	10	0	1	0	0	90
14	13	0	1	0	0	90
29	22	0	1	0	0	90
13	23	0	1	0	0	90
15	28	0	1	0	0	90
45	35	0	1	0	0	90
28	44	0	1	0	0	90
19	3	2	1	45	45	90
33	6	2	1	-45	45	90
4	9	2	1	45	45	90
3	16	2	1	-45	45	90
34	19	2	1	45	45	90
18	36	2	1	-45	45	90
11	4	2	1	0	-45	120
26	24	2	1	0	-45	120
41	30	2	1	0	-45	120
8	21	2	1	45	0	120
7	29	2	1	-45	0	120
22	31	2	1	-45	0	120
38	39	2	1	45	0	120
37	40	2	1	-45	0	120
23	45	2	1	45	0	120
27	17	2	1	0	45	120
12	27	2	1	0	45	120
42	33	2	1	0	45	120

En la tabla 2.4 se presentan las combinaciones correspondientes del diseño experimental en el cual indican los valores de las orientaciones, orden de cada capa, la temperatura de curado a la que deben someter y las réplicas correspondientes a cada caso de estudio.

Tabla 2.4 Número de casos de estudio empleado el diseño de Box Behnken.

METODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTAS							
N° Caso	Orientación de las capas			Temperatura de curado	Tipo de ensayos	Numero de probetas	Total de probetas
	Capa 1 (FV)	Capa 2 (FCH)	Capa 3 (FCH)				
1	-	0	-45	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
2	-	-45	0	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
3	-	45	0	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
4	-	0	45	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
5	-	-45	-45	90	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
6	-	45	-45	90	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
7	-	0	0	90	Tracción	3	9

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

2.5. Pruebas estadísticas y valor de significancia correspondiente.

2.5.1. Hipótesis

La aplicación del análisis estadístico DOE– MSR del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural (chambira) y sintética (vidrio) mediante infusión de resina al vacío no permitirá la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

2.6. Señalamientos de variables

2.6.1. Variable independiente

Material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural (chambira) y sintética (vidrio), mediante infusión de resina al vacío.

2.6.2. Variable dependiente

Propiedades mecánicas

2.6.3. Término de relación

Permitirá

2.7. Operacionalización de variables

Variable Independiente: Material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural (chambira) y sintética (vidrio), mediante infusión de resina al vacío.

Tabla 2.5 Variable Independiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e instrumentos
Material compuesto es aquel que se combina a partir de una fase continua llamada matriz y una discontinua llamada refuerzo, las cuales pueden ser hechas de fibras naturales y fibras sintéticas con la finalidad de obtener un nuevo material con características y propiedades determinadas.	Material compuesto.	Orientación de las fibras de chambira.	45° 0° -45°	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Fichas de recolección de datos • Equipos de medición • Equipo para realizar el conformado al vacío de material compuesto • Normativas ASTM ✓ Ensayo de Tracción ASTM D3039 ✓ Ensayo de Flexión ASTM D7264 ✓ Ensayo de Impacto ASTM D5628 • Bibliografía
		Temperatura de Curado	Baja 60 °C Moderada 90 °C Alta 120 °C	
	Optimización	Diseño de experimentos	Superficie de Respuesta	<ul style="list-style-type: none"> • Software estadístico (Minitab 2019)

Variable dependiente: Propiedades mecánicas

Tabla 2.6 Variable Dependiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e instrumentos
<p>Las propiedades mecánicas son el conjunto de características que posee un material como son la elasticidad, dureza, tenacidad, maleabilidad, fragilidad, etc, las cuales pueden ser medidas bajo la aplicación de fuerzas externas ejercidas sobre las mismas.</p>	Propiedades Mecánicas (Tracción, Flexión, Impacto)	Esfuerzo a la tracción	¿Cuál es la carga máxima de tracción?	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Fichas para recolección de datos • Equipos de medición. <ul style="list-style-type: none"> • Flexómetro • Calibrador • Otros. • Infusión de resina al vacío <ul style="list-style-type: none"> • Normas ASTM ✓ Ensayos a Tracción ASTM D3039 ✓ Ensayos a Flexión ASTM D7264 ✓ Ensayos de Impacto ASTM D5628 • Bibliografía
		Modulo de elasticidad	¿Cuál será el valor del módulo de elasticidad?	
		Esfuerzo a la flexión	¿Cuál es la carga máxima de flexión?	
		Módulo de flexión	¿Cuál es el valor del módulo de flexión que se obtuvo ?	
		Resistencia al impacto	¿Cuál es la energía de impacto?	
	Optimización (DOE)	Valor - p	Entre (0 – 1)	• Software estadístico necesario para las pruebas.
		Coef. Determinación	De (0 – 100%)	

2.8. Procedimiento para la formación del compuesto

2.8.1. Obtención de los materiales

Para la obtención de los materiales necesarios para realizar el trabajo experimental se tuvo que visitar diferentes lugares del Ecuador, la chambira (*Astrocaryum*) se logró conseguir directamente de la provincia de Pastaza, en las ciudades del Puyo y Shell, el tiempo para la adquisición de este producto fue alrededor de 15 días ya que solo los nativos del lugar pueden sacar esto y resulta dificultoso comunicarse con ellos, una vez ya conseguido la cantidad necesaria de fibra pues se procede a realizar el tejido, dicho proceso lo realizan artesanos del cantón Salasaka-Ecuador, ubicado en la provincia de Tungurahua.

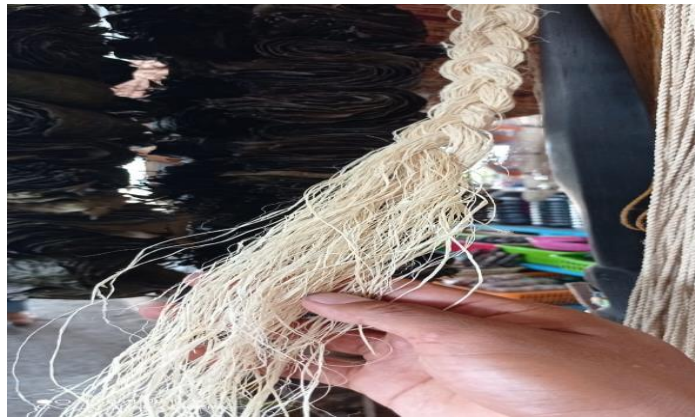


Figura 2.2 Trenzas de Fibra de Chambira (*Astrocaryum*).

Para la elaboración del tejido fue necesario realizar los respectivos cálculos para conseguir un tejido de 3 metros de largo por 1 de ancho, utilizando en total alrededor de 12 trenzas de chambira y más adelante se presentará gráficamente el resultado de la plancha del tejido.



Figura 2.3 Tejido final de Chambira(*Astrocaryum*).

La mayor parte de materiales se consiguió gracias a los proveedores de JEV Soluciones, los cuales se encuentran ubicados en la ciudad de Quito, en este lugar se realizó la compra de la fibra de vidrio HexForce 7781 (Fiber Glass Fabric), elementos para el proceso de vacío como son, bolsa de vacío, butilo AN-3, manta de absorción, tela absorbente, los cuales funcionan correctamente para realizar el trabajo. Otros elementos esenciales como es el caso de la resina (AEROPOXI PR2032) se hizo el pedido mediante los proveedores de SIMA-AUTOMOTRIZ, los cuales están ubicados en la provincia de Tungurahua. -Ecuador. Otros materiales como, estiletes, masking, lijas, entre otros, los pudimos encontrar en papelerías y ferreterías cercanas.

2.8.2. Determinación de propiedades mecánicas de los componentes del material compuesto

Propiedades físicas correspondientes a la fibra natural de chambira.

Es muy importante conocer las propiedades físicas del material que se utilizara en el presente trabajo de investigación, para lo cual se realizan probetas de chambira para calcular la densidad del material mediante el uso de 3 muestras del tejido con sus respectivas medidas, dicha densidad se calcula por medio de la relación ente la masa y el volumen y además con la ayuda de la resina AEROPOXI 2032 utilizada como fluido y a temperatura ambiente. Los resultados de esta prueba se evidencian en la tabla 2.7, con sus respectivas unidades.

Tabla 2.7 Densidad promedio de la fibra de Chambira.

Nº de muestra	Masa (g)	Volumen inicial (V1) (cm ³)	Volumen final (V2) (cm ³)	Promedio (V2-V1) (cm ³)	Densidad Experimental ($\frac{g}{cm^3}$)
1	2,4475	90	91,80	1,80	1,3597
2	2,6586	90	92	2	1,3293
3	2,3641	90	92,20	2.20	1.0745
Promedio de densidad de la fibra de chambira					1,2545

Propiedades físicas correspondientes a la fibra de vidrio.

Se realizaron las respectivas pruebas de gravimetría para obtener los resultados deseados, dicha prueba permite determinar la densidad de distintos materiales, mediante la relación entre la masa y el volumen de las muestras, las que se hicieron a temperatura ambiente y de tal forma se obtuvieron los resultados que se indican en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Densidad promedio de la fibra de vidrio.

Nº de muestra	Masa (g)	Volumen inicial (V1) (cm ³)	Volumen final (V2) (cm ³)	Promedio (V2-V1) (cm ³)	Densidad Experimental ($\frac{g}{cm^3}$)
1	2,6593	90	92,10	2,10	1,2663
2	2,7634	90	91,60	1,60	1,7271
3	2,7795	90	91,55	1,55	1,7932
Promedio de densidad de la fibra de vidrio					1,5955

Densidad de la matriz de Resina Epoxi (AEROPOXI 2032)





La densidad correspondiente de esta matriz la podemos hallar en el catálogo respectivo que se indican en los anexos, en el apartado de las propiedades mecánicas y dicho valor se indica en la tabla 2.9.



Tabla 2.9 Densidad de la Resina Epoxi (AEROPOXI PR2032-PH3630) [35].

Material	Marca	Densidad	Unidades
Resina Epoxi	(AEROPOXI PR2032)	1.16	($\frac{g}{cm^3}$)

2.8.3. Corte del tejido de fibra natural y sintética a distintos ángulos.

Tabla 2.10 Secuencia del proceso para el conformado del material compuesto.

Nº	Actividad a realizar	Detalle	Ilustración
1	Medición y rayado de superficies de corte de la fibra natural a -45° , 0° , 45° .	Se realiza el marcado respectivo teniendo en cuenta las medidas establecidas que corresponden a 180 x 330 milímetros.	
2	Delimitación de superficies mediante el pegado de cinta masking	Para esto se utilizó un masking de 18mm de ancho, el cual impide que las fibras se deshilen del tejido al momento de cortarlo.	
3	Corte de la fibra natural tejida.	Ya finalizado los dos pasos anteriores, precedemos a cortar el tejido y al final debemos obtener un total de 30 pedazos.	
4	Medición y rayado de superficies de corte de la fibra sintética.	Tal como lo hicimos en el tejido de chambira, ahora procedemos a señalar la medida especificada en el tejido de fibra sintética, con la diferencia que en esta tenemos una sola orientación.	

5	Delimitación de superficies mediante el pegado de cinta masking	Pegamos la cinta masking sobre el rayado para que no se deshile la fibra.	
6	Corte de la fibra sintética	Cortamos por las partes en donde se marcó y al final debemos obtener 15 pedazos de esta fibra sintética.	

2.8.4. Determinación de la densidad del material compuesto en función del peso de las fibras de vidrio más chambira.

Para la obtención de la fracción volumétrica que es necesario para calcular la densidad, se da mediante el promedio de los pesos tanto del refuerzo como de la matriz correspondientes a los 15 casos de estudio, además se utiliza la siguiente fórmula para calcular la cantidad de peso de resina.

$$C.R = \frac{100}{127} * P.F \quad \text{Ecu. 2.1}$$

En donde:

C.R= Es la cantidad de resina (g)

P. F= Es el peso de las fibras (g)

Los códigos y el tipo de configuración de los casos de estudio a elaborar se detallan a continuación en la figura 2.4.

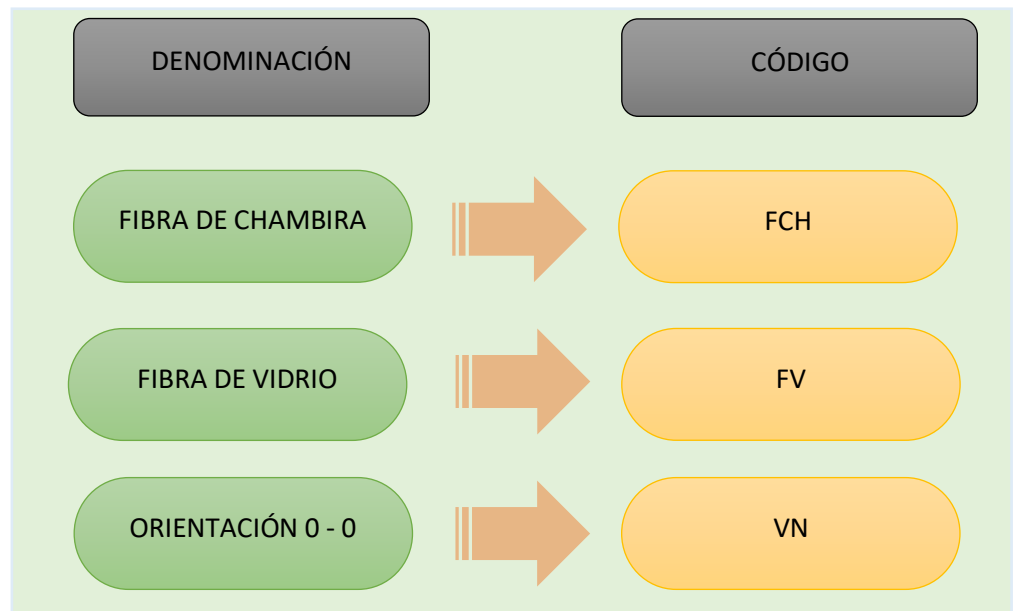


Figura 2.4 Denominación y código para las fibras y su orientación.

Tabla 2.11 Pesos correspondientes a la cantidad de matriz y refuerzo para cada caso de estudio

Nº Caso	Refuerzo 1	Refuerzo 2	Orientación de refuerzos			Temperatura de curado (°C)	Peso de refuerzo FCH (gr)	Peso de refuerzo FV (gr)	Cantidad de matriz (gr)	Peso total refuerzo + matriz.
			Capa 1 (FV)	Capa 2 (FCH)	Capa 3 (FCH)					
1	FV	FCH	VN	0	-45	60	36	21	44,88	101,88
2	FV	FCH	VN	-45	0	60	35	18	41,73	94,73
3	FV	FCH	VN	45	0	60	38	19	44,88	101,88
4	FV	FCH	VN	0	45	60	36	17	41,73	94,73
5	FV	FCH	VN	-45	-45	90	35	18	41,73	94,73
6	FV	FCH	VN	45	-45	90	34	20	42,51	96,51
7	FV	FCH	VN	0	0	90	35	17	40,94	92,94
8	FV	FCH	VN	0	0	90	35	22	44,88	101,88

9	FV	FCH	VN	0	0	90	37	17	42,51	96,51
10	FV	FCH	VN	-45	45	90	35	19	42,51	96,51
11	FV	FCH	VN	45	45	90	35	22	44,88	101,88
12	FV	FCH	VN	0	-45	120	36	20	44,09	100,09
13	FV	FCH	VN	-45	0	120	35	21	44,09	100,09
14	FV	FCH	VN	45	0	120	37	17	42,51	96,51
15	FV	FCH	VN	0	45	120	36	20	44,09	100,09
PROMEDIO							35,66	19,2	43,19	98,06

La cantidad entre el promedio del peso de los refuerzos, es decir entre la chambira y fibra de vidrio nos da un valor de 54,86 gramos y la cantidad promedio de la matriz que corresponde a la mezcla entre la resina y el endurecedor es de 43,19 gramos, dándonos al final un valor total de 98,06 gramos necesarios para la elaboración del material compuesto.

Para calcular la fracción volumétrica correspondiente al material compuesto para los refuerzos de chambira, fibra de vidrio y la fracción volumétrica de la matriz, se pueden observar los valores en las tablas 2.7, 2.8 y 2.9, dichos valores se utilizan para obtener un porcentaje correspondiente al conformado de cada caso de estudio.

Tabla 2.12 Fracciones volumétricas del refuerzo y matriz del material compuesto.

Calculo de las fracciones volumétricas		
Denominación	Valor	Unidades
Peso total del material compuesto	98,06	[g]
Peso de la matriz	43,19	[g]
Peso del refuerzo	54,86	[g]
Fracción volumétrica (fibra de vidrio)	$98,06 \text{-----} 100\%$ $19,2 \text{-----} f_{f-FV}$ $f_{f-FV} = \frac{19,2 * 100\%}{98,06}$ $f_{f-FV} = 19,57\% = \mathbf{0,1957}$	-
Fracción volumétrica (Chambira)	$98,06 \text{-----} 100\%$ $35,66 \text{-----} f_{f-FV}$	-

	$f_{f-FV} = \frac{35,66 \cdot 100\%}{98,06}$ $f_{f-FCH} = 36,37\% = \mathbf{0,3637}$	
Fracción volumétrica (Resina)	$98,06 \text{-----} 100\%$ $43,19 \text{-----} f_{f-FV}$ $f_{f-FV} = \frac{43,19 \cdot 100\%}{98,06}$ $f_{f-RE} = 44,04\% = \mathbf{0,4404}$	-

Ahora una vez obtenidos los valores correspondientes a las fracciones volumétricas de los materiales, procedemos a calcular la densidad teórica del material compuesto en fibra de chambira y vidrio.

$$\rho_{MC} = f_{RE} * \rho_{RE} + f_{f-FCH} * \rho_{f-FCH} + f_{f-FV} * \rho_{f-FV}$$

$$\rho_{MC} = (0,4404 * 1,16 + 0,3637 * 1,2545 + 0,1957 * 1,5955) \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_{MC} = 1,2794 \left(\frac{g}{cm^3} \right)$$

En donde:

f_m = Fracción volumétrica de la matriz

ρ_m = Densidad de la matriz

f_f = Fracción volumétrica de la fibra

ρ_f = Densidad de la fibra del compuesto

2.8.5. Codificación de probetas para los ensayos mecánicos.

Se considera necesario realizar la respectiva codificación de las probetas, teniendo en cuenta el caso de estudio al que pertenece cada una, para lo cual se realizó la siguiente codificación dependiendo el tipo de ensayo a realizar, es decir pueden ser para tracción, flexión e impacto

En la cual debemos tener en cuenta que:

V= material sintético utilizado en el material compuesto

C_i = es el número correspondiente al caso de estudio

/0.-45/ = Orientaciones de la primera y segunda capa de chambira dependiendo el caso de estudio

/60/= Temperatura de curado a la cual fue sometido el material

/T/F/I/= Tipo de ensayo a realizar (Tracción, Flexión, Impacto)

/1/2/3/= Numero de la muestra en cada caso de estudio



Tabla 2.13 Códigos según los ensayos mecánicos a realizar.




N° Caso	PROBETAS		
	Tracción (T)	Flexión (F)	Impacto (I)
1	V- C1 / 0. -45 / 60- T	V- C1 / 0. -45 / 60- F	V- C1 / 0. -45 / 60- I
2	V- C2 / -45. 0 / 60- T	V- C2 / -45. 0 / 60- F	V- C2 / -45. 0 / 60- I
3	V- C3 / 45. 0 / 60- T	V- C3 / 45. 0 / 60- F	V- C3 / 45. 0 / 60- I
4	V- C4 / 0. 45 / 60- T	V- C4 / 0. 45 / 60- F	V- C4 / 0. 45 / 60- I
5	V- C5 / -45. -45 / 90- T	V- C5 / -45. -45 / 90- F	V- C5 / -45. -45 / 90- I
6	V- C6 / 45. -45 / 90- T	V- C6 / 45. -45 / 90- F	V- C6 / 45. -45 / 90- I
7	V- C7 / 0. 0 / 90- T	V- C7 / 0. 0 / 90- F	V- C7 / 0. 0 / 90- I
8	V- C8 / 0. 0 / 90- T	V- C8 / 0. 0 / 90- F	V- C8 / 0. 0 / 90- I
9	V- C9 / 0. 0 / 90- T	V- C9 / 0. 0 / 90- F	V- C9 / 0. 0 / 90- I
10	V- C10 / -45. 45 / 90- T	V- C10 / -45. 45 / 90- F	V- C10 / -45. 45 / 90- I
11	V- C11 / 45. 45 / 90- T	V- C11 / 45. 45 / 90- F	V- C11 / 45. 45 / 90- I
12	V- C12 / 0. -45 / 120- T	V- C12 / 0. -45 / 120- F	V- C12 / 0. -45 / 120- I
13	V- C13 / -45. 0 / 120- T	V- C13 / -45. 0 / 120- F	V- C13 / -45. 0 / 120- I
14	V- C14 / 45. 0 / 120- T	V- C14 / 45. 0 / 120- F	V- C14 / 45. 0 / 120- I
15	V- C15 / 0. -45 / 120- T	V- C15 / 0. -45 / 120- F	V- C15 / 0. -45 / 120- I

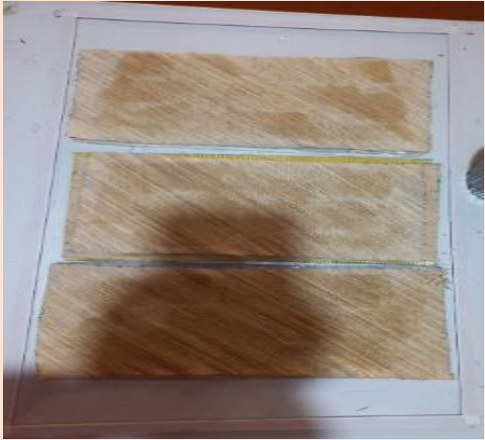


2.8.6. Proceso para realizar el conformado de probetas.



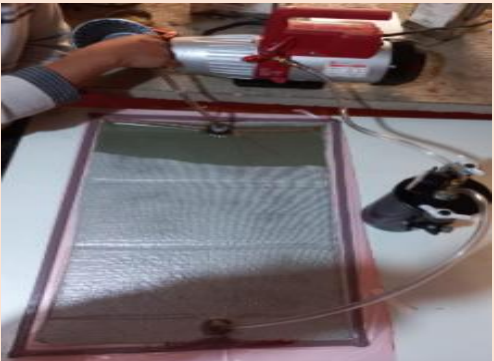
Este proceso es realmente importante debido a que debemos seguir una secuencia de pasos para lograr el objetivo planteado y obtener excelentes resultados.


Tabla 2.14 Proceso para la formación de probetas.

N°.	Actividad a realizar	Detalle	Ilustración
1	Elaboración, delimitación y distribución del molde	Se hace la distribución dependiendo de cada caso de forma distribuida, de manera que nos resulte fácil la colocación del material con su respectiva orientación.	
2	Aplicación de la cera desmoldante	Se realiza la respectiva limpieza del área a trabajar, primeramente con tiñer y guaípe, después una vez teniendo limpia la superficie aplicamos 3 pasadas de cera desmoldante, esto ayudara a que el	

		material se adhiera a la base.	
Nº.	Actividad a realizar	Detalle	Ilustración
3	Preparación y mezcla de resina y catalizador	Para esto se debe aplicar la relación resina/catalizador establecida por el fabricante y la cantidad a utilizar depende del peso de cada caso.	
4	Colocación de las capas de fibra sintética y natural	Se colocan las fibras naturales y sintéticas dependiendo de la distribución realizada en la tabla 2.11	
5	Colocación de la malla, manta de absorción, tela absorbente	Se realiza el corte de estos materiales de acuerdo al área delimitada .	

6	Delimitación del espacio utilizando el Butilo AN-3	Se coloca la cinta de butilo de manera correcta, aproximadamente a 5cm del área delimitada anteriormente, y se debe verificar que quede bien pegada a la mesa o superficie.	
7	Colocación de los respiraderos	Se coloca los respiraderos a los extremos del molde, estos respiraderos deben cumplir la función de vacío de aire internamente.	
8	Colocación de la bolsa de vacío	Se ubica la bolsa de vacío por encima de toda el área en la cual se colocaron los elementos del material compuesto, el cual debe adherirse al butilo de manera correcta para evitar fugas de aire.	

Nº.	Actividad a realizar	Detalle	Ilustración
9	Conexión de las mangueras hacia los respiraderos y bomba	Se realizan las respectivas conexiones hacia la bomba de vacío asegurando las salidas con butilo para evitar fugas.	
10	Verificación de fugas mediante vacío	Utilizando la bomba de vacío, succionamos el aire que se encuentra dentro de la bolsa de vacío para proceder con el siguiente paso.	
11	Aplicación de resina	Se realiza la respectiva mezcla de resina y catalizador y mediante la manguera conectada a la entrada de un respiradero para que se introduzca el líquido equitativamente por la superficie.	

12	Secado y extracción del material	Se deja secar por un día conectada a la bomba de vacío para que salga el exceso de resina, al siguiente día retiramos la bolsa de vacío y sacamos el material compuesto.	
----	----------------------------------	--	--

El desarrollo del nuevo material compuesto que tiene como base la matriz epóxica, se logra gracias al conformado de las 3 capas, 2 de fibra natural y una sintética, las cuales se acomodaron según las orientaciones correspondientes a cada caso de estudio, además para poder realizar el mojado del material se tuvo en cuenta el peso de la fibra natural (chambira) y sintética (vidrio) de cada caso, teniendo en cuenta este detalle se puede combinar la resina con el endurecedor en la proporción adecuada.

2.8.7. Curado de probetas al horno.

Para realizar el proceso de curado se utilizó un horno eléctrico que posee un rango permisible de temperatura que va desde 0° hasta 325°C, lo que nos indica que es apto para el proceso de curado de las probetas a 60°, 90° y 120°, para cada caso el tiempo de curado es decir cuando el horno se mantiene encendido es de 2 horas, pasado este tiempo se debe apagar el horno y dejarlo enfriar durante el tiempo que sea necesario dentro del mismo, el proceso de curado es muy importante para el análisis de los resultados ya que dependiendo la temperatura a la que se hayan sometido las probetas, estas nos darán resultados de resistencia diferentes para cada caso.



Figura 2.5 Curado de probetas al horno.

2.8.8. Corte de las muestras para los ensayos de tracción, flexión e impacto, en base a la normativa ASTM

Nos resulta muy útil realizar la respectiva especificación de las medidas de las probetas para realizar el corte, así que en la siguiente grafica se muestran las dimensiones para cada tipo de ensayo según la normativa aplicable.

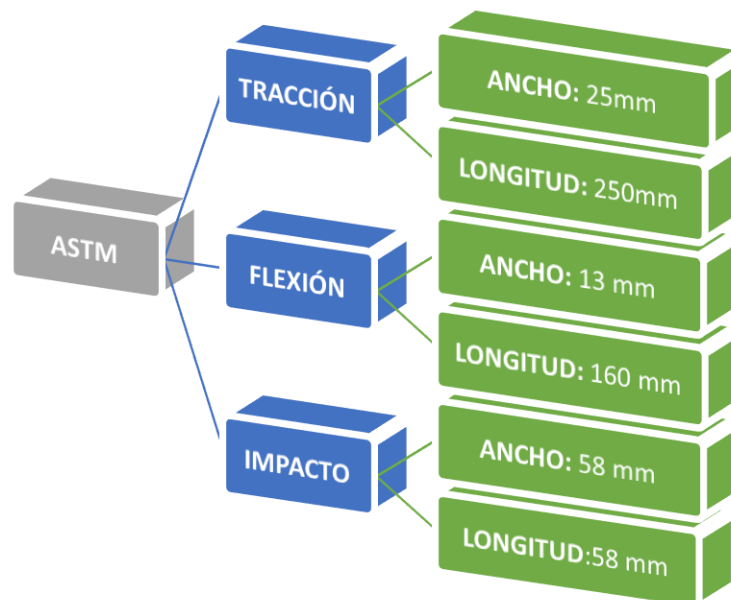


Figura 2.6 Dimensiones de probetas según la norma ASTM

Teniendo en cuenta la especificación dada por la norma ASTM, se efectúa el corte de probetas correspondientes a los 15 casos de estudio, los cuales deben señalarse con la nomenclatura respectiva para evitar equivocaciones.

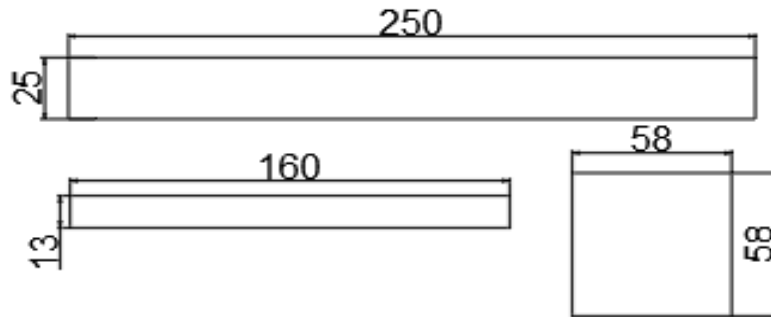


Figura 2.7 medidas de probetas para flexión, tracción e impacto según la ASTM

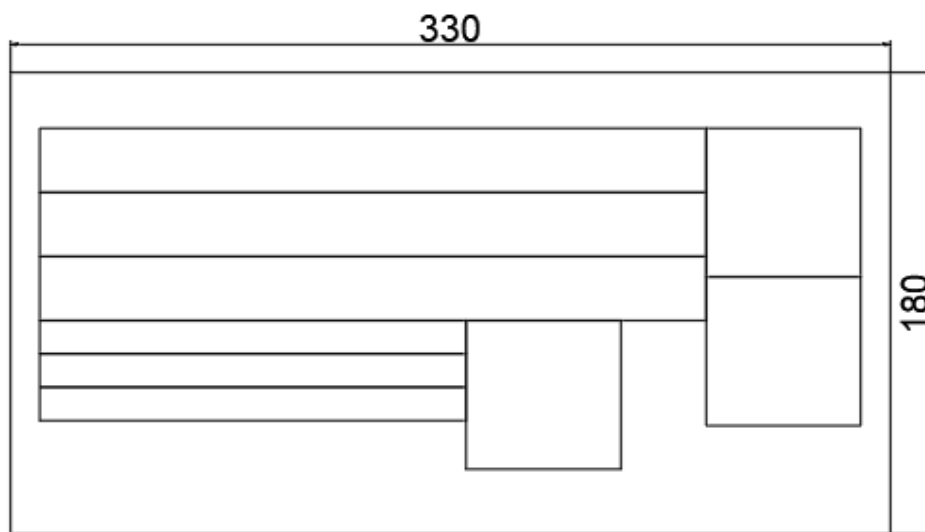


Figura 2.8. Plano de distribución de probetas para cada placa.

En la figura 20, se puede visualizar la respectiva distribución de las muestras de tracción, flexión e impacto correspondiente a la norma ASTM, esto se repite para cada caso, el cual nos da un total de 9 probetas que sirven para realizar los ensayos mecánicos.

De acuerdo con el procedimiento elaborado para el conformado y las dimensiones ya establecidas se puede obtener el volumen total del molde.

Dimensiones:

Largo(l):330mm; Ancho(a):180mm; Espesor(e): 2.10mm

$$V_T = l * a * e$$



Ecu. 2.2




$$V_T = 330 \text{ mm} * 180 \text{ mm} * 2.10 \text{ mm}$$


$$V_T = 124.74 \text{ cm}^3$$

2.9. Preparación de probetas para corte laser

Tabla 2.15 Proceso de corte de probetas

Nº	Actividad a realizar	Detalle	Ilustración
1	Colocación de probetas en la mesa de corte	Se ubicó cada probeta en la mesa de corte para centrar las esquinas y delimitar el área necesaria.	
2	Corte de probetas	En este paso se realiza el corte de probetas mediante el diseño del plano en AutoCAD, en el cual se especificaron las dimensiones correspondientes a cada probeta.	

3	Corte de lijas	Mientras se cortan las probetas, realizamos en corte de lijas con las dimensiones necesarias para el ensayo correspondiente.	
N°	Actividad a realizar	Detalle	Ilustración
4	Anotación del código en las probetas	Se debe realizar la respectiva codificación, dependiendo si es una muestra de flexión, tracción e impacto	
5	Pegado de lijas en probetas	Con el uso de brujita pegamos las lijas ya cortadas en los extremos de las probetas de tracción.	

6	Separación de probetas dependiendo el caso.	Clasificamos las probetas, teniendo en cuenta el número de réplicas y el caso para proceder con el respectivo ensayo.	
---	---	---	--

2.10. Realización de los correspondientes ensayos mecánicos

Por medio de la elaboración de los ensayos destructivos de tracción, flexión e impacto, los cuales son necesarios para el presente trabajo de investigación se conseguirán las propiedades mecánicas que buscamos y necesitamos para evaluar el nuevo material compuesto.

Características adherentes en el ensayo de Tracción

En este tipo de ensayo generalmente lo que se busca es obtener la resistencia última, plasticidad del material y el porcentaje de elongación cuando es sometido a fuerzas axiales, para realizar esto nos basaremos en la norma ASTM D3039/D3039-17, en la que se detalla cómo debemos realizar el respectivo ensayo, para lo cual se utilizaron 3 réplicas para su análisis.

Las formulas necesarias para obtener los resultados óptimos del proceso los sacamos de la misma norma, puesto que nos permiten entender de mejor manera como es que se tienen los resultados arrojados por la máquina que realiza este tipo de ensayos destructivos, entre ellas tenemos:

* Módulo de elasticidad

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

Ecu. 2.3

En donde:

E^{chord} =Módulo de elasticidad. [GPa] [psi]

$\Delta\sigma$ = Diferencia de esfuerzos de tracción entre dos puntos de tensión. [MPa] [psi]

$\Delta\varepsilon$ = Diferencia entre dos puntos de deformación. (nominalmente 0,002)

*** Esfuerzo de tracción**

$$F^{tu} = \frac{P^{max}}{A}$$

Ecu. 2.4

En donde:

F^{tu} = Resistencia última a la tracción. [MPa] [psi]

P^{max} = Fuerza máxima antes de fallar. [N] [lbf]

A = Área de la sección transversal. [mm^2] [in^2]

*** Deformación por tracción ultima**

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

Ecu. 2.5

En donde:

E_i = Deformación por tracción en el i-ésimo punto de datos. [mm] [in]

δ_i = desplazamiento del extensómetro en el i-ésimo punto de datos. [mm] [in]

L_g = Longitud calibrada del extensómetro. [mm] [in]

El tipo de maquina utilizada para realizar en correspondiente ensayo de tracción es una maquina universal WAW600B, la cual posee una capacidad de carga de hasta 600 KN, además tiene un cabezal fijo, mordazas de ajuste, sensor de alta precisión para medir la fuerza hidráulica, etc.



Figura 2.9 Ensayo de Tracción bajo la norma D3039/D3039-17.

Para el ensayo primeramente se deben preparar todos los parámetros necesarios, para obtener los resultados deseados y correctos, además los valores que se obtienen en este ensayo serán posteriormente evaluados y optimizados para obtener una mejor combinación de los materiales.

Características para el ensayo de flexión

Generalmente al referirnos a flexión entendemos que es la deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular al eje longitudinal, entonces para este ensayo utilizamos la norma ASTM D7624/D7624-21, la cual permite determinar la rigidez a la flexión a más de sus propiedades de resistencia correspondiente a materiales compuestos de matriz polimérica como es el presente caso.

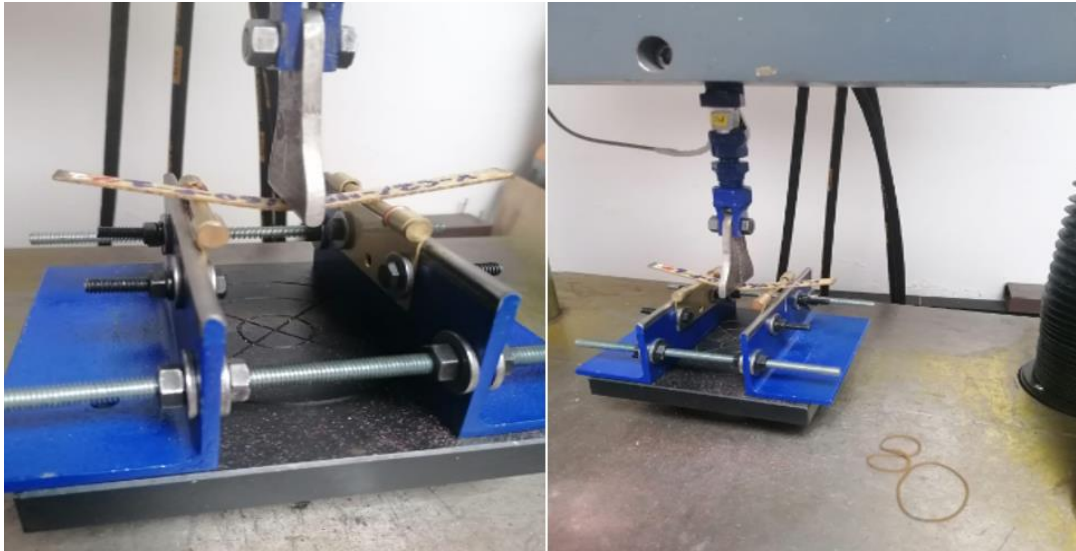


Figura 2.10 Ensayo de flexión bajo la norma ASTM D7624/D7624-21.

Las formulas necesarias para el cálculo de dichas propiedades mecánicas se dan a continuación.

*** Esfuerzo máximo de flexión**

En esta la tensión se calculará para cualquier punto de la curva carga/deflexión por medio de la siguiente ecuación.

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

Ecu. 2.6

En donde:

σ = Esfuerzo máximo. [MPa] [psi]

P = Carga aplicada. [N] [lbf]

L = Longitud entre apoyos. [mm] [in]

b = Ancho de la probeta. [mm] [in]

h = Espesor de la probeta. [mm] [in]

*** Deformación máxima**

Se produce en la mitad del claro y se calcula con la siguiente formula.

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad \text{Ecu. 2.7}$$

En donde:

ϵ = Deformación máxima en la superficie exterior. [mm/mm] [in/in]

δ = Deflexión en la mitad del trayecto. [mm] [in]

h = espesor de la probeta. [mm] [in]

L = longitud entre apoyos. [mm] [in]

*** Módulo de elasticidad de flexión**

Es la relación entre el rango de tensión y el rango de deformación y se calcula de la siguiente manera.

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad \text{Ecu. 2.8}$$

En donde:

E_f^{chord} = Modulo de elasticidad de la cuerda. [MPa] [psi]

$\Delta\sigma$ = Diferencia en la tensión entre los dos puntos seleccionados. [MPa] [psi]

$\Delta\epsilon$ = diferencia entre los dos puntos de tensión escogidos. (nominalmente 0.002)

Aspectos a considerar en el ensayo de Impacto

Este nos sirve para evaluar las propiedades mecánicas de un material determinado, en el cual se determina la tenacidad que posee dicho material al someterlo a esfuerzos de choque, para esto usaremos la norma ASTM D5628-18, en donde podemos ver el método de prueba para realizar el ensayo y obtener las propiedades mecánicas necesarias. De esta forma lograremos obtener la energía de impacto mediante la caída de un dardo a cierta altura, aplicando los parámetros indicados en la misma.



Figura 2.11 Ensayo de impacto bajo la norma ASTM D5628-18.

Una vez establecidos los parámetros indicados en la norma, se procede a realizar el ensayo como se indica en la figura 000. La energía media de fallo podemos calcularla mediante la siguiente fórmula.

*** Energía media de fallo**

$$\mathbf{MFE = h * w * f}$$

Ecu. 2.9

En donde:

MFE: Es la energía media de fallo. [J]

h= Altura de falla. [psi]

f= Factor de conversión a Joules (utilizar un valor de $f= 9.80665 \times 10^{-3}$ si las unidades de h= mm y w= kg)

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Interpretación y tabulación correspondientes a los resultados obtenidos en los ensayos mecánicos.

Es realmente importante realizar la respectiva interpretación de los resultados que se obtengan al haber realizado los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto. Dichos resultados se detallan a continuación mediante el uso de fichas técnicas, las cuales contienen los datos reales obtenidos de cada ensayo, y además se indica la codificación pertinente a cada ficha dependiendo el caso.

La norma ASTM D3039 correspondiente a los ensayos de tracción, indica que se deben considerar 5 muestras para validar su análisis, así que para nosotros poder hacer valido dicho análisis experimental aplicamos la metodología de estudio de Diseño de Experimentos DOE/MSR, el cual permite comprimir de 5 a 3 muestras por cada caso de estudio, proporcionando así los respectivos resultados al haber realizado los ensayos mecánicos, además el método abarca también para los ensayos de impacto y flexión.

3.1.1. Resultados correspondientes a los resultados de los ensayos de tracción

En base a los resultados arrojados por la Maquina universal de ensayos WAW600B, se detallan los resultados pertinentes de cada una de las muestras y se realiza un breve análisis dependiendo el caso.

Tabla 3.1 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 1.

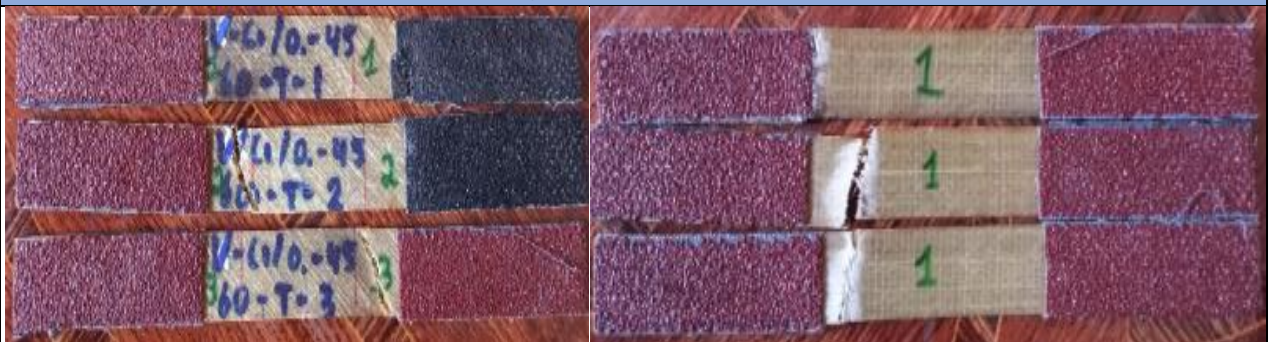
		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C1/0.-45/60-T		
Parámetros de ensayo					

Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	0/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Espesor promedio:	2,02mm

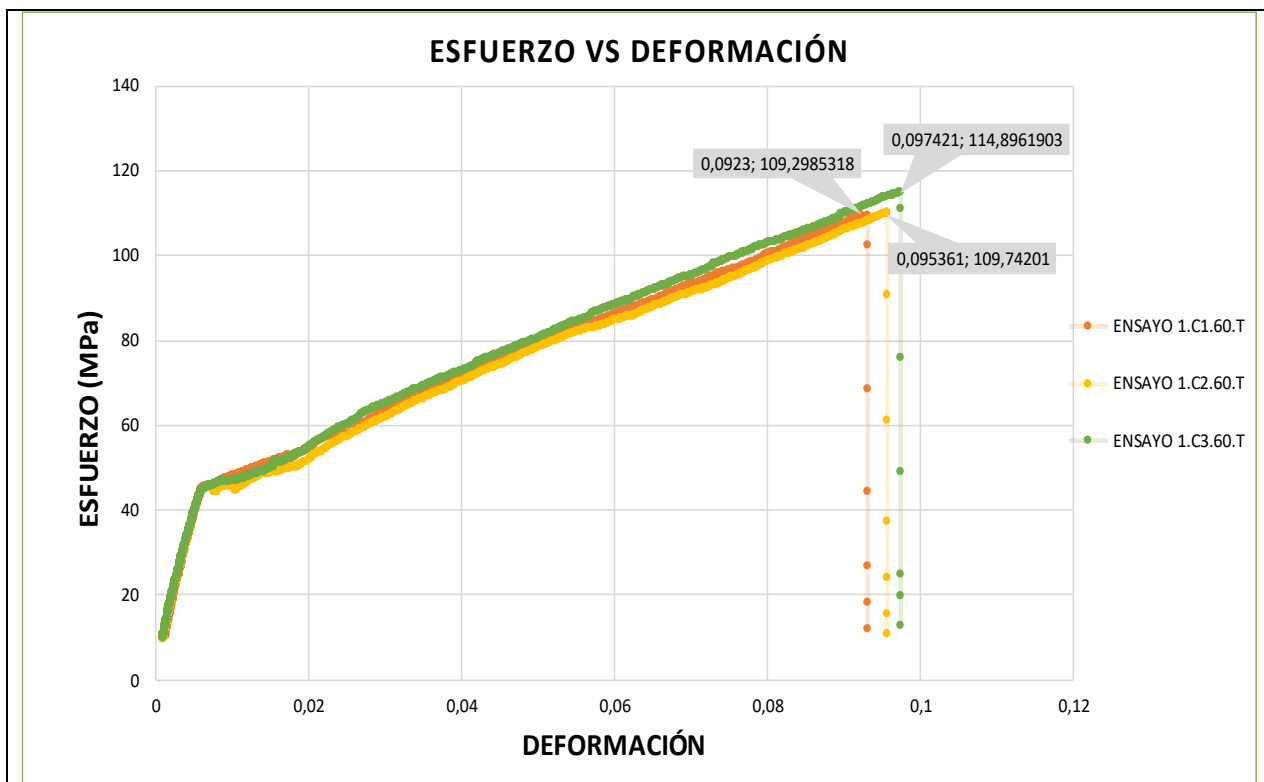
Resultados

Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	5360	55,00	109,00	6790	0,5	LAL
2	5750	55,00	110,00	6460	1	AGM (1)
3	5700	58,00	115,00	4950	1,5	AGM(1)
Promedio	5603,33	56,00	111.33	6066,66	1	-

Fotografías de los ensayos



Gráficas de esfuerzo Vs deformación





Observación de ensayos

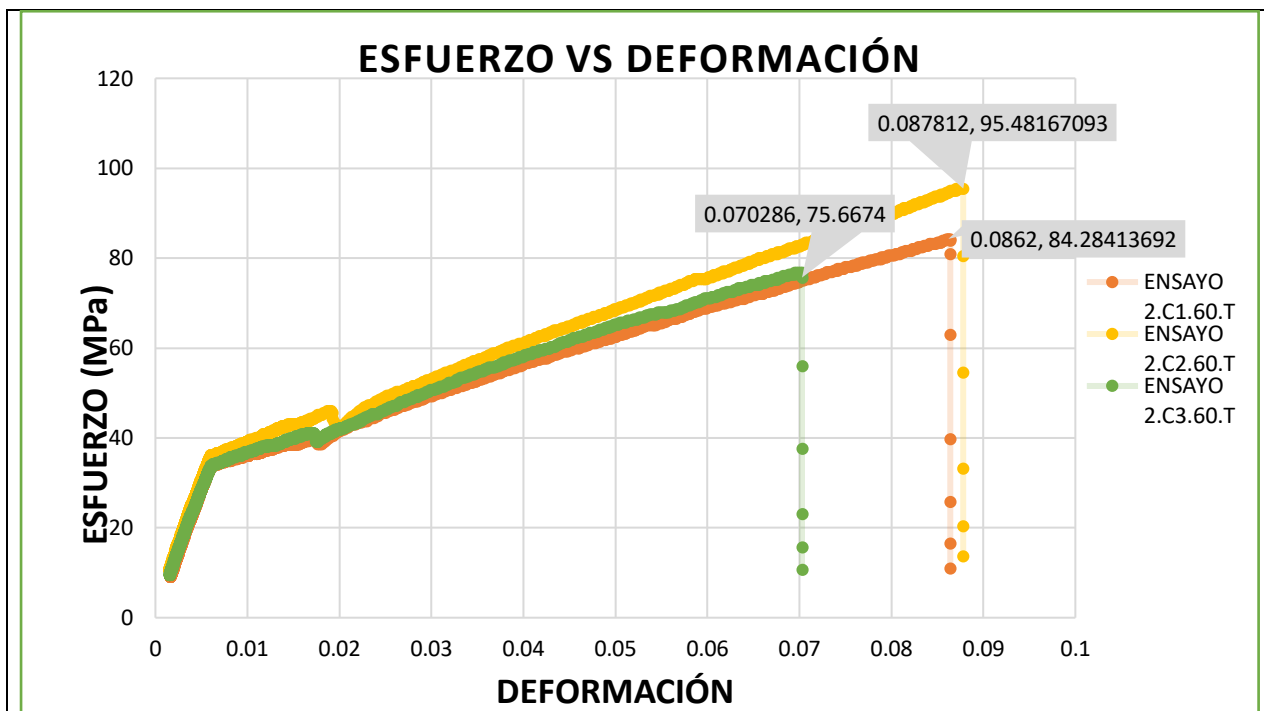
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probeta 1 presenta un tipo de falla LAL, la cual indica que el tipo de falla es lateral, en la posición de agarre la cual está localizada a la izquierda según la gráfica.
- Las probetas 2 y 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	5603,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	111,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	6066,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.2 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 2.

	<p>Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica</p>	
<p>Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17</p>		

Datos informativos						
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba			
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV					
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C2/-45.0/60-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	41,73	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C	
Orientación de fibra:	-45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	53	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Espesor promedio:	2,05 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación n (%)	Tipo de falla
1	4580	42	84	5430	0,5	GAR
2	4480	48	95	3260	1,5	AGM (1)
3	4000	39	77	5260	1,5	AGM (1)
Promedio	4353,33	43	85,33	4650	1,16	
Fotografías de los ensayos						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						






Observación de ensayos

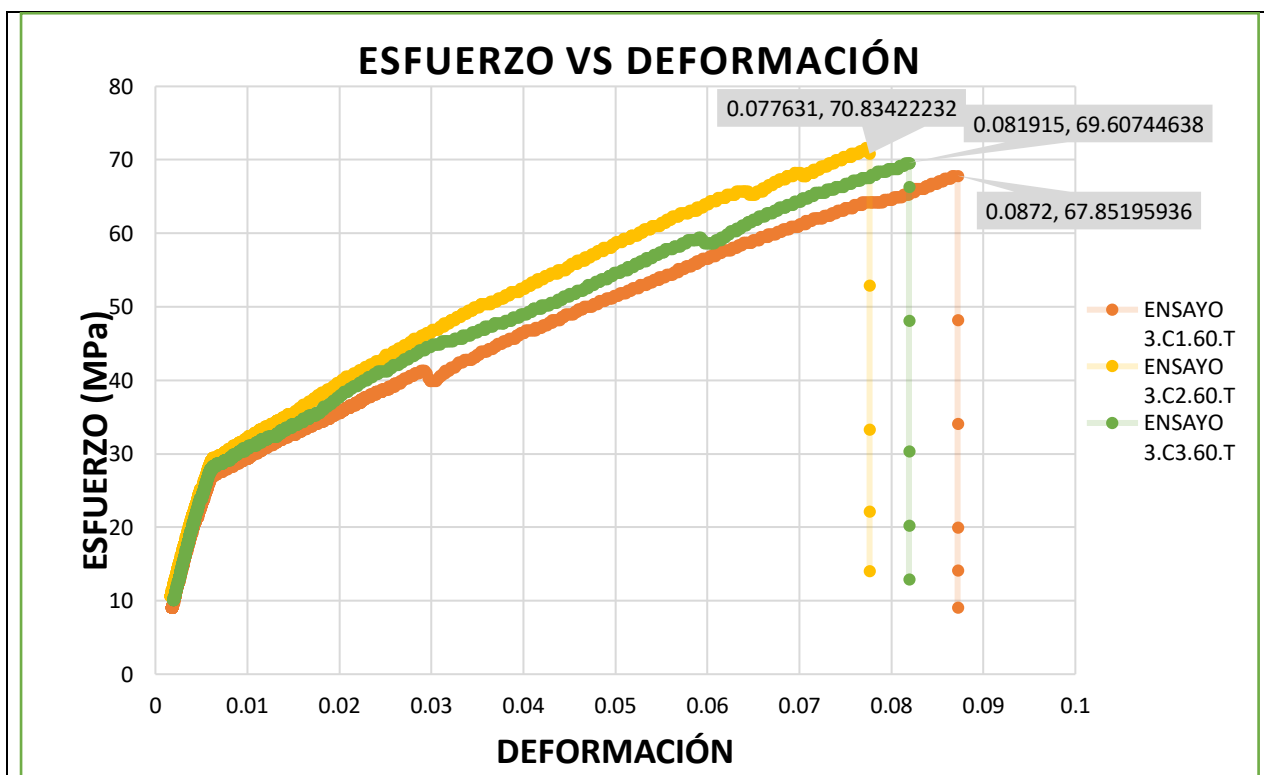
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probeta 3 presenta un tipo de falla GAR, es decir presenta una ruptura en la parte del agarre localizado a la derecha, por otra parte las probetas 2 y 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual indica que el tipo de falla es angular, presente en el área calibrada localizadas en la zona media de las probetas.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	4353,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	85,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1,16	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	4650	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.3 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 3.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica		
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos			
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba

Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV					
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C3/45.0/60-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	44,88	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C	
Orientación de fibra:	45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	57	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,03 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	3740	34	68	3790	0,5	AGM (1)
2	3360	36	72	4040	1	GAL
3	3440	35	70	4290	1	AGM (1)
Promedio	3513,33	35	70	4040	0,83	
Fotografías de los ensayos						
						
Graficas de esfuerzo Vs deformación						





Observación de ensayos

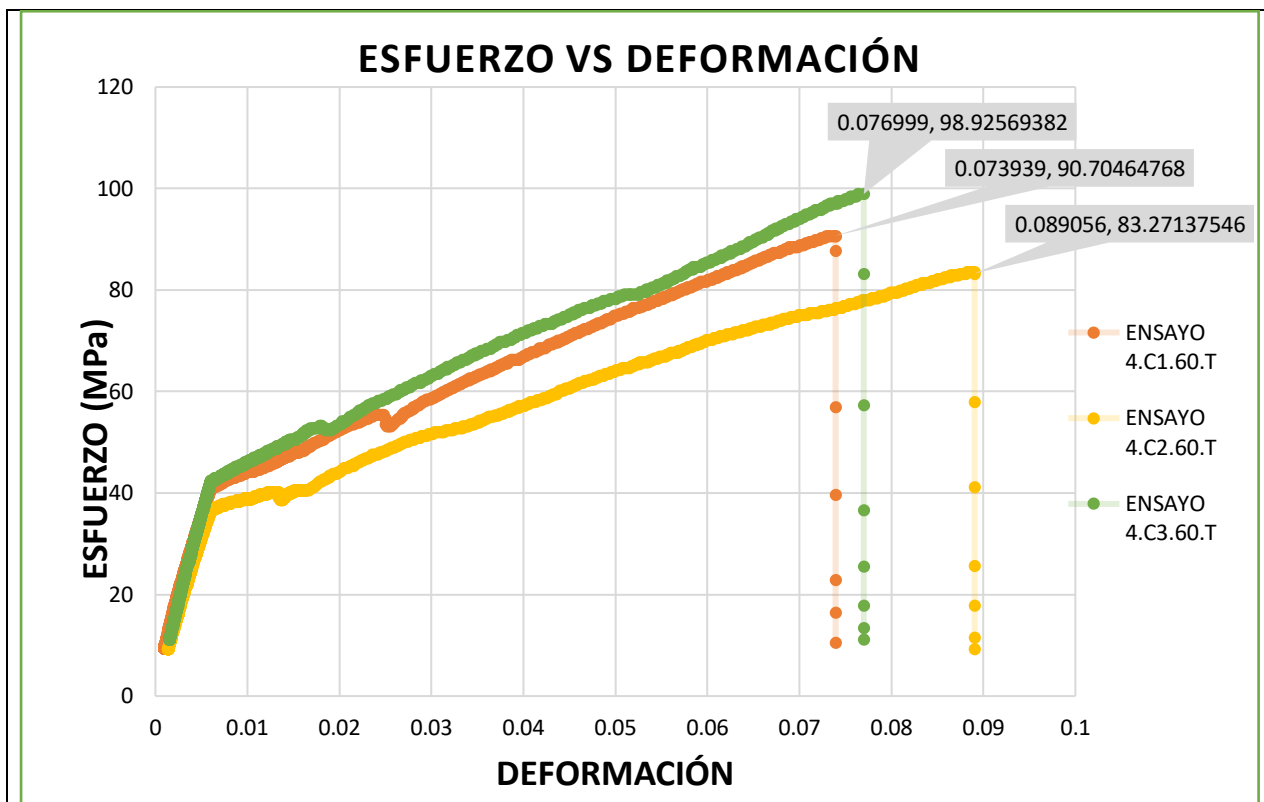
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probeta 2 presenta un tipo de falla GAL, la cual indica que el tipo se da en el agarre de la probeta localizada a la derecha de la probeta.
- Las probetas 1 y 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3513,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	70	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	0,83	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	4040	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.4 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 4.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica	
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17		

Datos informativos						
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba			
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LENMaV					
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C4/0.45/60-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	41,73	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C	
Orientación de fibra:	0/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	53	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,04 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	4840	46	91	6040	3,5	AGM (1)
2	4500	42	84	5820	3,5	AGM (1)
3	4420	50	99	6760	3,5	AGM (1)
Promedio	4586,66	46	91,33	6206,66	3,5	
Fotografías de los ensayos						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						





Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	4586,66	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	91,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	3,5	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	6206,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.5 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 5.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica	
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos		

Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV		
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B		
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C5/-45.-45/90-T

Parámetros de ensayo

Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	41,73
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	-45/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	53	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,13

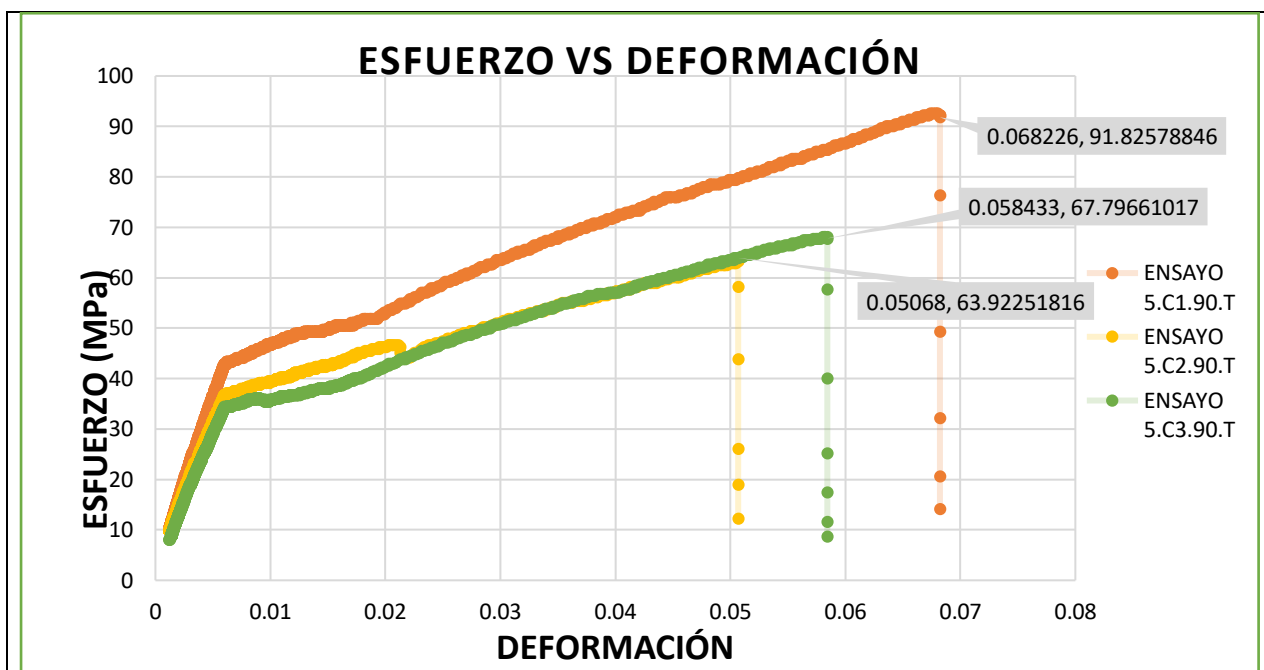
Resultados

Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	4320	47	93	6690	0	GAL
2	3200	38	63	5740	1	GAR
3	4220	36	68	5410	0,5	LAR
Promedio	3913,33	40,33	74,66	5946,66	0,5	

Fotografías de los ensayos



Gráficas de esfuerzo Vs deformación



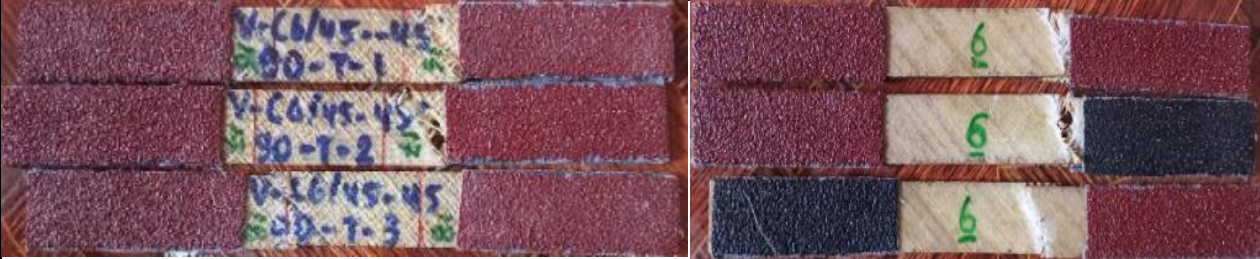
Observación de ensayos

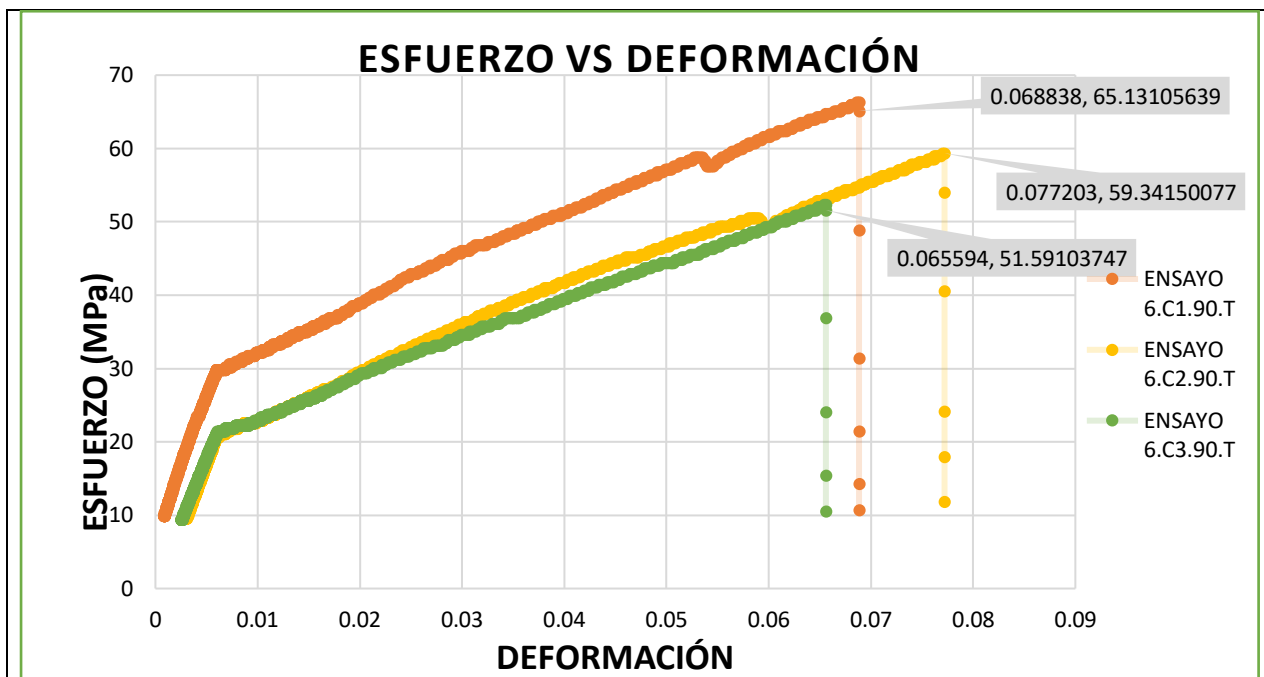
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probeta 1 presenta un tipo de falla GAL, la cual indica que el tipo se da en el agarre de la probeta localizada a la derecha de la probeta.
- La probeta 2 presenta un tipo de falla GAR, la cual indica que el tipo se da en el agarre de la probeta localizada a la izquierda de la probeta.
- Las probeta 3 presenta un tipo de falla LAR, la cual nos indica que posee un tipo de falla lateral sobre el agarre ubicada en la parte izquierda de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3913,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	74,66	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	0,5	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	5946,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.6 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 6.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica	
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos		

Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba			
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV					
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredez			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C6/45.-45/90-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	42,51	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C	
Orientación de fibra:	45/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,09 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	3340	33	66	3850	2	AGM (1)
2	3100	30	59	1520	0	LAR
3	2780	26	52	1860	3,5	AGM(1)
Promedio	3073,33	29,66	59	2410	1,83	
Fotografías de los ensayos						
						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						





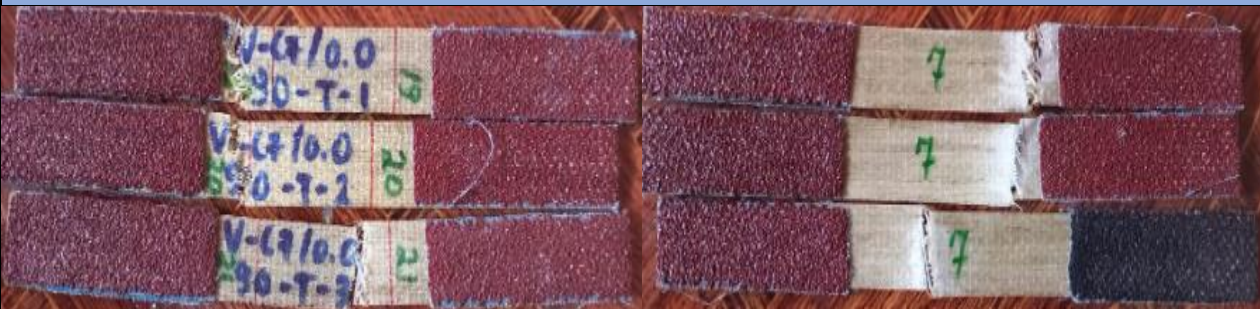
Observación de ensayos

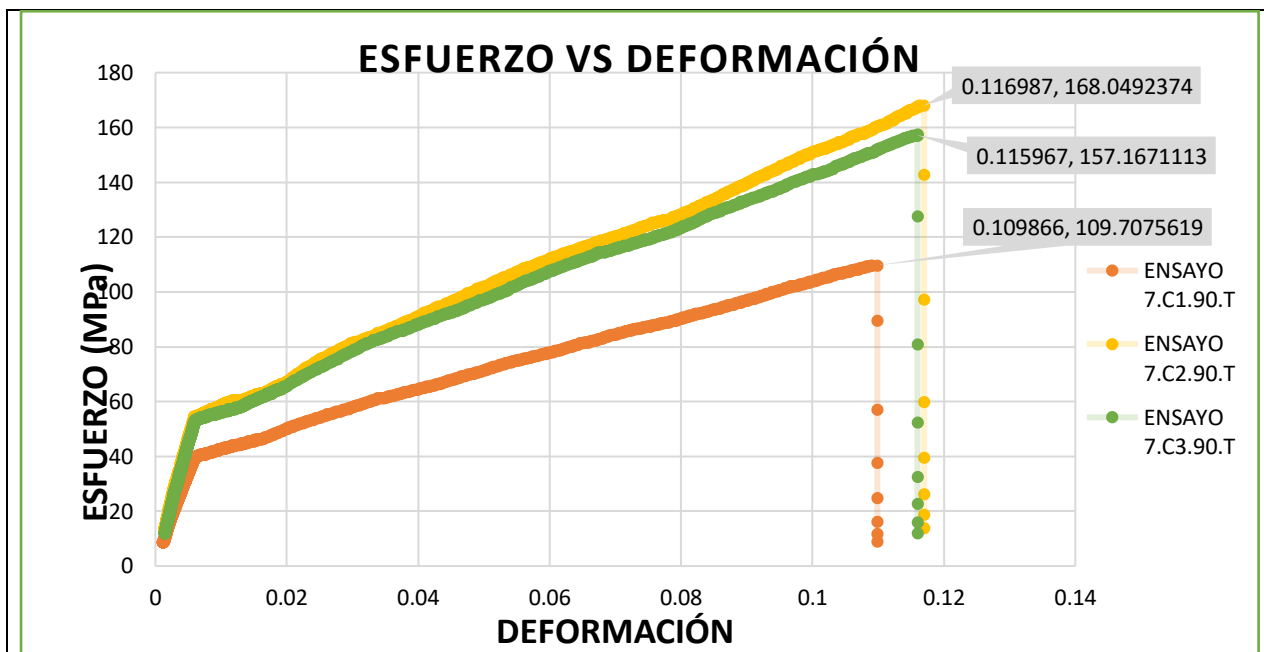
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas 1 y 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta
- Las probeta 2 presenta un tipo de falla LAR, la cual nos indica que posee un tipo de falla lateral sobre el agarre ubicada en la parte izquierda de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3073,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	59	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1,83	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2410	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.7 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 7.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica		
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos			
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV		

Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C7/0.0/90-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	40,94	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C	
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	52	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	1,83 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	6340	55	110	2550	1,5	AGM (1)
2	6280	85	168	2040	0,5	AGM (1)
3	6500	79	158	2320	3	AGM (1)
Promedio	6373,33	73	145,33	2303,33	1,67	
Fotografías de los ensayos						
						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						



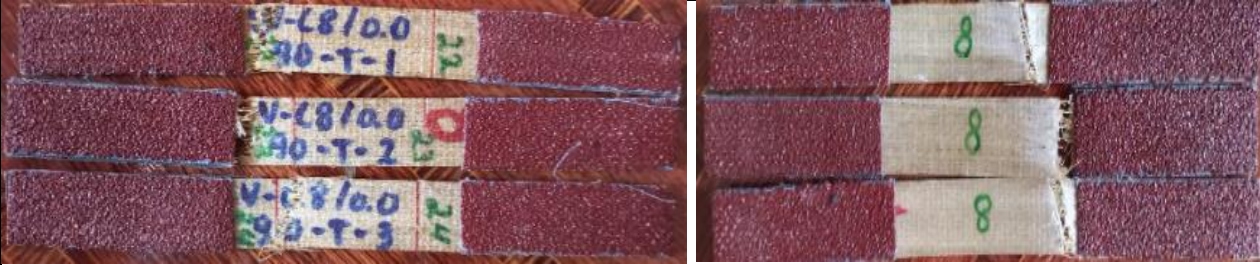
Observación de ensayos

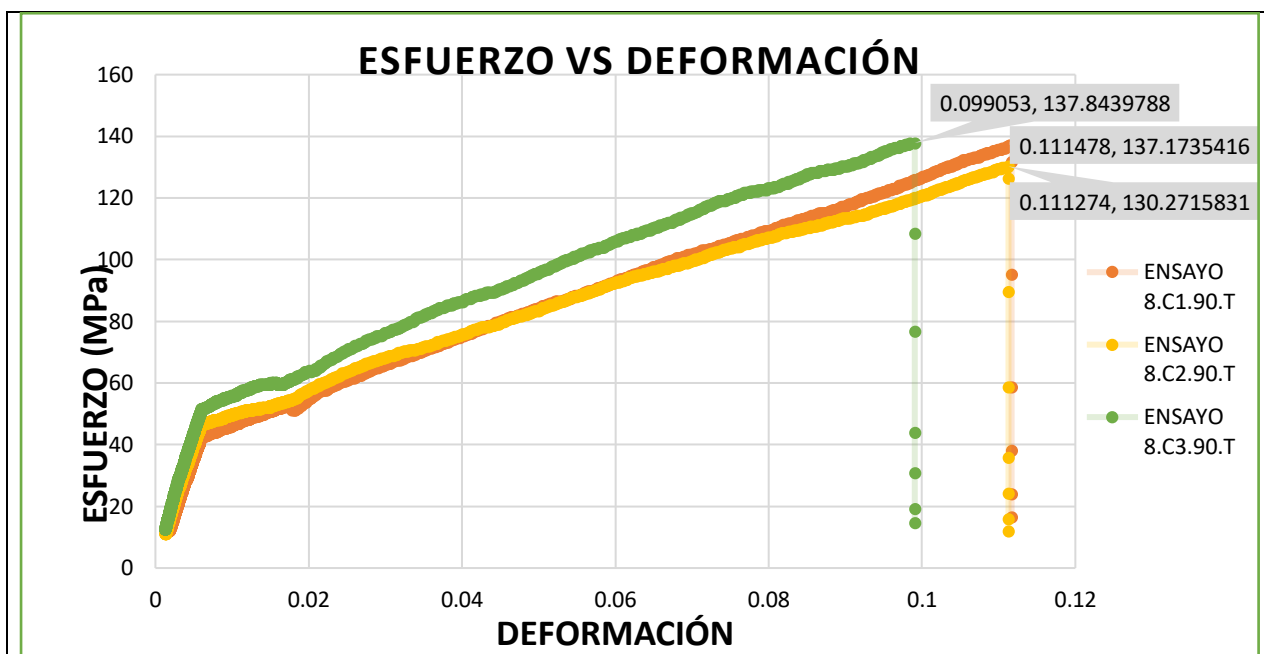
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	6373,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	145,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2303,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.8 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 8.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		

Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C8/0.0/90-T		
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	44,88	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C	
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	56	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	1,69 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	5620	69	137	1680	1	AGM (1)
2	5900	65	130	2470	1	LIR
3	5460	69	138	4190	3	GAR
Promedio	5660	67,66	135	2780	1,67	
Fotografías de los ensayos						
						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						





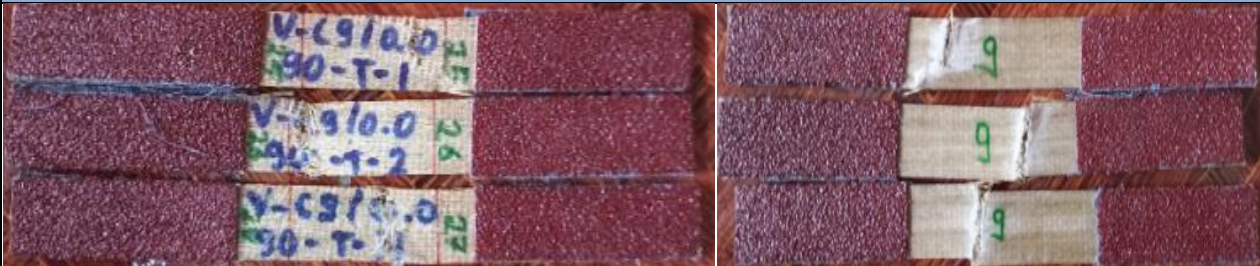
Observación de ensayos

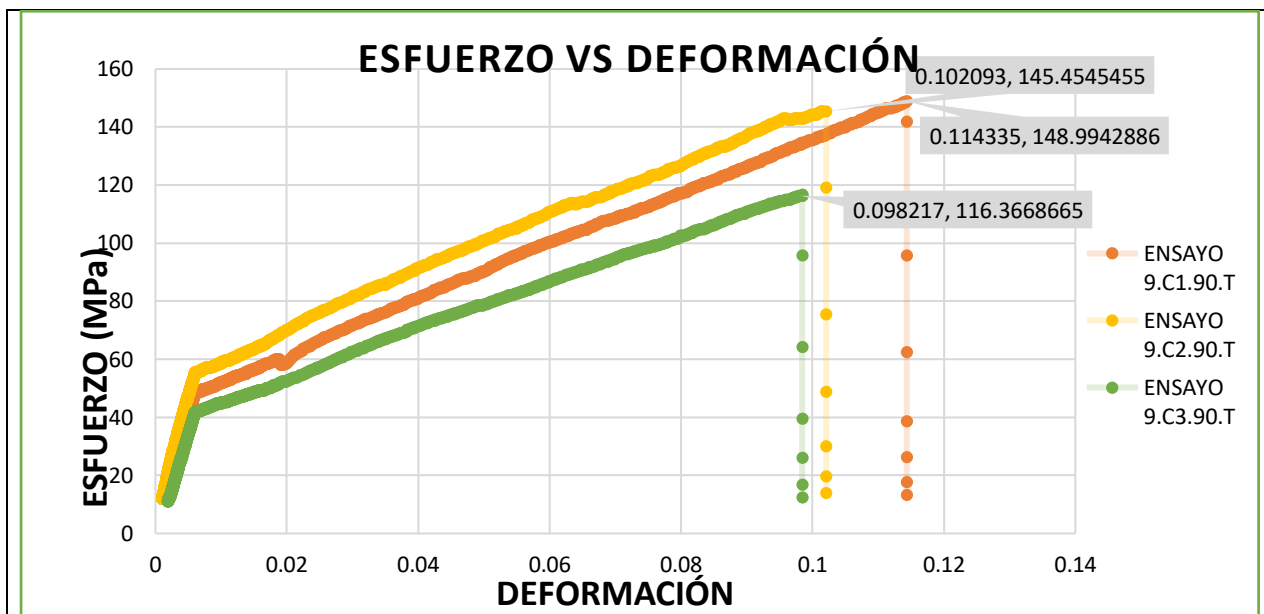
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probeta 1 presenta un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.
- La probeta 2 presenta un tipo de falla LIR, la cual produce un tipo de falla en la zona lateral dentro del agarre localizada a la derecha de la probeta.
- La probeta 3 presenta un tipo de falla GAR, la cual indica que el tipo se da en el agarre de la probeta localizada a la izquierda de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	5660	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	135	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2780	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.9 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 9.

	<p>Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica</p>	
<p>Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17</p>		

Datos informativos						
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba			
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LENMaV					
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredez			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C9/0.0/90-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	42,51	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C	
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	2 mm/mm	Espesor promedio:	1,70 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación n (%)	Tipo de falla
1	6000	75	149	2050	4	AGM (1)
2	6000	73	145	4320	4	AGM (1)
3	5260	59	117	2620	3	AGM (1)
Promedio	5753,33	69	137	2996,66	3,66	
Fotografías de los ensayos						
						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						



Observación de ensayos

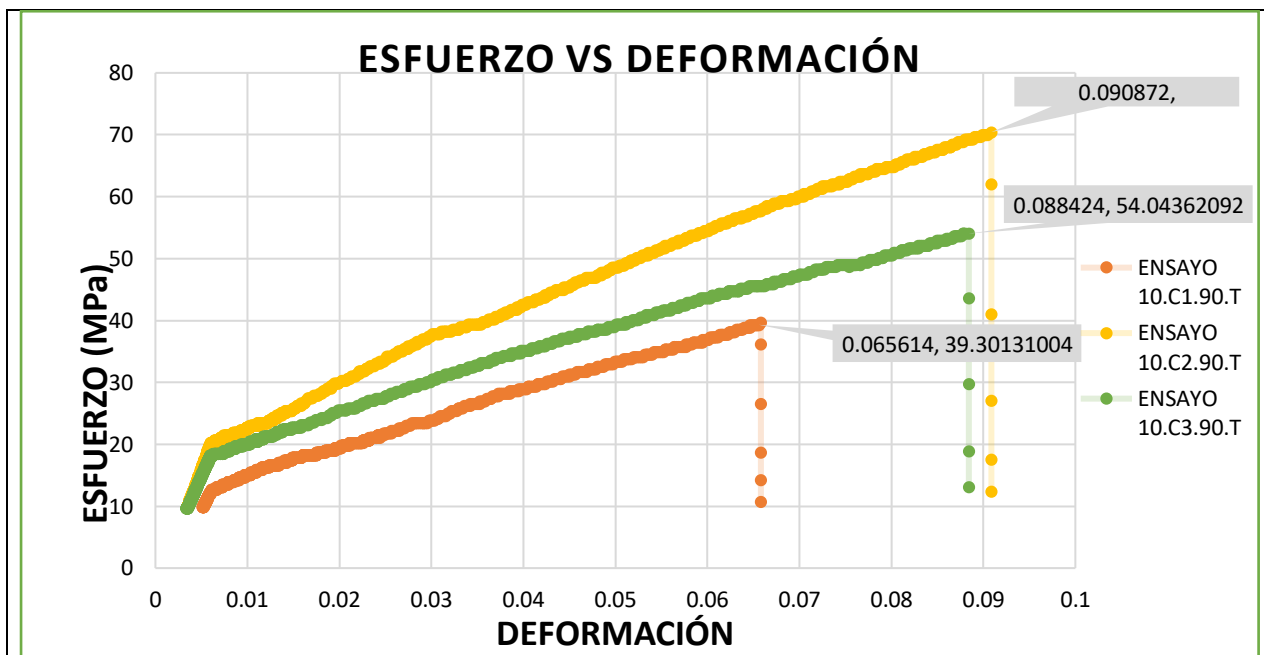
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probetas presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	5753,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	137	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	3,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2996,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.10 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 10.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		

Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C10/-45.45/90-T		
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	42,51	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C	
Orientación de fibra:	-45/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,05 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	2000	20	40	5800	1,5	AGM (1)
2	3540	35	70	1050	3,5	AGM (1)
3	2800	27	54	1180	3,5	AGM (1)
Promedio	2780	27,33	54,66	2676,66	2,83	
Fotografías de los ensayos						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						





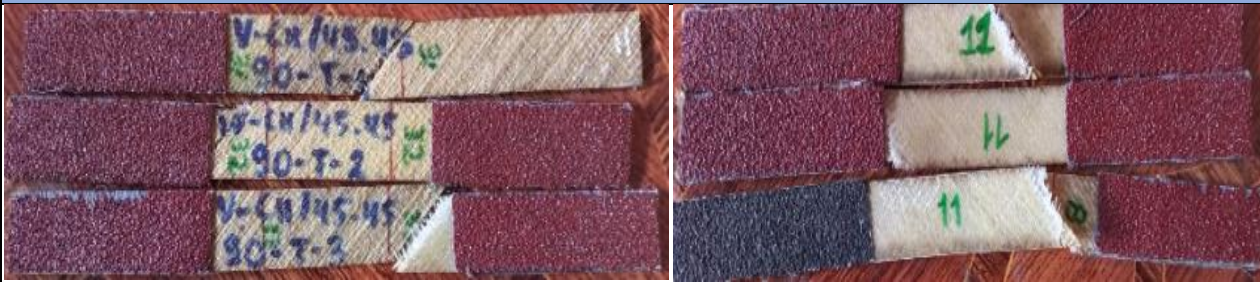
Observación de ensayos

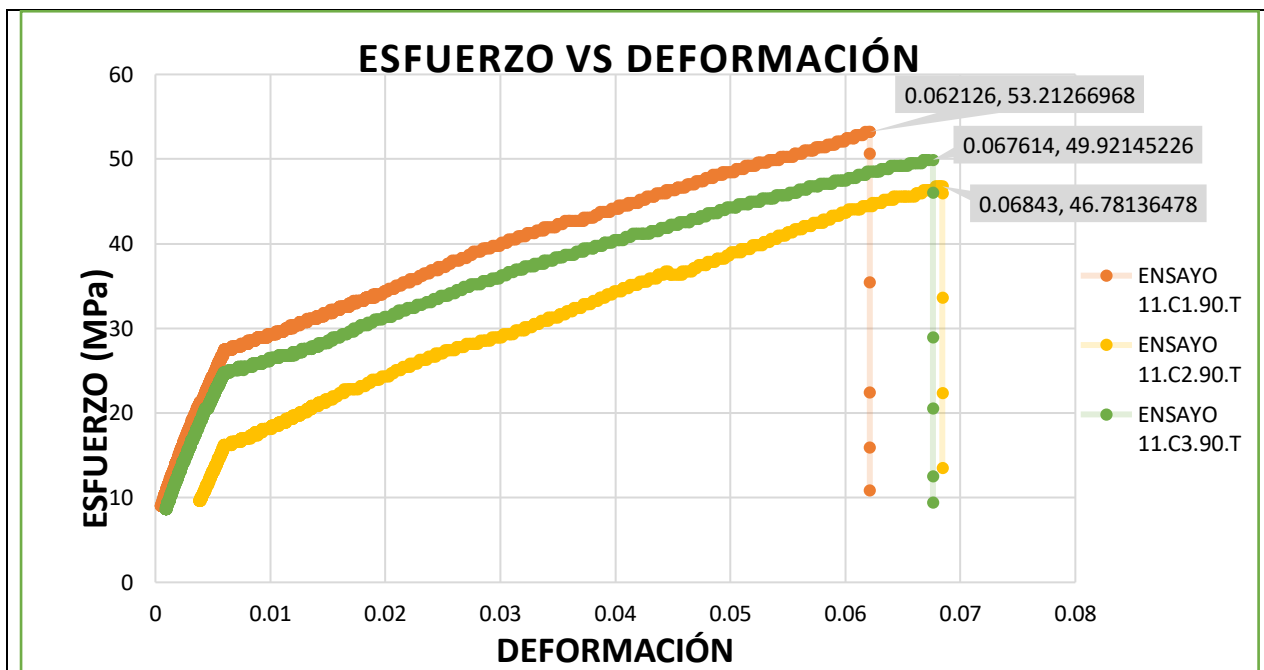
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las 3 probetas presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	2780	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	54,66	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	2,83	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2676,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.11 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 11.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17					
Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				

Elaborado por:	Johnny Tipantasig		Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C11/45.45/90-T		
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	44,88	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C	
Orientación de fibra:	45/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	57	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Espesor promedio:	2,18 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	2940	28	53	3540	3,5	AGM (1)
2	2420	28	47	6200	0,5	LIL
3	2860	25	50	3420	1	AGM (1)
Promedio	2740	27	50	4386,66	1,66	
Fotografías de los ensayos						
						
Graficas de esfuerzo Vs deformación						





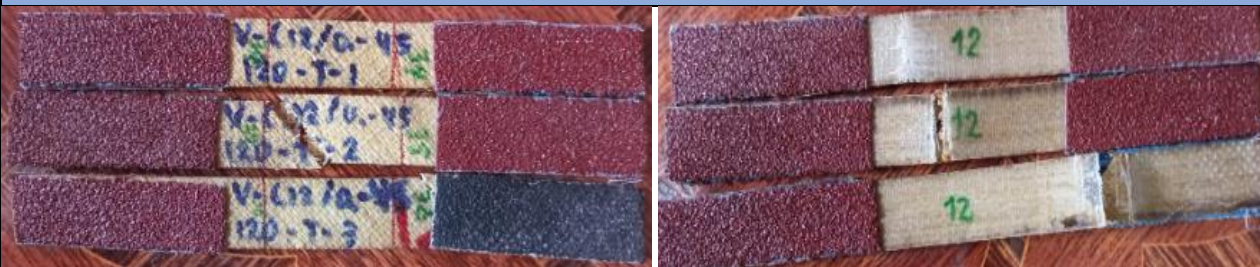
Observación de ensayos

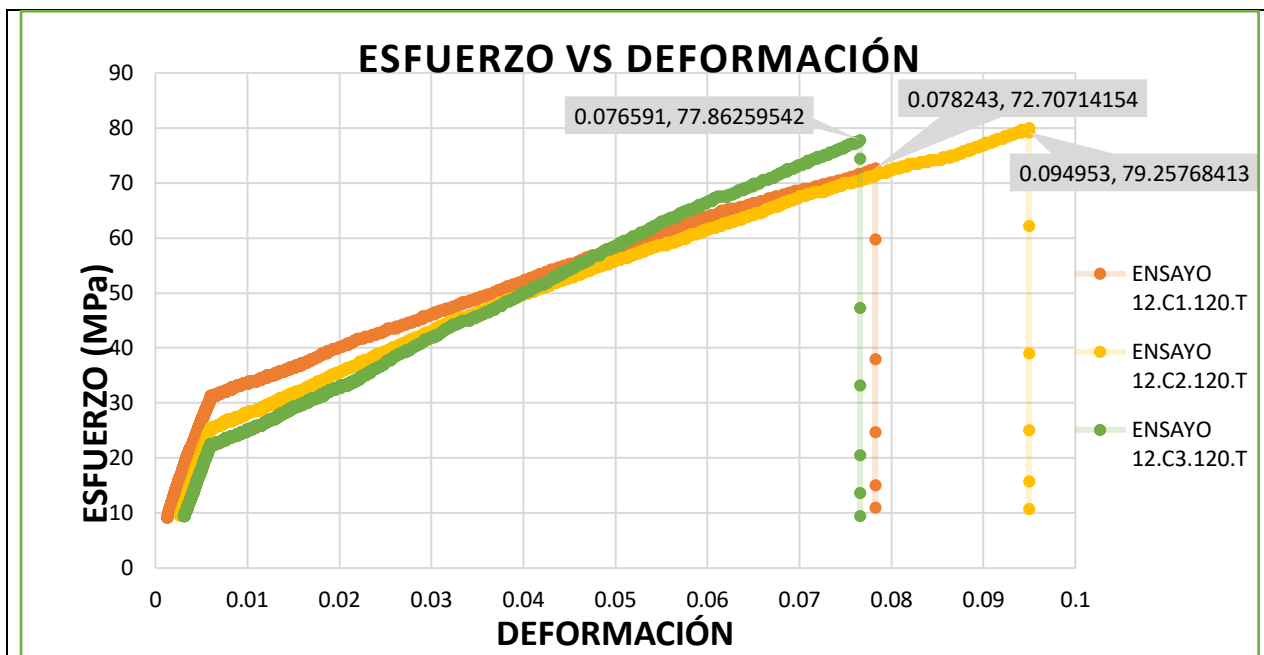
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probeta 1 y 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.
- La probeta 2 presenta un tipo de falla LIL, la cual produce un tipo de falla en la zona lateral dentro del agarre localizada a la izquierda de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	2740	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	50	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	4386,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.12 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 12.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica		
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos			
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV		

Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C12/0,-45/120-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	44,09	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C	
Orientación de fibra:	0/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	56	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,08	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	3940	37	73	4410	1,5	AGM (1)
2	4140	40	80	1420	3,5	AGM (1)
3	4080	39	78	1180	1	AGM (1)
Promedio	4053,33	38,66	77	2336,66	2	
Fotografías de los ensayos						
						
Graficas de esfuerzo Vs deformación						



Observación de ensayos

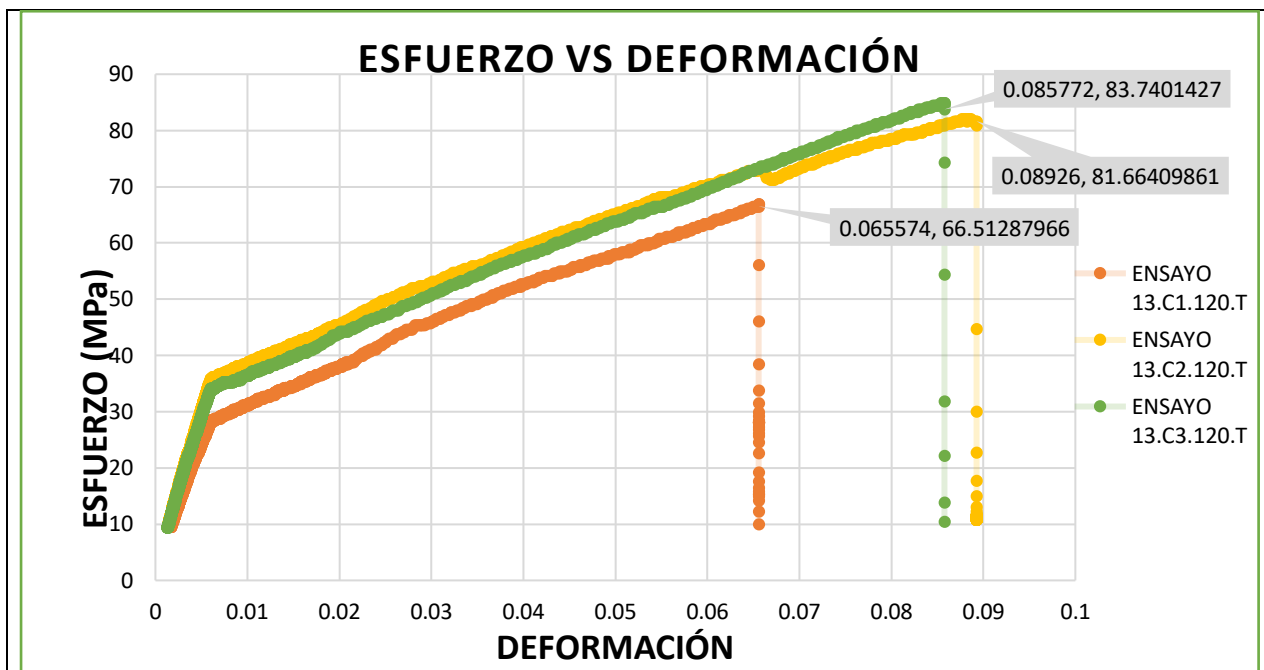
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- La probetas presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	4053,33	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	77	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	2	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2336,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.13 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 13.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		

Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C13/-45.0/120-T		
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	44,09	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C	
Orientación de fibra:	-45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	56	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,07 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	3480	34	67	4260	3	AGM (1)
2	4260	41	82	5440	0,5	LIL
3	4520	43	85	4990	4	AGM (1)
Promedio	4086,66	39,33	78	4896,66	2,5	
Fotografías de los ensayos						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						





Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas 1 y 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.
- La probeta 2 presenta un tipo de falla LIL, la cual produce un tipo de falla en la zona lateral dentro del agarre localizada a la izquierda de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	4086,66	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	78	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	2,5	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	4896,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.14 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 14.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica		
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos			
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV		
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B		

Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C14/45.0/120-T

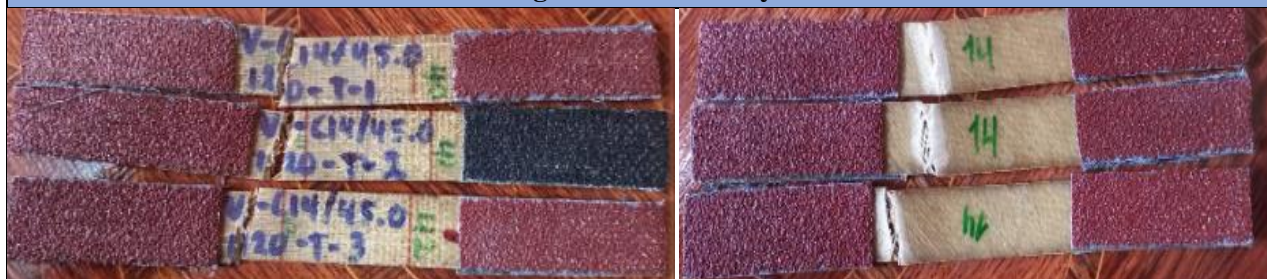
Parámetros de ensayo

Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,17 mm

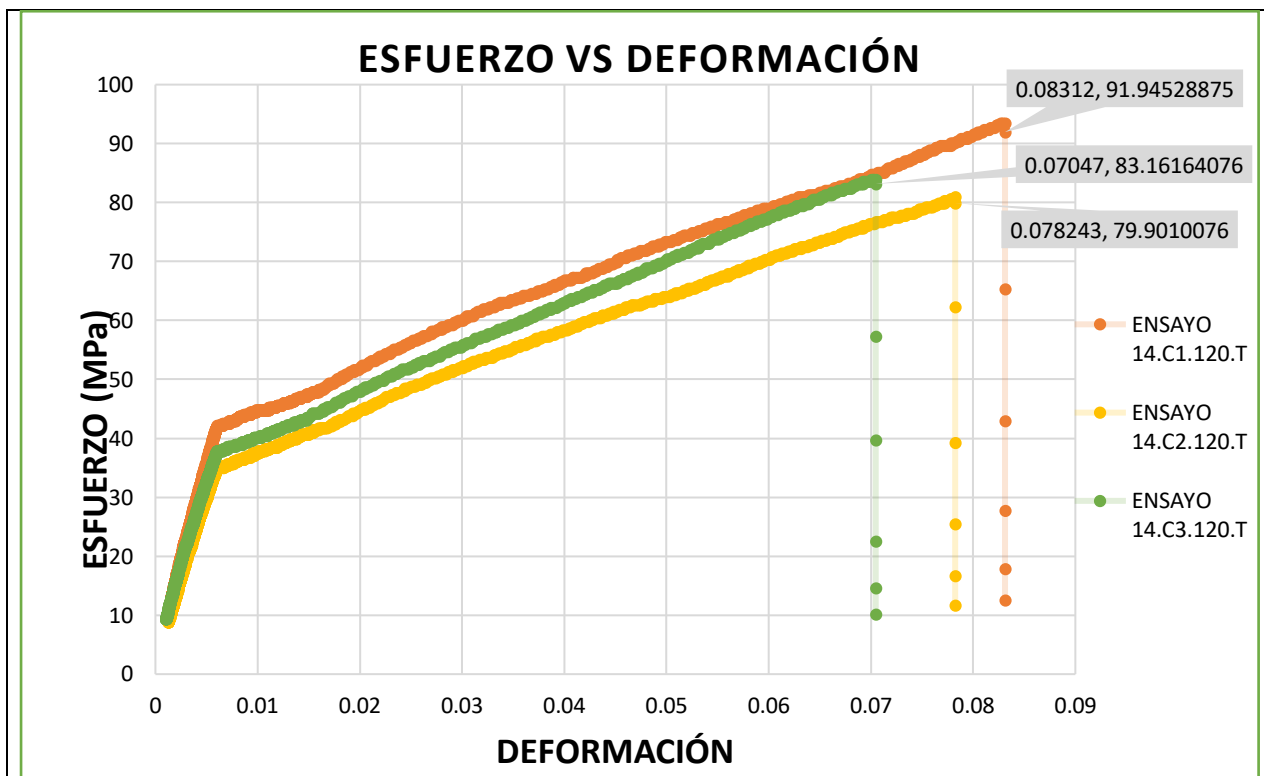
Resultados

Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	4920	47	93	6450	2	AGM (1)
2	4580	41	81	5400	0,5	AGM (1)
3	4480	42	84	5520	0,5	AGM (1)
Promedio	4660	43,33	86	5790	1	

Fotografías de los ensayos



Gráficas de esfuerzo Vs deformación






Observación de ensayos

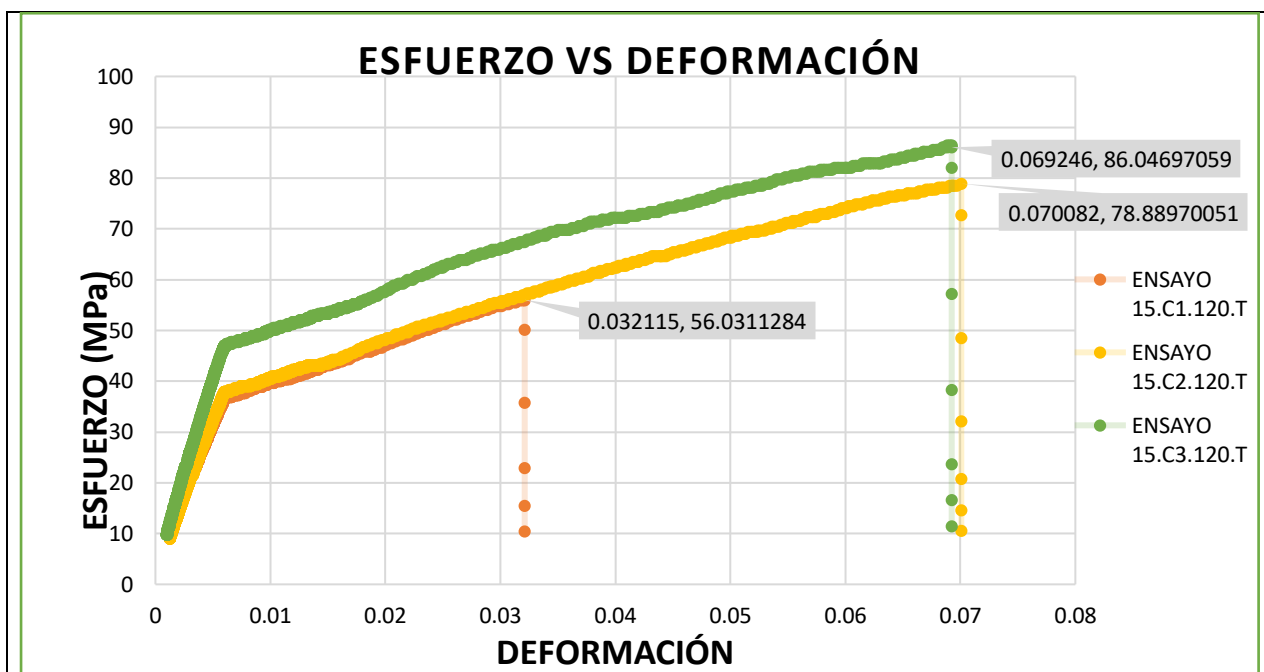
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las 3 probetas presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	4660	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	86	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	5790	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.15 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a tracción, caso 15

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica		
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D3039/D3039M-17 Datos informativos			
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba

Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV					
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C15/0.45/120-T			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D3039	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz:	44,09	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C	
Orientación de fibra:	0/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	56	Velocidad de ensayo:	2 mm/min	Espesor promedio:	2,1	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	2880	38	56	6150	0	LAL
2	4320	40	79	5890	2,5	AGM (1)
3	4380	49	86	7510	1,5	AGM (1)
Promedio	3860	42,33	73,66	6516,66	1,33	
Fotografías de los ensayos						
						
Gráficas de esfuerzo Vs deformación						





Observación de ensayos


- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas 2 y 3 presentan un tipo de falla AMG (1), la cual nos indica que posee un tipo de falla angular en el área calibrada y ubicada en el medio de la probeta.
- La probeta 1 presenta un tipo de falla LAL, la cual produce un tipo de falla en la zona lateral posicionada en el agarre ubicada a la derecha de la probeta.

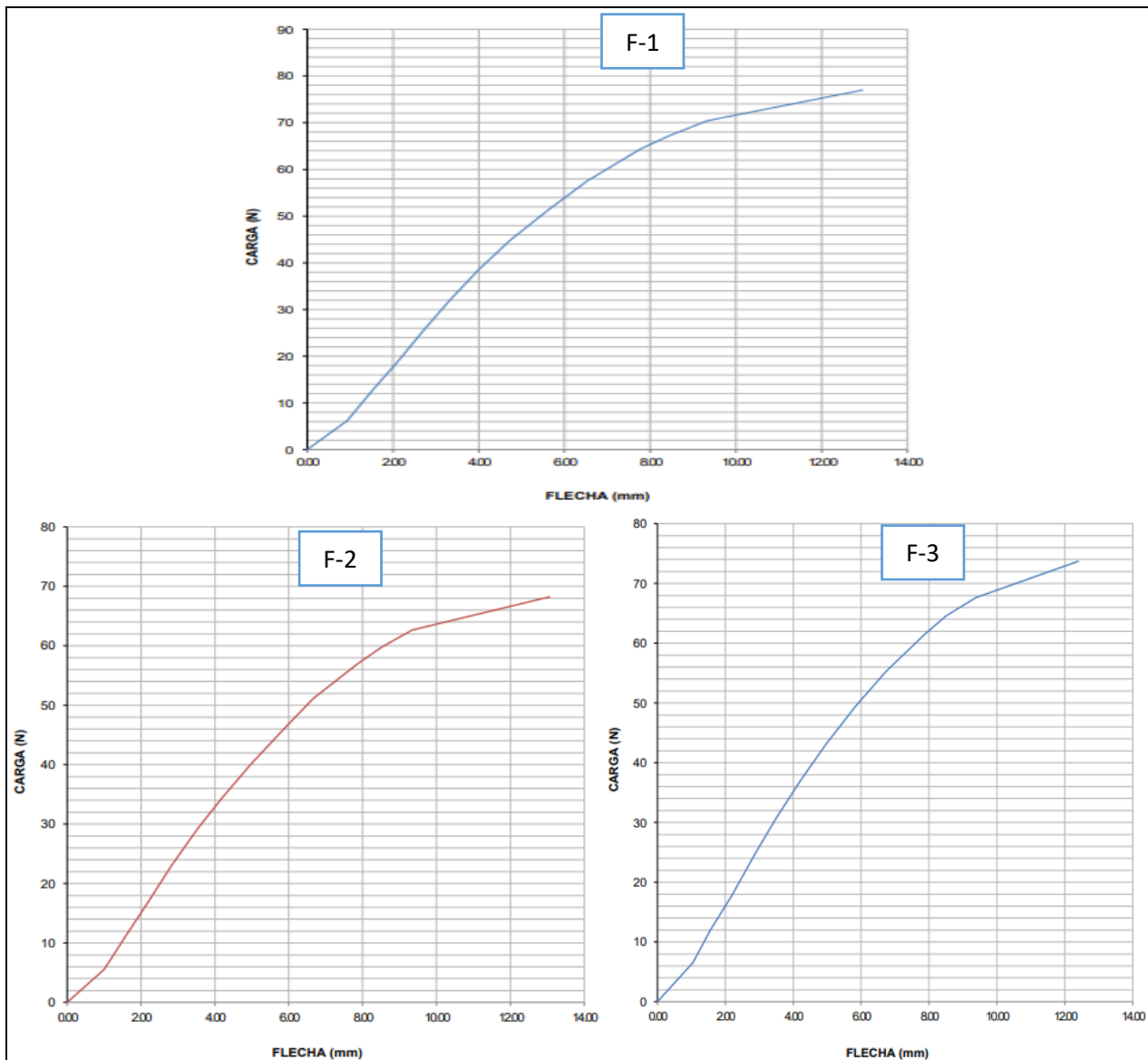
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3860	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	73,66	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
% de elongación	1,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	6516,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

3.1.2. Resultados de los ensayos realizados a Flexión

Tabla 3.16 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 1.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica		
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7624/D7624M-21 Datos informativos			
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV		

Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C1/0.-45/60-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	0/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,07 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	76,97	128,51	5650	12,96	OAU
2	68,23	103,87	4280	13,07	OAU
3	73,72	138,19	6470	12,4	OAU
Promedio	72,97	123,52	5466,66	12,81	-
Fotografías de los ensayos					
					
Gráficas de esfuerzo Vs deformación					






Observación de ensayos

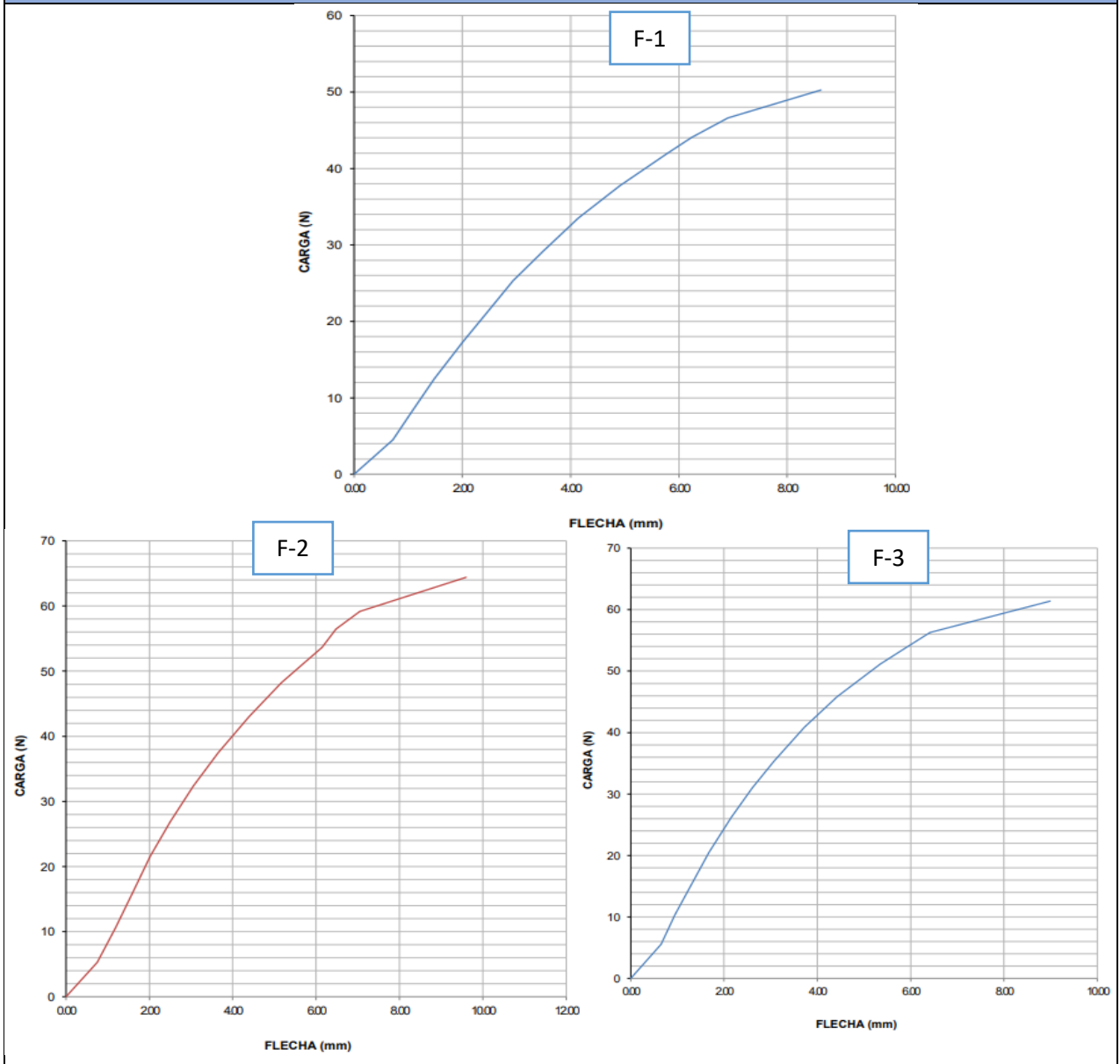
- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 1 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	72,97	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	123,52	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	12,81	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	5466,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.17 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 2.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica </div>  </div>					
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C2/-45.0/60-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	41,73
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	-45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	53	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,06 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	50,27	97,71	6860	8,62	OAU
2	64,41	65,61	5250	9,60	OAU
3	61,39	103,66	8500	8,99	OAU
Promedio	58,69	88,99	6870	9,07	-
Fotografías de los ensayos					
					

Gráficas de esfuerzo Vs deformación





Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 2 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

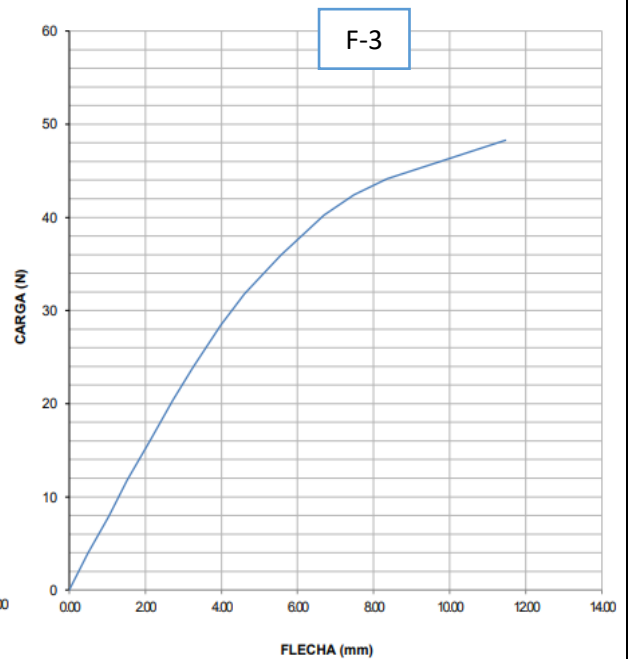
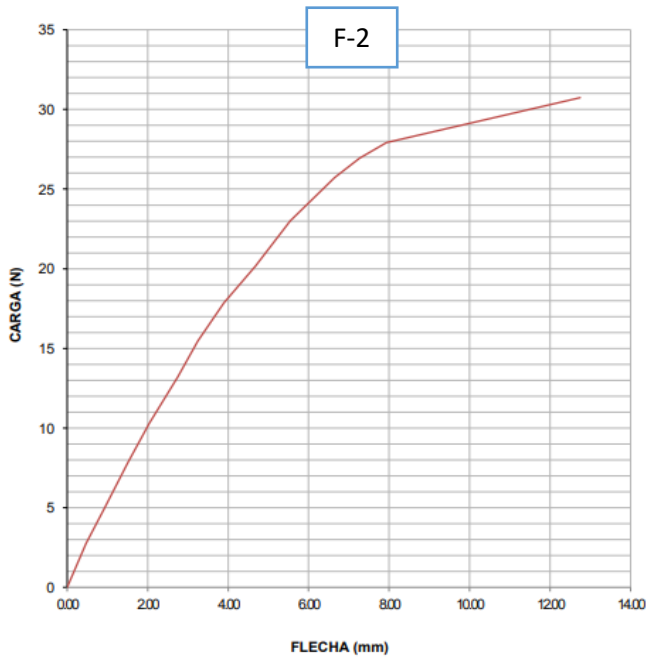
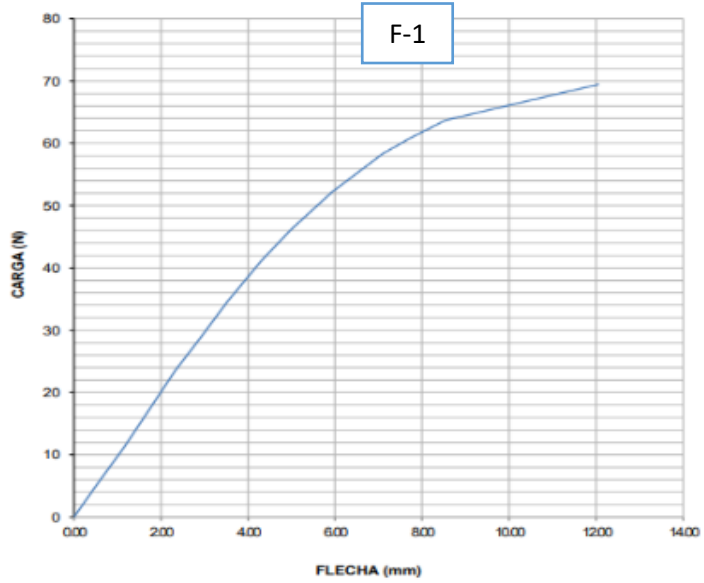
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	58,69	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	103,66	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	9,07	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	6870	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.18 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 3.

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica 					
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022		Ciudad:	Riobamba	
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig		Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C3/45.0/60-F	
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,03 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	69,45	115,79	4930	12,05	OAU
2	30,74	55,18	2770	12,75	OAU
3	48,27	85,20	4010	11,47	OAU
Promedio	49,48	85,39	3903,33	12,09	-
Fotografías de los ensayos					



Graficas de esfuerzo Vs deformación





Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.

<ul style="list-style-type: none"> El tipo de falla presente para el caso 3 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida 			
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	49,48	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	85,39	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	12,09	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	3903,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.19 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 4.

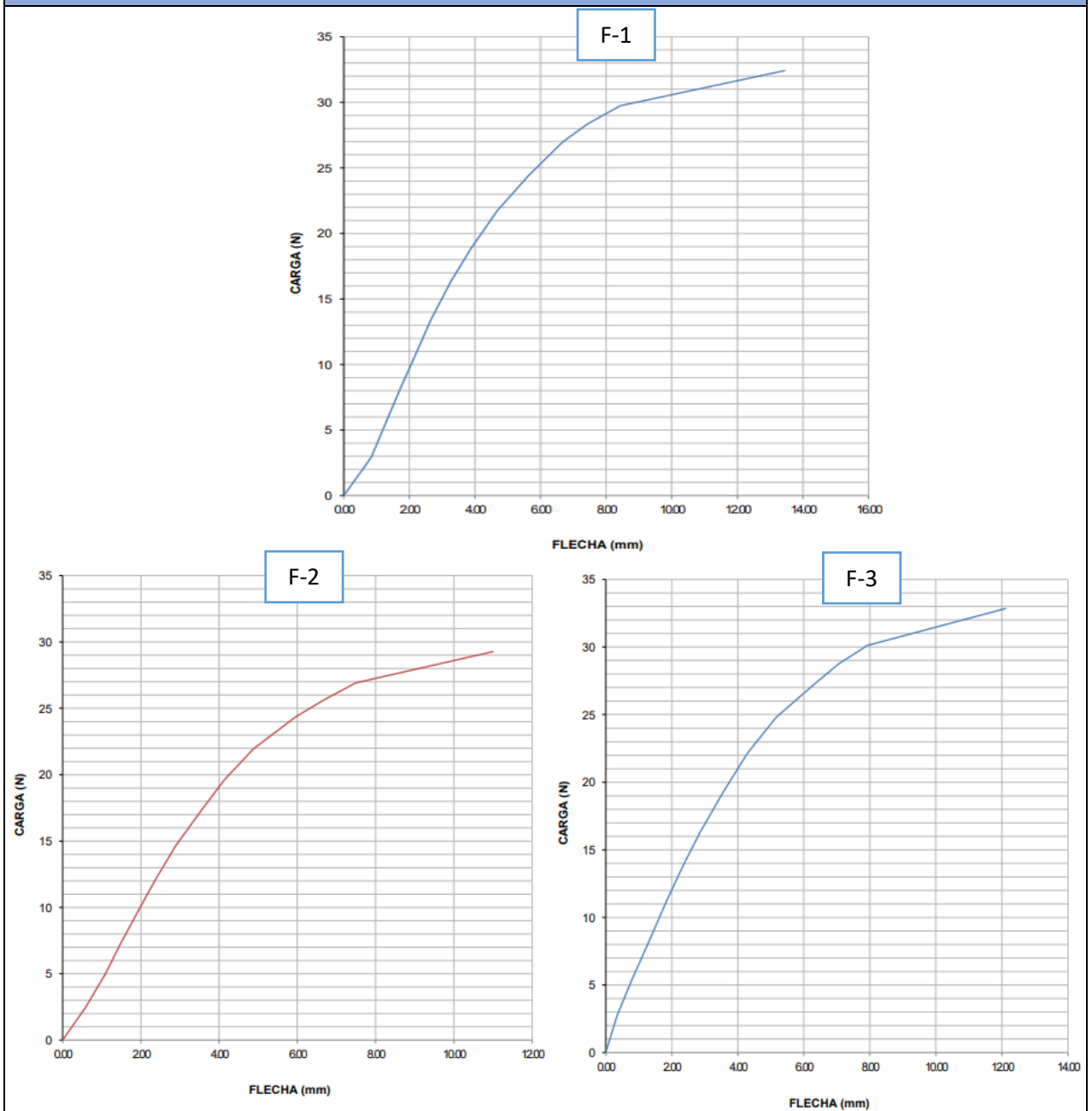
		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C4/0.45/60-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	41,73
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	0/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	53	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	1,92 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	32,42	67,80	4350	13,45	OAU
2	29,28	53,25	2930	11,00	OAU

3	32,85	63,98	3870	12,11	OAU
Promedio	31,51	61,67	3716,66	12,18	-

Fotografías de los ensayos





Gráficas de esfuerzo Vs deformación



Observación de ensayos

<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. El tipo de falla presente para el caso 4 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida 			
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	31,51	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	61,67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	12,18	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	3716,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.20 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 5.

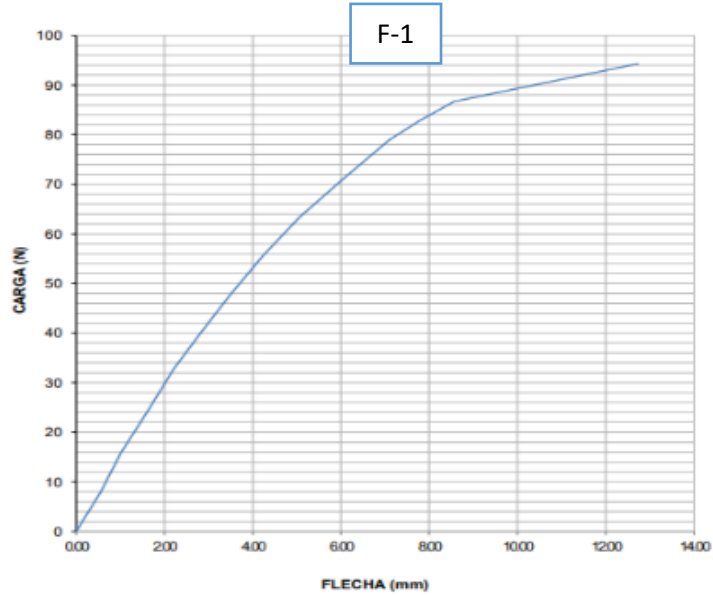
		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C5/-45.-45/90-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	41,73
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	-45/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	53	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,13 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla

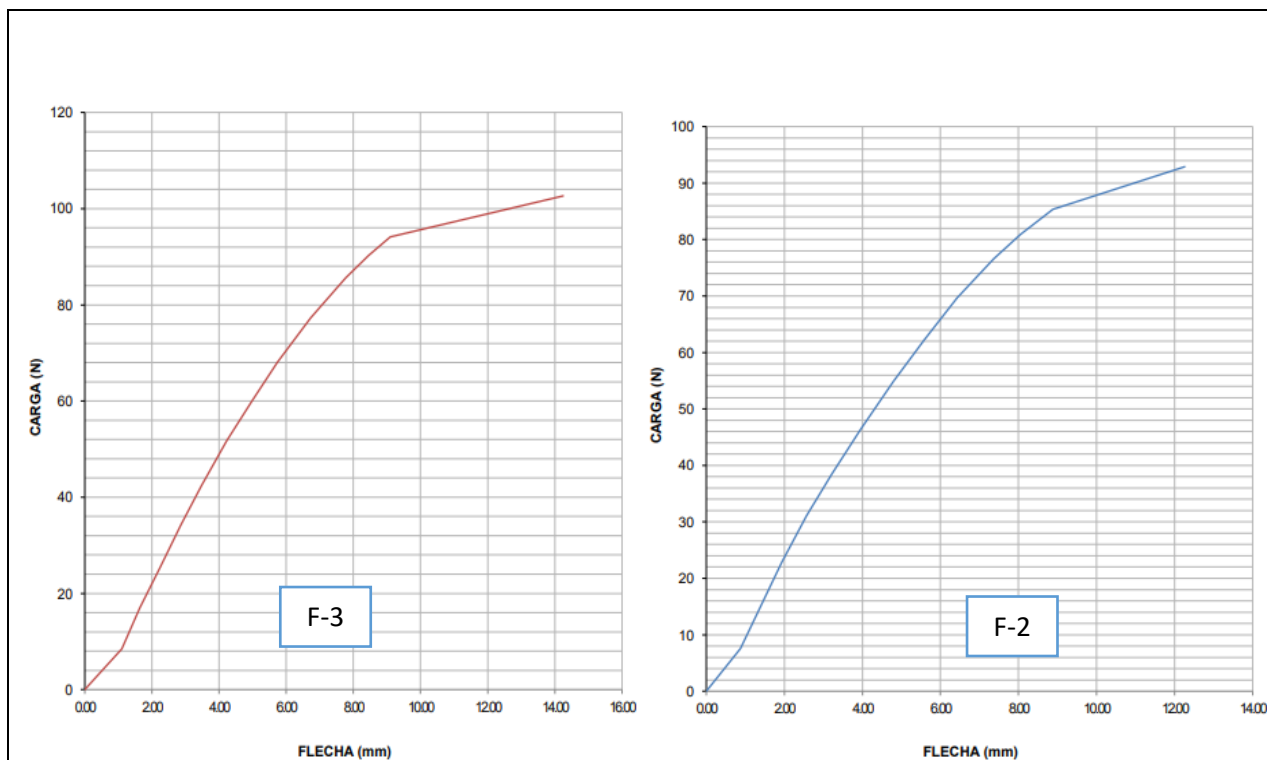
1	94,31	146,48	7940	12,73	OAU
2	102,63	159,39	7240	14,25	OAU
3	92,9	155,23	7450	12,26	OAU
Promedio	96,61	153,7	7543,33	13,08	-

Fotografías de los ensayos



Graficas de esfuerzo Vs deformación







Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 5 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	96,61	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	153,7	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	13,08	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	7543,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.21 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 6.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica		
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos			
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV		
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B		

Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C6/45.-45/90-F

Parámetros de ensayo

Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	45/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	1,98 mm

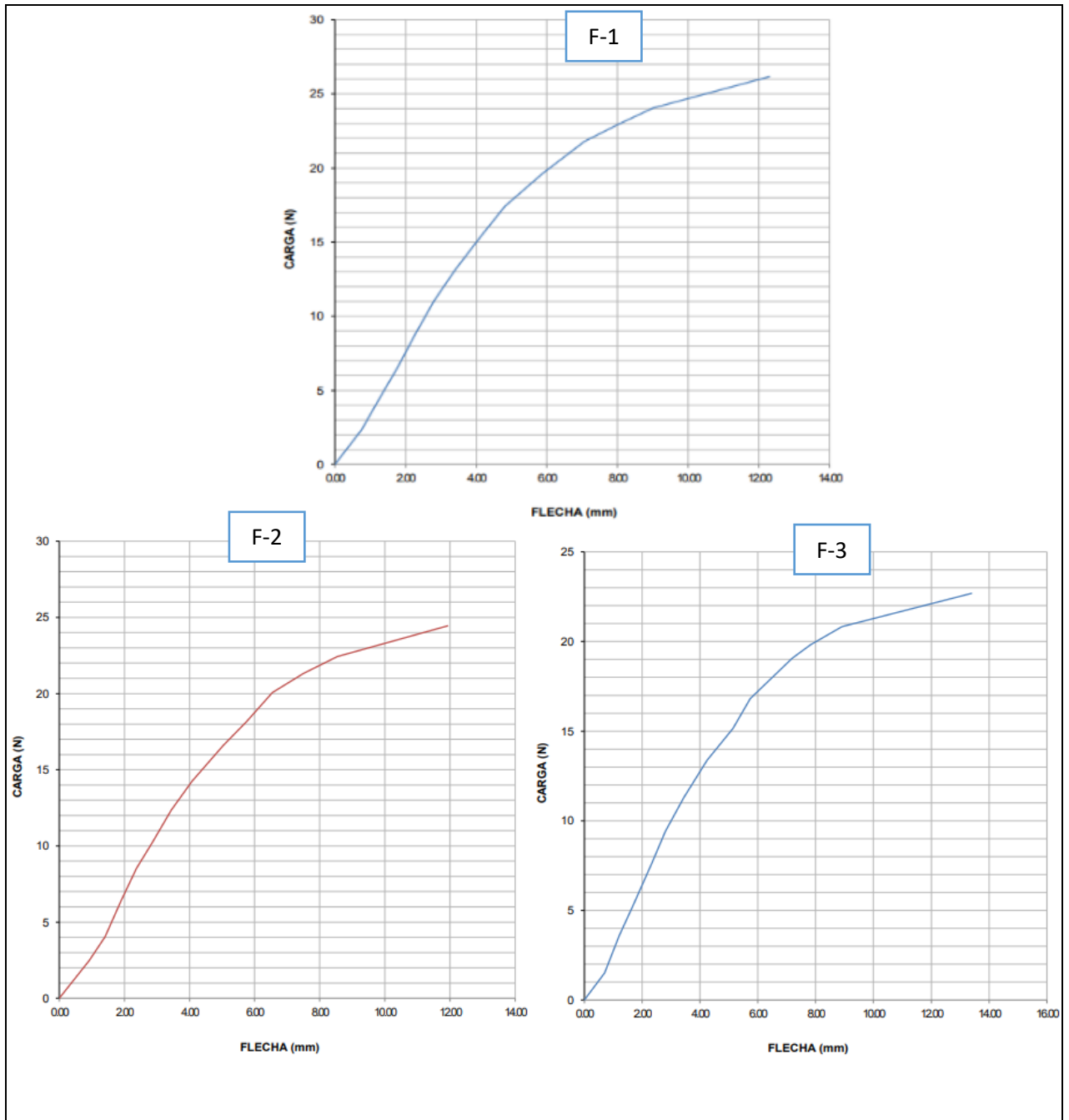
Resultados

Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	26,16	43,23	2100	12,29	OAU
2	24,45	49,11	2170	11,93	OAU
3	22,69	43,11	2590	13,39	OAU
Promedio	24,43	45,15	2286,66	12,54	-

Fotografías de los ensayos



Gráficas de esfuerzo Vs deformación






Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 6 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

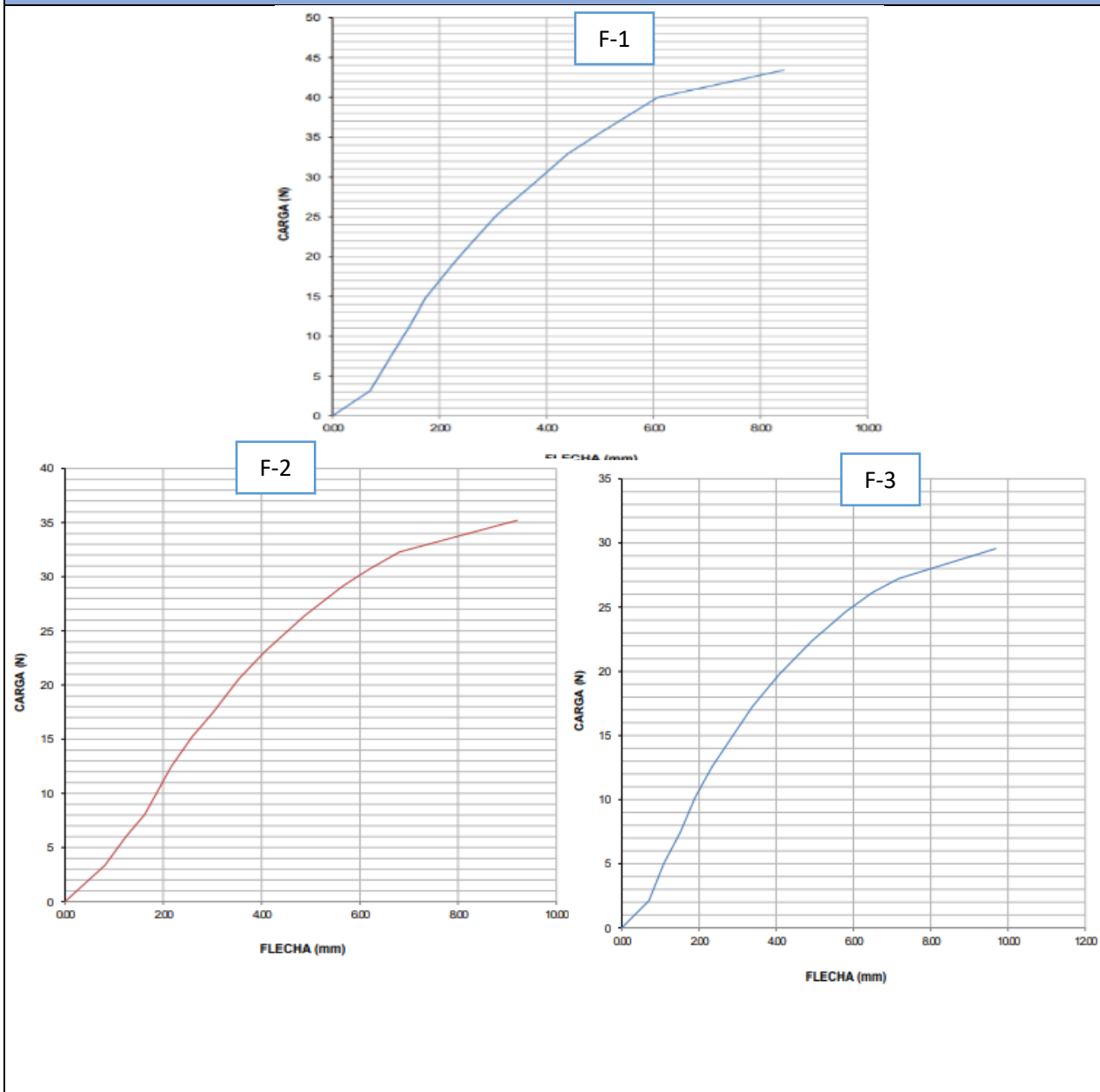
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	24,43	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	45,15	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	12,54	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Módulo de elasticidad(MPa)	2286,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
-----------------------------------	---------	----------------------	--------------------------------

Tabla 3.22 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 7.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica				
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos						
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba			
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV					
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B					
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C7/0.0/90-F			
Parámetros de ensayo						
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3	
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	40,94	
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C	
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH	
Peso de la fibra:	52	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	1,68 mm	
Resultados						
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla	
1	43,40	83,62	7070	8,44	OAU	
2	35,20	97,18	6790	9,20	OAU	
3	29,56	94,82	1030	9,68	OAU	
Promedio	36,05	91,87	4963,33	9,10	-	
Fotografías de los ensayos						
						

Gráficas de esfuerzo Vs deformación





Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 7 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	36,05	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	91,87	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

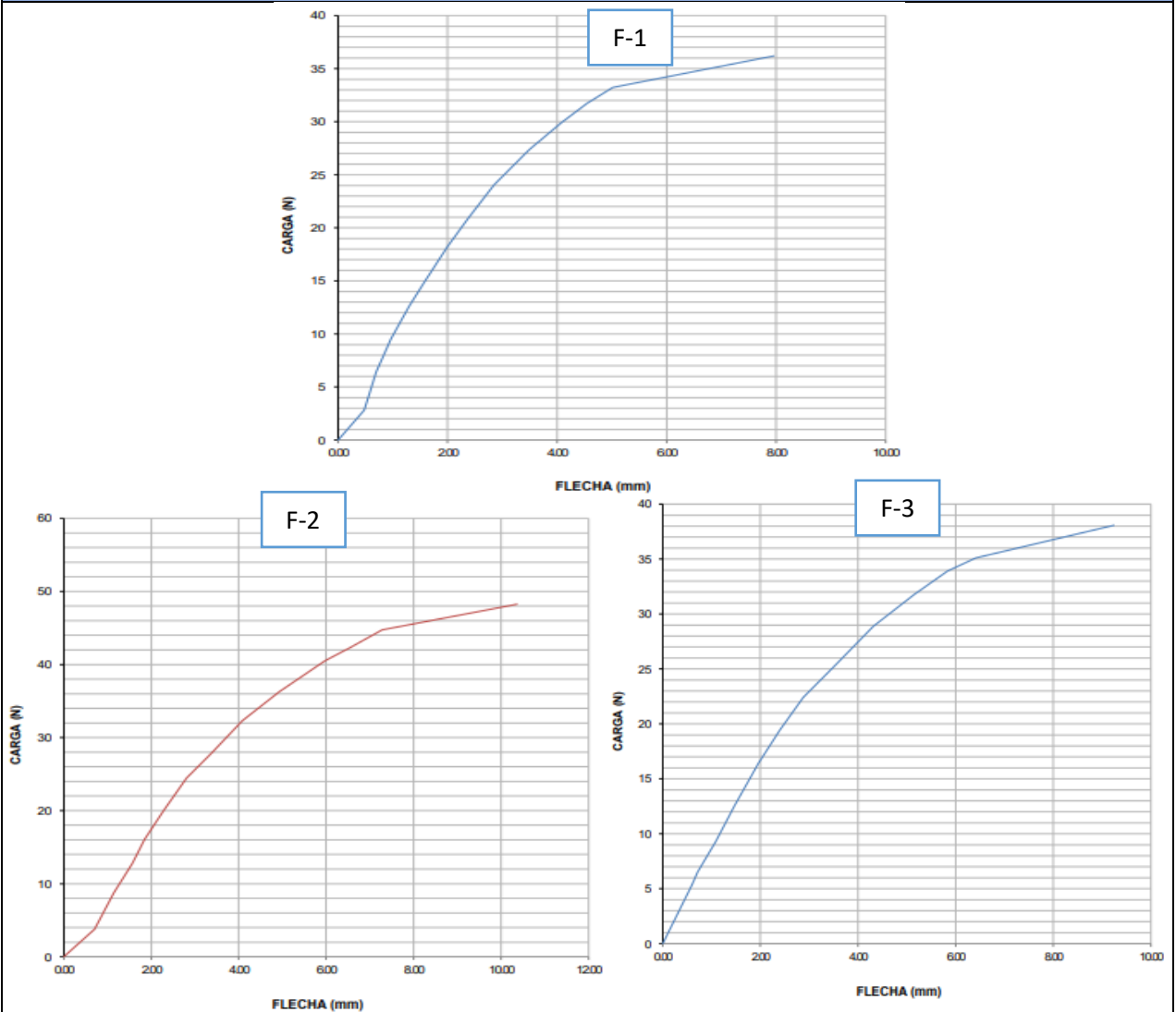
Flecha máxima (mm)	9,10	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	4963,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.23 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 8.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C8/0.0/90-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	1,80
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	36,21	67,98	1020	7,96	OAU
2	48,25	93,42	7290	10,36	OAU
3	38,07	119,31	1350	9,24	OAU
Promedio	40,84	125,91	3220	9,18	-
Fotografías de los ensayos					



Graficas de esfuerzo Vs deformación



Observación de ensayos



- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 8 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

Valores promedio

Aprobado y validado

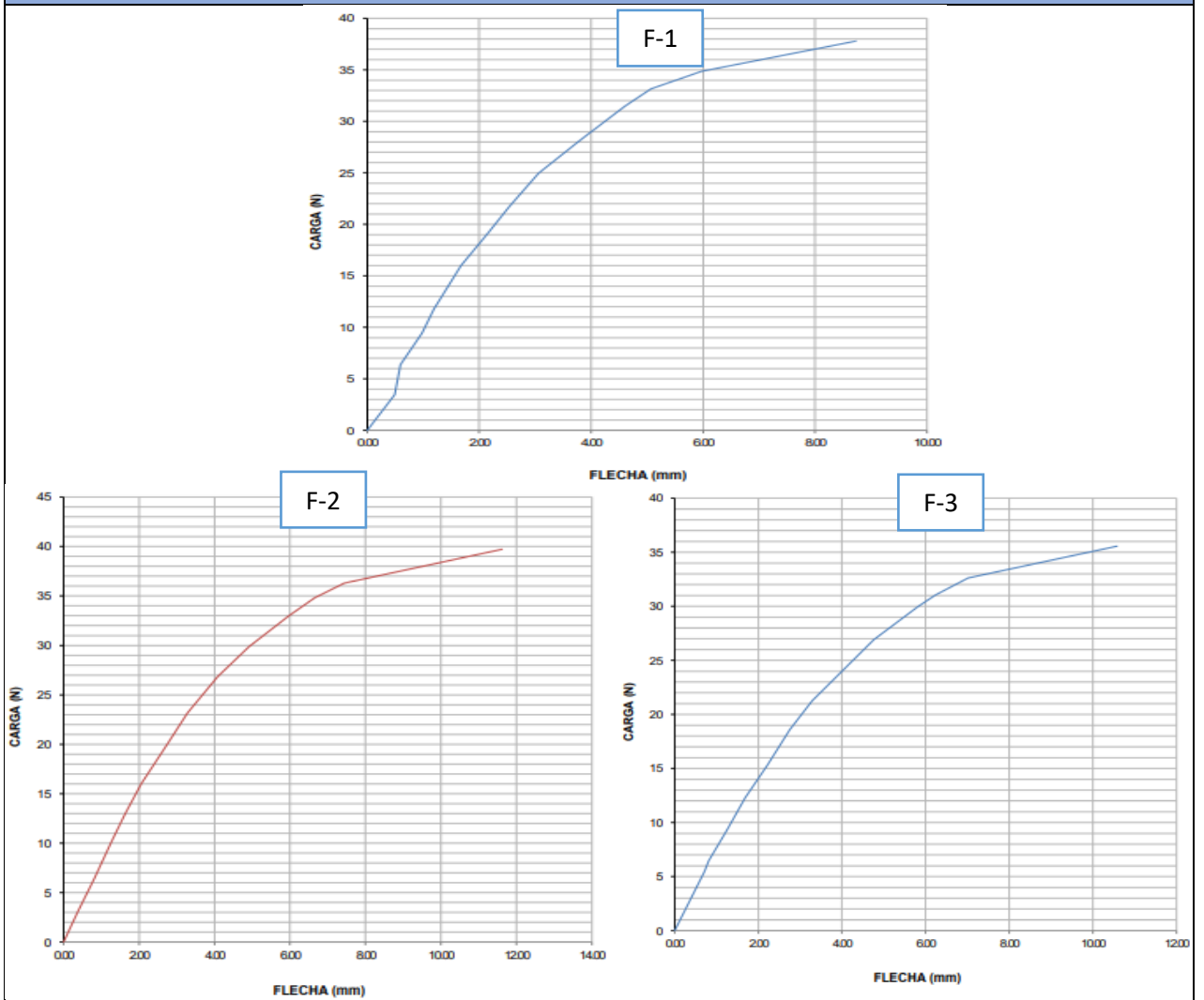
Carga máxima (N)	40,84	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	125,91	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	9,18	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	3220	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.24 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 9.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C9/0.0/90-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	1,67 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	37,80	89,97	2510	8,73	OAU
2	39,71	100,75	7240	11,62	OAU
3	35,56	102,17	1120	10,58	OAU
Promedio	37,69	97,63	3623,33	10,31	-
Fotografías de los ensayos					



Graficas de esfuerzo Vs deformación



Observación de ensayos


- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 9 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

Valores promedio

Aprobado y validado

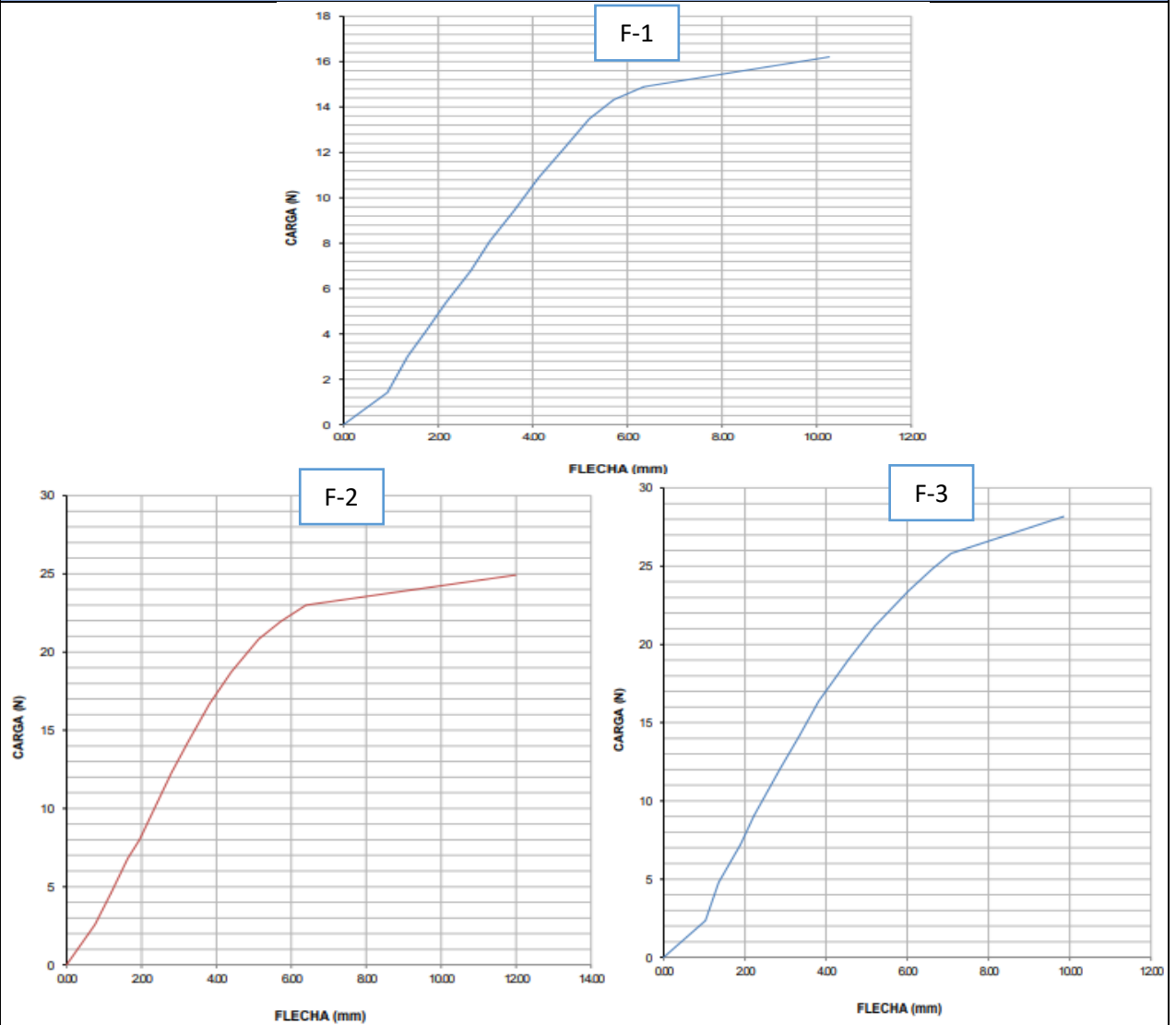
Carga máxima (N)	37,69	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	97,63	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	10,31	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	3623,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.25 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 10.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C10/-45.45/90-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	-45/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,13 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	16,21	28,59	2050	10,26	OAU
2	24,92	43,22	2530	11,99	OAU
3	28,18	38,30	2700	9,86	OAU
Promedio	23,10	36,70	2426,66	10,69	-
Fotografías de los ensayos					



Graficas de esfuerzo Vs deformación





Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 10 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	23,10	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig

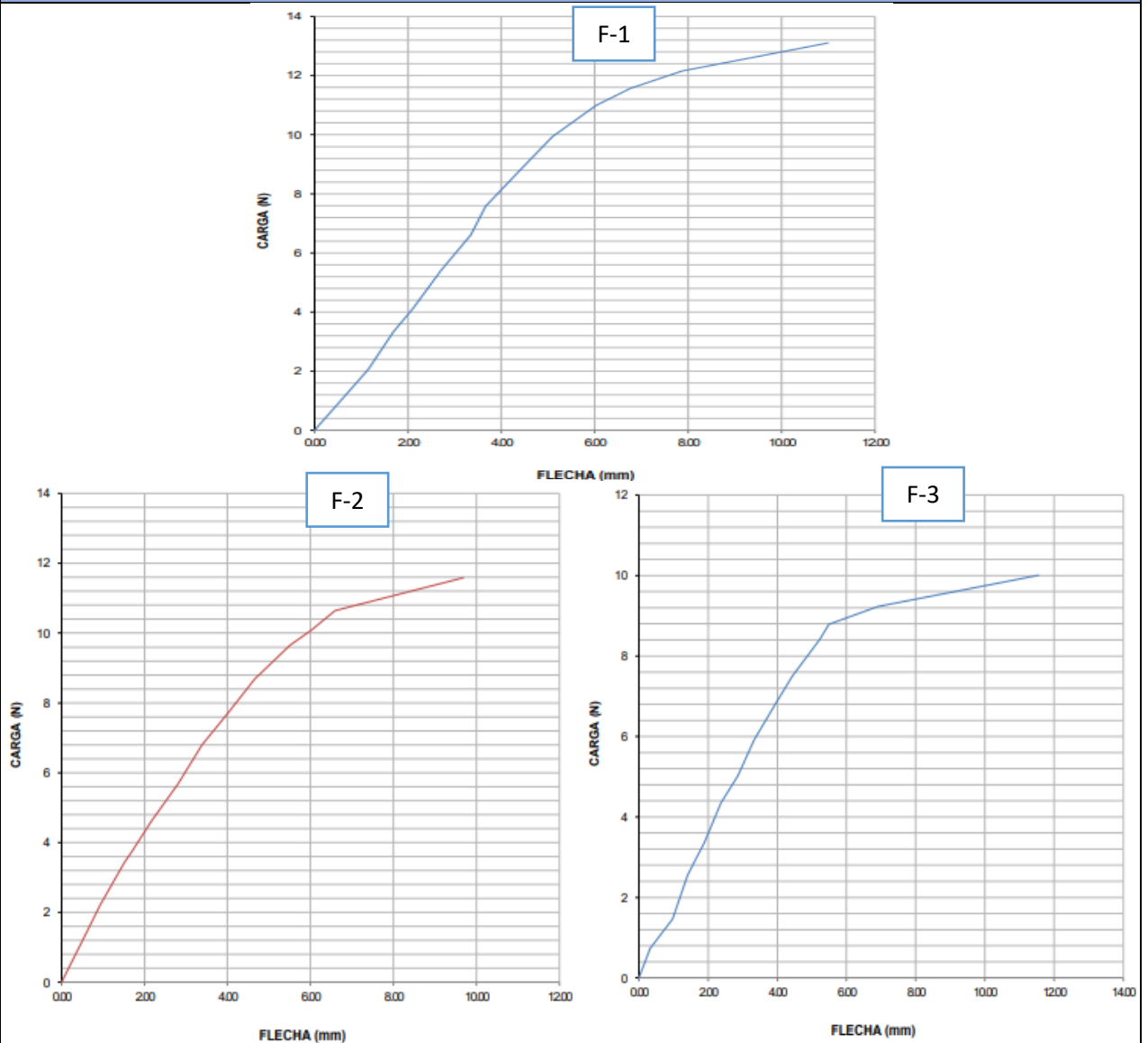
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	36,70	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	10,69	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2426,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.26 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 11.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C11/45.45/90-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	45/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	1,97 mm
Resultados					
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	13,11	23,93	1060	11	OAU
2	11,59	20,63	1370	9,68	OAU
3	10,01	19,13	701	11,55	OAU
Promedio	11,57	21,23	1043,66	10,74	-
Fotografías de los ensayos					



Gráficas de esfuerzo Vs deformación



Observación de ensayos



- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- El tipo de falla presente para el caso 11 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida

Valores promedio

Aprobado y validado

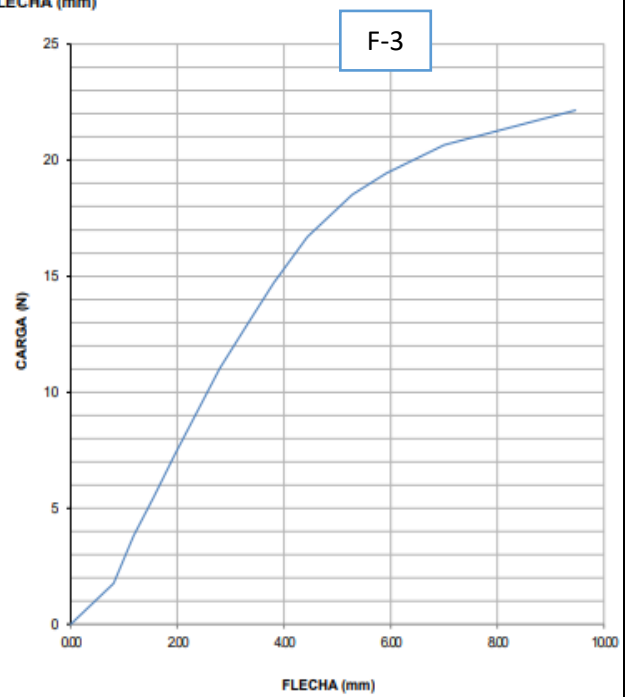
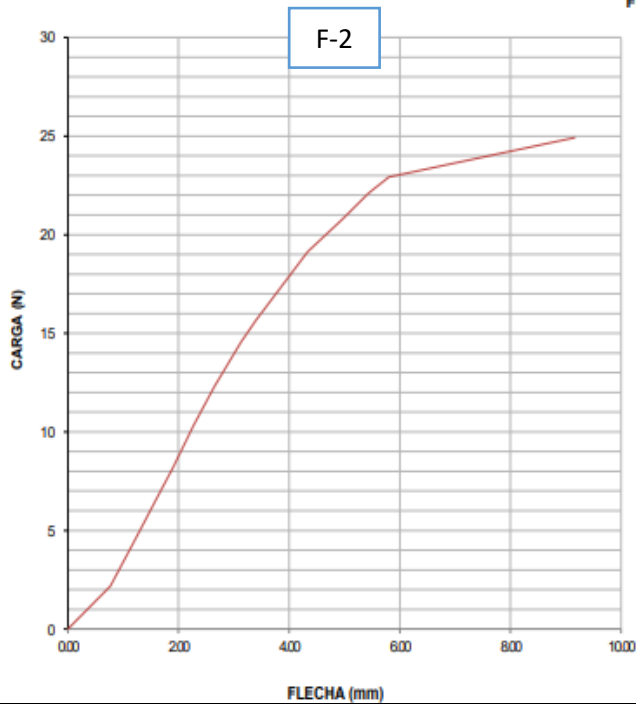
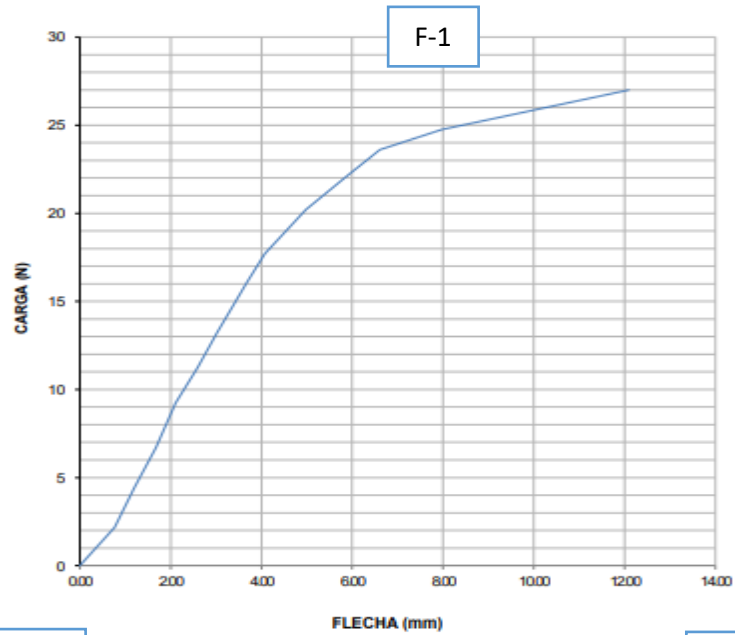
Carga máxima (N)	11,57	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	21,23	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	10,74	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	1043,66	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.27 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 12.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C12/0.-45/120-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	44,09
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	0/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	56	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,08 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	27	47,47	2840	12,09	OAU
2	24,93	39,91	2540	9,16	OAU
3	22,15	36,69	2760	9,47	OAU
Promedio	24,69	41,35	2713,33	10,24	-
Fotografías de los ensayos					



Graficas de esfuerzo Vs deformación





Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.

<ul style="list-style-type: none"> El tipo de falla presente para el caso 12 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida 			
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	24,69	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	41,35	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	10,24	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2713,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.28 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 13.

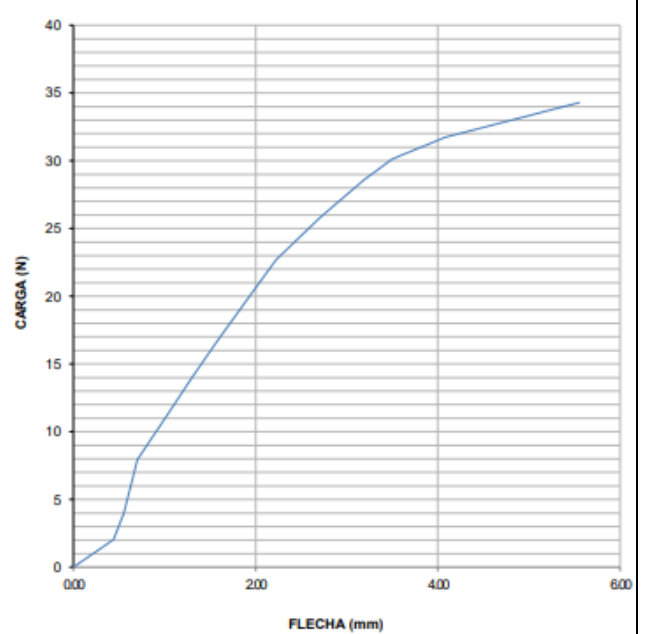
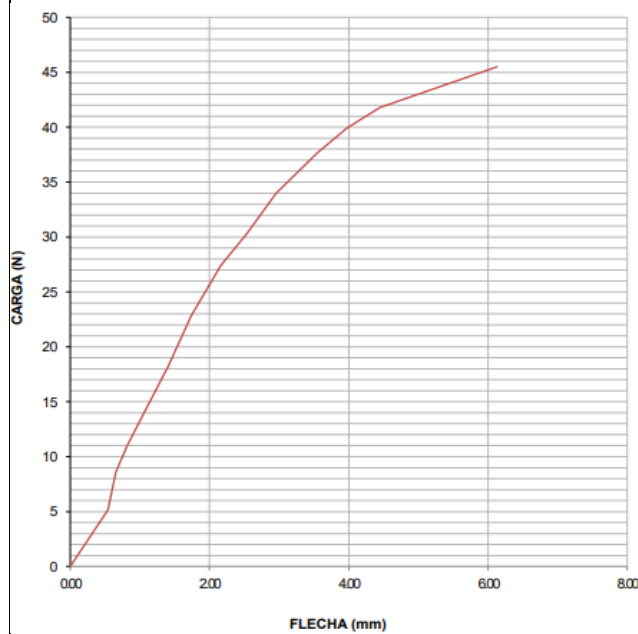
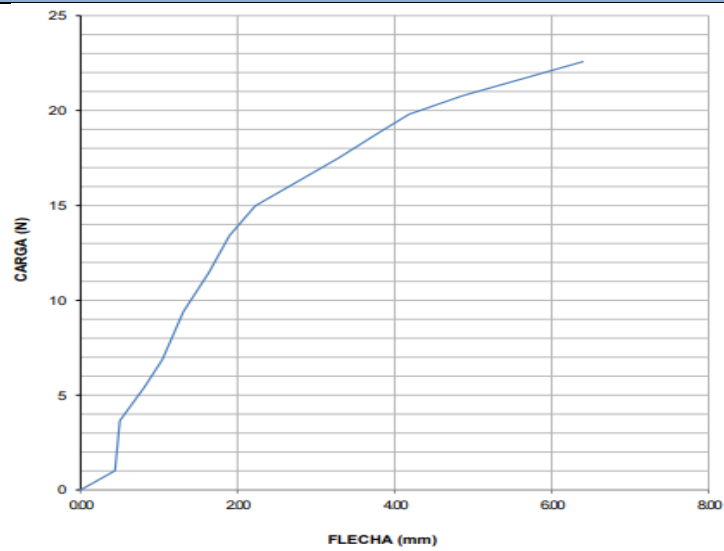
		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C13/-45.0/120-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	44,09
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	-45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	56	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,01 mm
Resultados					
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	22,58	41,61	25800	6,4	OAU

2	45,49	83,95	18200	6,13	OAU
3	34,29	57,76	8990	5,55	OAU
Promedio	34,12	61,10	17663,33	6,03	-

Fotografías de los ensayos





Gráficas de esfuerzo Vs deformación



Observación de ensayos

<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. El tipo de falla presente para el caso 13 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida 			
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	34,12	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	61,10	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	6,03	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	17663,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.29 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 14.

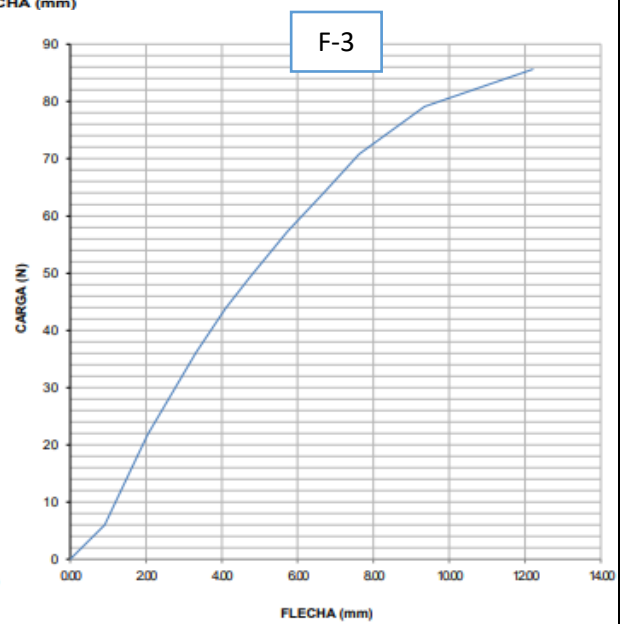
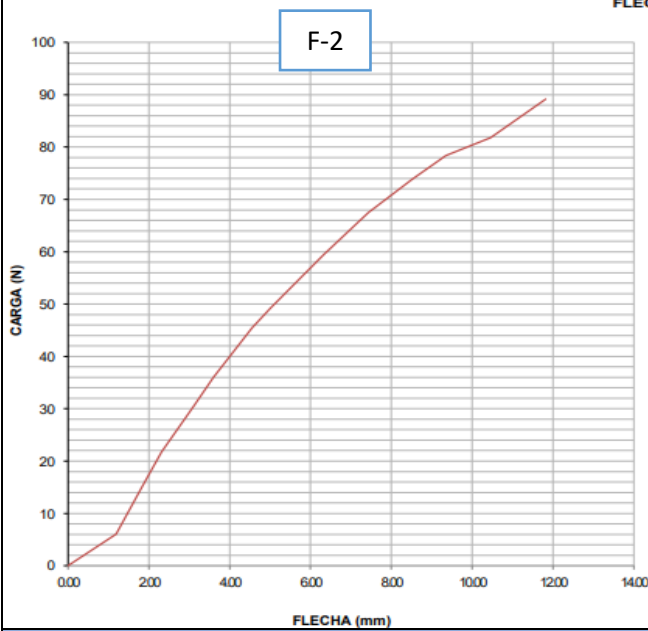
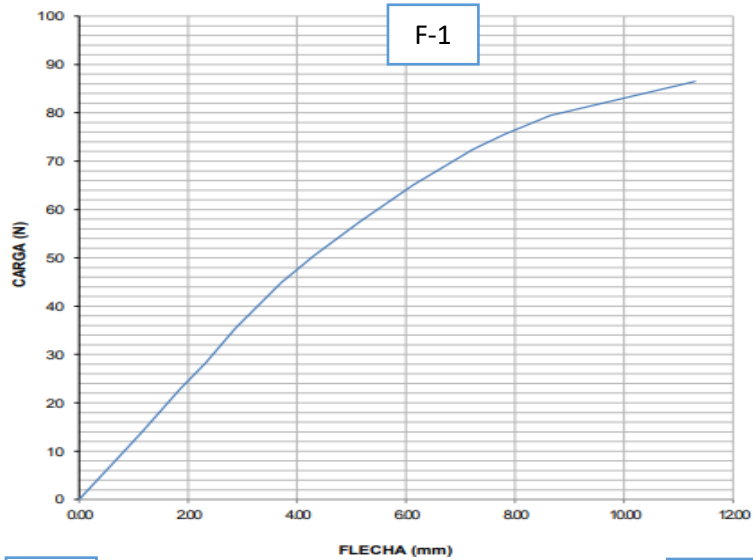
		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo.	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación	V-C14/45.0/120-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	54	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	1,97
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	86,49	156,32	7130	11,3	OAU

2	89,13	190,33	10600	11,82	OAU
3	85,61	145,06	7430	12,21	OAU
Promedio	87,07	163,90	8386,67	11,78	-

Fotografías de los ensayos





Gráficas de esfuerzo Vs deformación



Observación de ensayos

<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. El tipo de falla presente para el caso 14 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida 			
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	87,07	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	163,90	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	11,78	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	8386,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

Tabla 3.30 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico a flexión, caso 15.

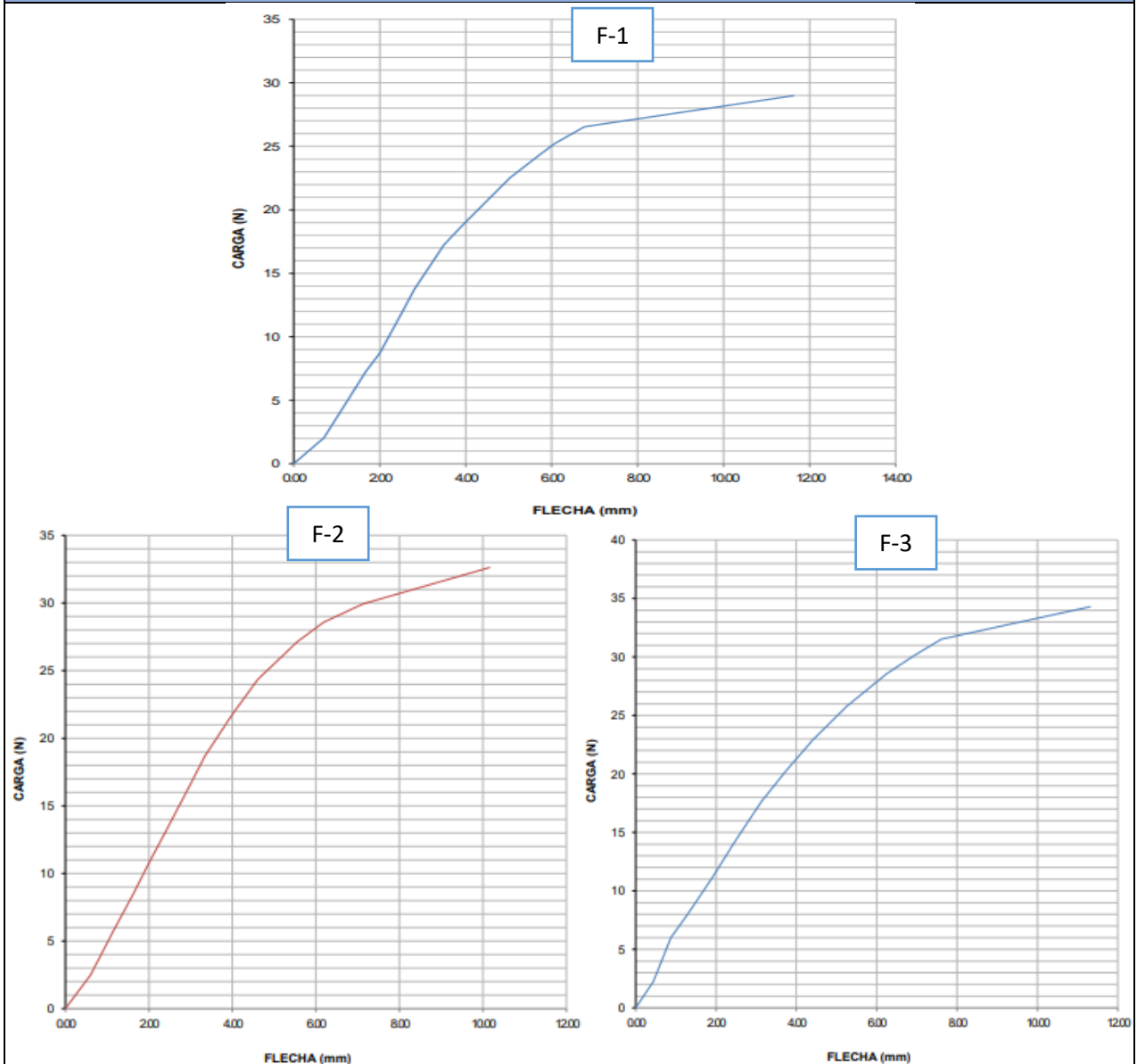
		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D7264/D7264M-21 Datos informativos					
Fecha:	16/05/2022	Ciudad:	Riobamba		
Lugar:	Laboratorio Ensayo de Materiales – LenMaV				
Equipo:	Maquina universal de Ensayos – WAW600B				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C15/0.45/120-F		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D7264	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz:	44,09
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	0/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	56	Velocidad de ensayo:	1 mm/min	Espesor promedio:	2,21 mm
Resultados					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	28,98	48,66	2740	11,62	OAU

2	32,62	45,53	2350	10,16	OAU
3	34,31	46,92	3240	11,31	OAU
Promedio	31,97	47,04	2776,67	11,03	-

Fotografías de los ensayos




Gráficas de esfuerzo Vs deformación



Observación de ensayos			
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. El tipo de falla presente para el caso 15 es OAU, en donde se sabe que la falla se produce en el centro del punto de aplicación de la carga, y su ubicación es desconocida 			
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	31,97	Elaborado por:	Sr. Johnny Tipantasig
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	47,04	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Flecha máxima (mm)	11,03	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.
Módulo de elasticidad(MPa)	2776,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas. Mg.

3.1.3. Resultados correspondientes a los ensayos de Impacto



Tabla 3.31 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 1.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C1/0.-45/60-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	0/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,86 mm
Fotografías de los ensayos					



Resultados					
Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	350	0,287	0,2637	1,890828	A
2	500	0,287	0,2637	2,701184	A
3	750	0,287	0,2637	4,051775	B
Promedio	533,33	0,287	0,2637	2,88	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 350 y 500 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 1890828 y 2,701184 J respectivamente. La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		



Tabla 3.32 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 2.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica	
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D5628-10		

Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C2/-45.0/60-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	41,73
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	-45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	53	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,92 mm
Fotografías de los ensayos					
Resultados					
N° de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla

1	720	0,287	0,2637	3,889704	A
2	750	0,287	0,3521	4,702178	B
3	850	0,287	0,4399	6,061256	D
Promedio	773,33	0,287	0,3519	4,88	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. La probeta 1 presenta un tipo de falla A, la cual indica que esta posee grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 720 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 3,889704 J. La probeta 2 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. La probeta 3 presenta un tipo de falla D, lo que nos indica que posee una falla dúctil, en el cual la probeta es sobrepasada por un desgarró. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		



Tabla 3.33 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 3.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C3/45.0/60-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,91 mm
Fotografías de los ensayos					



Resultados					
Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	600	0,287	0,4399	4,278533	A
2	800	0,287	0,4399	5,704711	B
3	900	0,287	0,4399	6,417800	B
Promedio	766,67	0,287	0,4399	5,47	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. La probeta 1 presenta un tipo de falla A, la cual indica que esta posee grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 600 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 4,278533 J. Las probetas 2 y 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.34 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 4.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica	
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D5628-10 Datos informativos		

Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)		
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto		
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C4/0.45/60-I

Parámetros de ensayo

Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	41,73
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	60 °C
Orientación de fibra:	0/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	53	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,94 mm

Fotografías de los ensayos



Resultados

Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	600	0,287	0,3521	3,761743	A

2	700	0,287	0,3521	4,388700	B
3	850	0,287	0,4399	6,061256	B
Promedio	716,67	0,287	0,3813	4,74	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. La probeta 1, presenta un tipo de falla A, la cual indica que esta posee grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 600 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 3,761743 J. Las probetas 2 y 3 presentan un tipo de falla B, lo que nos indica que poseen una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.35 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 5.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C5/-45.-45/90-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	41,73
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	-45/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	53	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	2,04 mm
Fotografías de los ensayos					



Resultados

N° de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,287	0,4399	2,852356	A
2	620	0,287	0,4399	4,421151	A
3	820	0,287	0,4399	5,847329	B
Promedio	613,33	0,287	0,4399	4,37	-

Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 400 y 620 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 2,852356 y 4,421151 J respectivamente.
- La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta a una altura medida de fallo de 820 mm.


Elaborado por:

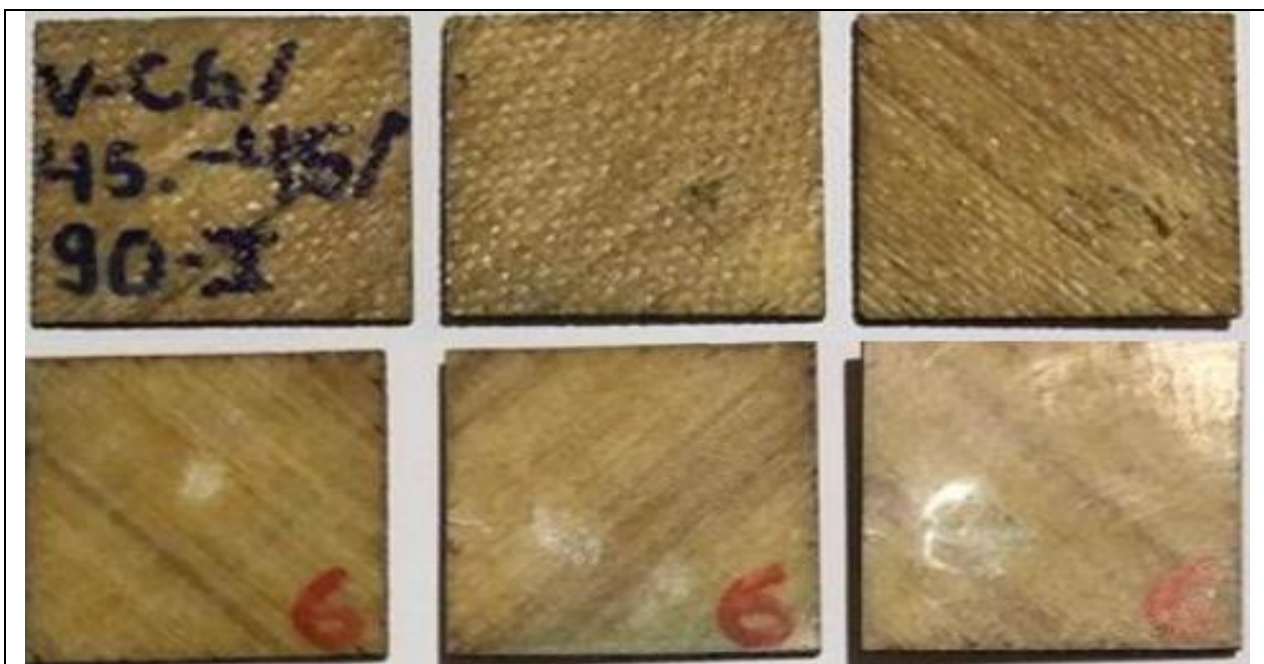
Sr. Johnny Tipantasig Pérez

Aprobado y validado:

Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.36 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 6.


		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D5628-10 Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022		Ciudad:	Ambato	
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig		Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C6/45.-45/90-I	
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	45/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	54	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,91 mm
Fotografías de los ensayos					



Resultados					
Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	450	0,287	0,4399	3,208900	A
2	650	0,287	0,4399	4,635078	A
3	850	0,287	0,4399	6,061256	D
Promedio	650	0,287	0,4399	4,64	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 450 y 650 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 3,208900 y 4,635078 J respectivamente. La probeta 3 presenta un tipo de falla D, lo que nos indica que posee una falla dúctil, lo que nos indica que la placa fue penetrada por un desgarro. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		



Tabla 3.37 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 7.

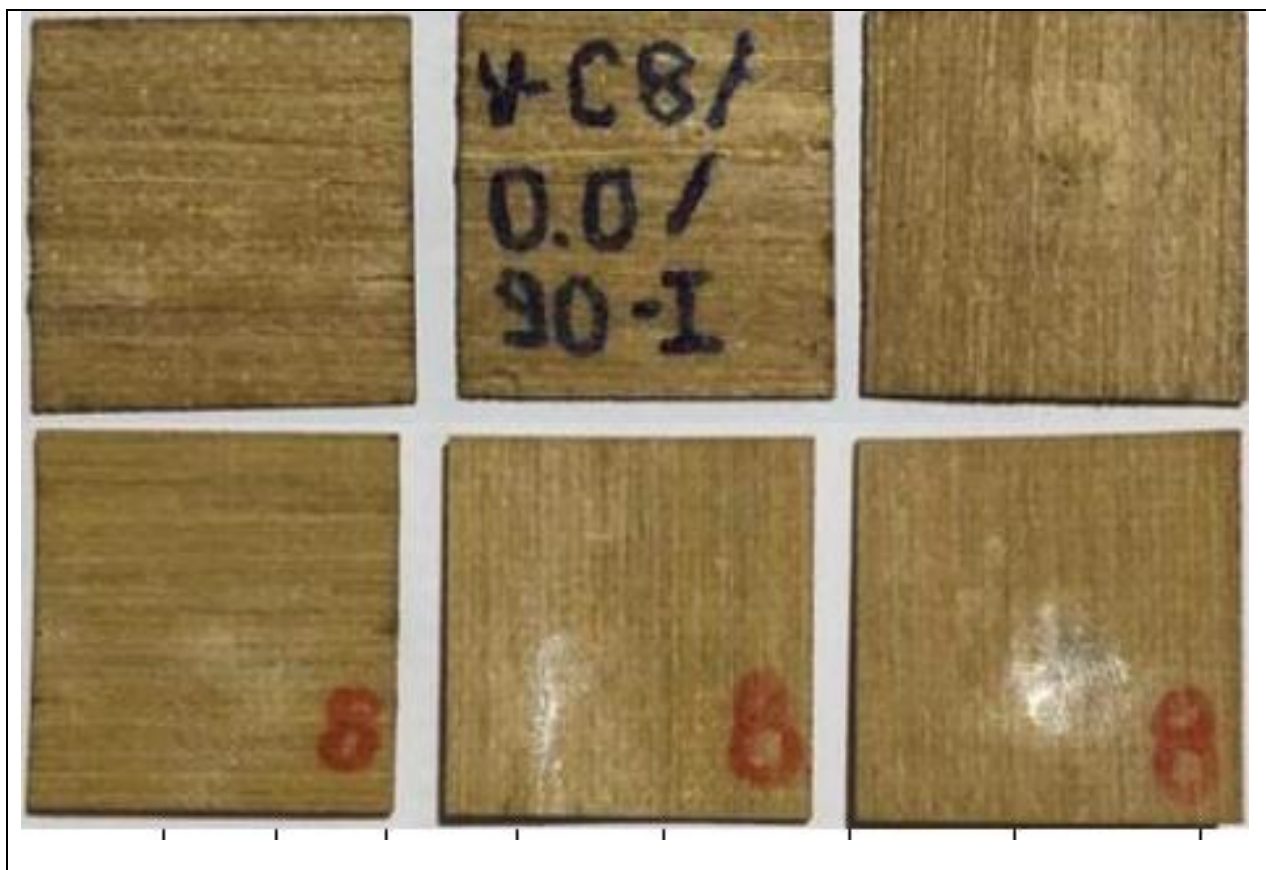
	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica	
Ficha de recolección y tabulación de datos		

Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022		Ciudad:	Ambato	
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig		Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C7/0.0/90-I	
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	40,94
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	52	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	2,08 mm
Fotografías de los ensayos					
					
Resultados					
N° de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	580	0,287	0,4399	4,135916	A
2	870	0,287	0,4399	6,203873	A
3	1000	0,287	0,4399	7,130889	B

Promedio	816,67	0,287	0,4399	5,82	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 580 y 870 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 4,135916 y 6,203873 J respectivamente. La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.38 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 8.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C8/0.0/90-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,97
Fotografías de los ensayos					



Resultados




Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	450	0,287	0,4399	3,208900	A
2	650	0,287	0,4399	4,635078	A
3	900	0,287	0,4399	6,417800	B
Promedio	666,67	0,287	0,4399	4,75	-

Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 450 y 650 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 3,208900 y 4,635078 J respectivamente.
- La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta.



Elaborado por: Sr. Johnny Tipantasig Pérez	Aprobado y validado: Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
--	---

Tabla 3.39 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 9.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D5628-10 Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C9/0.0/90-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	0/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	54	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,90 mm
Fotografías de los ensayos					
					

Resultados					
Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	460	0,287	0,4399	3,280209	A
2	630	0,287	0,4399	4,492460	A
3	840	0,287	0,4399	5,989947	B
Promedio	643,33	0,287	0,4399	4,59	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 460 y 630 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 3,280209 y 4,492460 J respectivamente. La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.40 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 10.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C10/-45.45/90-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	-45/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH

Peso de la fibra:	54	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,9 mm
Fotografías de los ensayos					
Resultados					
Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	500	0,287	0,4399	3,565445	A
2	700	0,287	0,4399	4,991622	A
3	900	0,287	0,4399	6,417800	B
Promedio	700	0,287	0,4399	4,99	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 500 y 700 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 3,565445 y 4,991622 J respectivamente. La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		



Tabla 3.41 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 11.

	Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica	
--	---	--

Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D5628-10 Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C11/45.45/90-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	44,88
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	90 °C
Orientación de fibra:	45/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	57	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,95
Fotografías de los ensayos					
Resultados					
N° de probeta	Altura medida de fallo	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla

	(mm)				
1	550	0,287	0,4399	3,921989	A
2	720	0,287	0,4399	5,134240	A
3	880	0,287	0,4399	6,275182	B
Promedio	716,67	0,287	0,4399	5,11	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presenta un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 550 y 720 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 3,921989 y 5,134240 J respectivamente. La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.42 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 12.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C12/0.-45/120-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	44,09
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	0/-45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	56	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,93 mm
Fotografías de los ensayos					



Resultados

Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,287	0,4399	2,852356	A
2	550	0,287	0,4399	3,921989	A
3	750	0,287	0,4399	5,348167	B
Promedio	566,67	0,287	0,4399	4,04	-

Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas 1 y 2 presenta un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 400 y 550 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 2,852356 y 3,921989 J respectivamente.
- La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que poseen una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta.



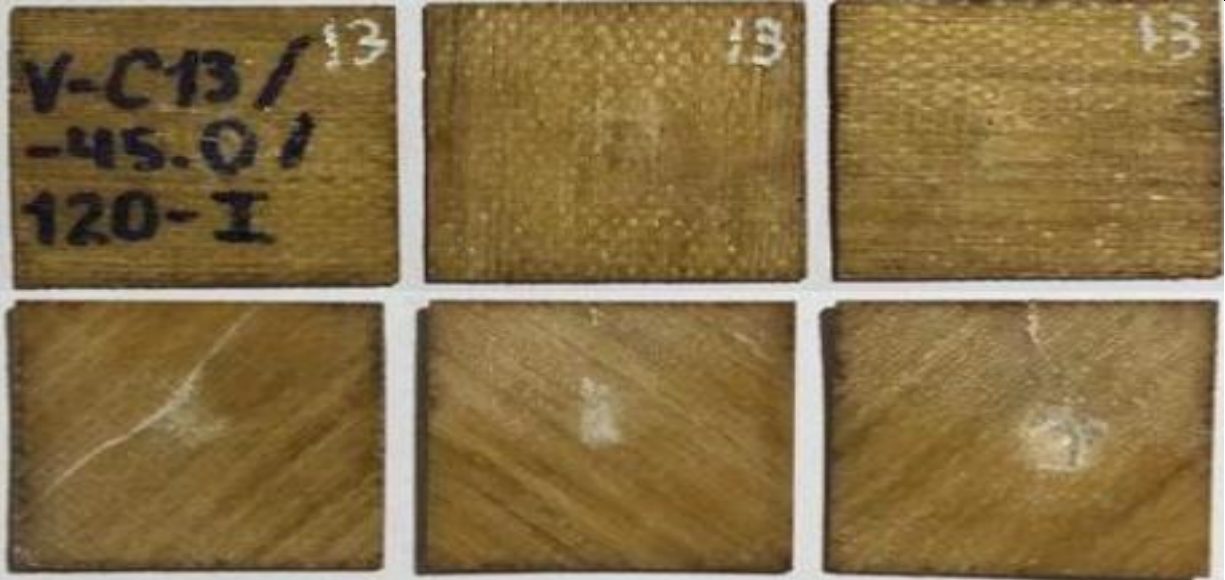
Elaborado por:

Sr. Johnny Tipantasig Pérez

Aprobado y validado:



Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Tabla 3.43 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 13.

 Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica 					
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D5628-10 Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	V-C13/-45.0/120-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	44,09
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	-45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	56	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,90 mm
Fotografías de los ensayos					
					
Resultados					


Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	380	0,287	0,4399	2,709738	A
2	520	0,287	0,4399	3,708062	A
3	760	0,287	0,4399	5,419476	B
Promedio	553,33	0,287	0,4399	3,95	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presenta un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 380 y 520 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 2,709738 y 3,708062 J respectivamente. La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta a una altura de 760 mm. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.44 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 14.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Tracción ASTM D5628-10					
Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022	Ciudad:	Ambato		
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo.	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig	Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación	V-C14/45.0/120-I		
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	42,51
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	45/0	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH

Peso de la fibra:	54	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,78 mm
Fotografías de los ensayos					
Resultados					
Nº de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	350	0,287	0,4399	2,495811	A
2	470	0,287	0,4399	3,351518	A
3	740	0,287	0,4399	5,276858	B
Promedio	520	0,287	0,4399	3,71	-
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo. Las probetas 1 y 2 presenta un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 350 y 470 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 2,495811 y 3,351518 J respectivamente. La probeta presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta a una altura de fallo de 520 mm. 					
Elaborado por:			Aprobado y validado:		
Sr. Johnny Tipantasig Pérez			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Tabla 3.45 Ficha técnica del compuesto del ensayo mecánico de impacto, caso 15.

 <div style="text-align: center;"> Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica </div> 					
Ficha de recolección y tabulación de datos Tracción ASTM D5628-10 Datos informativos					
Fecha:	05/09/2022		Ciudad:	Ambato	
Lugar:	Laboratorio de materiales- Centro de transferencia y Tecnología (CTT-FICM)				
Equipo:	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
Elaborado por:	Johnny Tipantasig		Revisado por:	Ing. Mg. Juan Paredes	
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	V-C14/0.45/120-I	
Parámetros de ensayo					
Matriz:	Resina epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Probetas ensayadas:	3
Refuerzo:	Fibra de chambira	Dimensiones (mm):	58*58*e	Peso de la matriz:	44,09
Marca:	AEROPOXI	Tiempo de curado	2 horas al horno	Temperatura de curado:	120 °C
Orientación de fibra:	0/45	Estratificación:	Al vacío	Orden de capas:	FV+FCH +FCH
Peso de la fibra:	56	Tipo de medición:	Energía media de impacto (J).	Espesor promedio:	1,99 mm
Fotografías de los ensayos					



Resultados

N° de probeta	Altura medida de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía medida de Fallo (J)	Tipo de falla
1	350	0,287	0,4399	2,709738	A
2	470	0,287	0,4399	4,135916	A
3	740	0,287	0,4399	5,562093	B
Promedio	520	0,287	0,4399	4,14	-

Observación de ensayos

- Las probetas muestran una buena cohesión tanto de la matriz como del refuerzo.
- Las probetas 1 y 2 presentan un tipo de falla A, la cual indica que estas poseen grietas en una sola superficie, ubicada a una altura de fallo de 350 y 470 mm, con una masa aplicada de 0,287 Kg, dando una energía de fallo de 2,709738 y 4,135916 J respectivamente.
- La probeta 3 presenta un tipo de falla B, lo que nos indica que posee una ruptura que sobrepasa el espesor de la probeta a una altura de fallo de 520 mm.

Elaborado por:

Sr. Johnny Tipantasig Pérez

Aprobado y validado:

Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

3.1.4. Cuadro resumen de los resultados obtenidos de los 3 ensayos mecánicos

Mediante los resultados obtenidos en la tabla 3.46, se realizará el tratamiento y optimización de respuestas, puesto que estos valores son de suma importancia para el análisis en el software estadístico Minitab.

Tabla 3.46 Cuadro resumen de los resultados correspondiente a los ensayos.

RESULTADO DE ENSAYOS DE TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO									
Factores	Propiedades mecánicas a tracción				Propiedades mecánicas a flexión				Impacto
	Carga Máxima (N)	Esf. Máximo (Mpa)	Mód. Elasticidad (Mpa)	Elongación (%)	Carga Máxima (N)	Esf. Máximo (Mpa)	Mód. Elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Energía de fallo (J)
Caso 1	5360	109	6790	0,5	76,97	128,51	5650	12,96	1,890828
	5750	110	6460	1	68,23	103,87	4280	13,07	2,701184
	5700	115	4950	1,5	73,72	138,19	6470	12,4	4,051775
Caso 2	4580	84	5430	0,5	50,27	97,71	6860	8,62	3,889704
	4480	95	3260	1,5	64,41	95,61	5250	9,6	4,702178
	4000	77	5260	1,5	61,39	103,66	8500	8,99	6,061256
Caso 3	3740	68	3790	0,5	69,45	115,79	4930	12,05	4,278533
	3360	72	4040	1	30,74	55,18	2770	12,75	5,704711
	3440	70	4290	1	48,27	85,20	4010	11,47	6,4178
Caso 4	4840	91	6040	3,5	32,42	67,8	4350	13,45	3,761743
	4500	84	5820	3,5	29,28	53,25	2930	11	4,3887
	4420	99	6760	3,5	32,85	63,98	3870	12,11	6,061256
Caso 5	4320	93	6690	0	94,31	146,48	7940	12,73	2,852356
	3200	63	5740	1	102,63	159,39	7240	14,25	4,421151
	4220	68	5410	0,5	92,9	155,23	7450	12,26	5,847329
Caso 6	3340	66	3850	2	26,16	43,23	2100	12,29	3,2089
	3100	59	1520	0	24,45	49,11	2170	11,93	4,635078
	2780	62	1860	3,5	22,69	43,11	2590	13,39	6,061256
Caso 7	6340	110	2550	1,5	43,4	83,62	7070	8,44	4,135916
	6280	168	2040	0,5	35,2	97,18	6790	9,2	6,203873
	6500	158	2320	3	29,56	94,82	10300	9,68	7,130889
Caso 8	5620	137	1680	1	36,21	67,98	10200	7,96	3,2089
	4900	130	2470	1	48,25	93,42	7290	10,36	4,635078
	5460	138	4190	3	38,07	119,31	13500	9,24	6,4178

Caso 9	6000	149	2050	4	37,8	89,97	25100	8,73	3,280209
	6000	145	4320	4	39,71	100,75	7240	11,62	4,49246
	5260	117	2620	3	35,56	102,17	11200	10,58	5,989947
Caso 10	2000	40	5800	1,5	16,21	28,59	2050	10,26	3,565445
	3540	70	1050	3,5	24,92	43,22	2530	11,99	4,991622
	2800	54	1180	3,5	28,18	37,3	2700	9,86	6,4178
Caso 11	2940	53	3540	3,5	13,11	23,93	1060	11	3,921989
	2420	47	6200	0,5	11,59	20,63	1370	9,68	5,13424
	2860	50	3420	1	10,01	19,13	701	11,55	6,275182
Caso 12	3940	73	4410	1,5	27	47,47	2840	12,09	2,852356
	4140	80	1420	3,5	24,93	39,91	2540	9,16	3,921989
	4080	78	1180	1	22,15	36,69	2760	9,47	5,348167
Caso 13	3480	67	4260	3	22,58	41,61	25800	6,4	2,709738
	4260	82	5440	0,5	45,49	83,95	18200	6,13	3,708062
	4520	85	4990	4	34,29	57,76	8990	5,55	5,419476
Caso 14	4920	93	6450	2	86,49	156,32	7130	11,3	2,495811
	4580	81	5400	0,5	89,13	190,33	10600	11,82	3,351518
	4480	84	5520	0,5	85,61	145,06	7430	12,21	5,276858
Caso 15	2880	56	6150	0	28,98	48,66	2740	11,62	2,709738
	4320	79	5980	2,5	32,62	45,53	2350	10,16	4,135916
	4380	86	7510	1,5	34,31	46,92	3240	11,31	5,562093

3.2. Análisis de propiedades mecánicas para la comprobación de supuestos en tracción

Esfuerzo máximo de tracción – verificación de supuestos

Acorde al objetivo de análisis se realizan las respectivas pruebas paramétricas, donde se verifican que los datos obtenidos en los ensayos mecánicos cumplan con los supuestos paramétricos, como es normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos.

Prueba de normalidad

El análisis de bondad aplicado se da por medio de la prueba de Anderson Darling, para la verificación de los datos en el esfuerzo máximo de tracción, de esta manera mediante el uso de la prueba utilizada se verifica que la significancia obtenida en el análisis es de 0,005, el cual nos indica el requerimiento de transformar los datos para un respectivo análisis, en la tabla 3.47, se detalla la significancia calcula por medio de la prueba paramétrica utilizada.

Tabla 3.47 Análisis Supuesto de Normalidad - Esfuerzo Máximo de tracción.

Hipótesis		Ho: En el Esfuerzo Máximo de tracción posee distribución normal en sus datos.		
		Ha: En el Esfuerzo Máximo de tracción no posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45	
Prueba estadística: Anderson Darling = 1,130		Valor - p	0,005	
Respuesta	Se rechaza la hipótesis nula.			
Conclusión	Se concluye, la inexistencia de distribución normal en los datos del esfuerzo máximo de tracción, por un valor p menor al 5% de significancia.			
Acotación	Se requieren transformar los datos para el ajuste.			

Prueba igualdad de varianza

La prueba para la verificación de los datos en el esfuerzo máximo de tracción se da por medio de Levene.

Tabla 3.48 Análisis Supuesto de igualdad de Varianza - Esfuerzo Máximo de tracción.

Hipótesis	Ho: En el Esfuerzo Máximo de tracción posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: En el Esfuerzo Máximo de tracción no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Nº de datos	45
Prueba estadística: Levene = 0,97	Valor - p		0,496
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos del esfuerzo máximo de tracción.		

En la propiedad analizada existe igualdad de varianza, por medio de la prueba paramétrica utilizada se obtiene el valor de significancia de 0,495, siendo así mayor al valor de significancia dada de 0,05.

Independencia de residuos

En la figura 1.1 se presenta los residuos del esfuerzo máximo de tracción, por lo cual se determina que el supuesto cumple debido a que no posee aleatoriedad en los datos analizados.

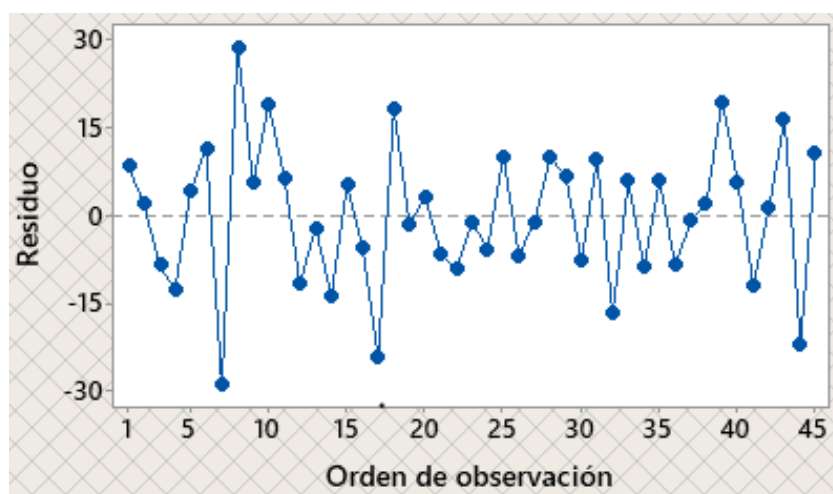


Figura 3.1 Análisis de supuesto independencia de residuos - Esfuerzo Máximo de tracción [Software Minitab].

Transformación de datos

Se elabora la transformación de datos en la propiedad mecánica de esfuerzo máximo de tracción debido a la falta de normalidad en el supuesto paramétrico. El parámetro de transformación utilizado se da por medio del término lambda (λ).

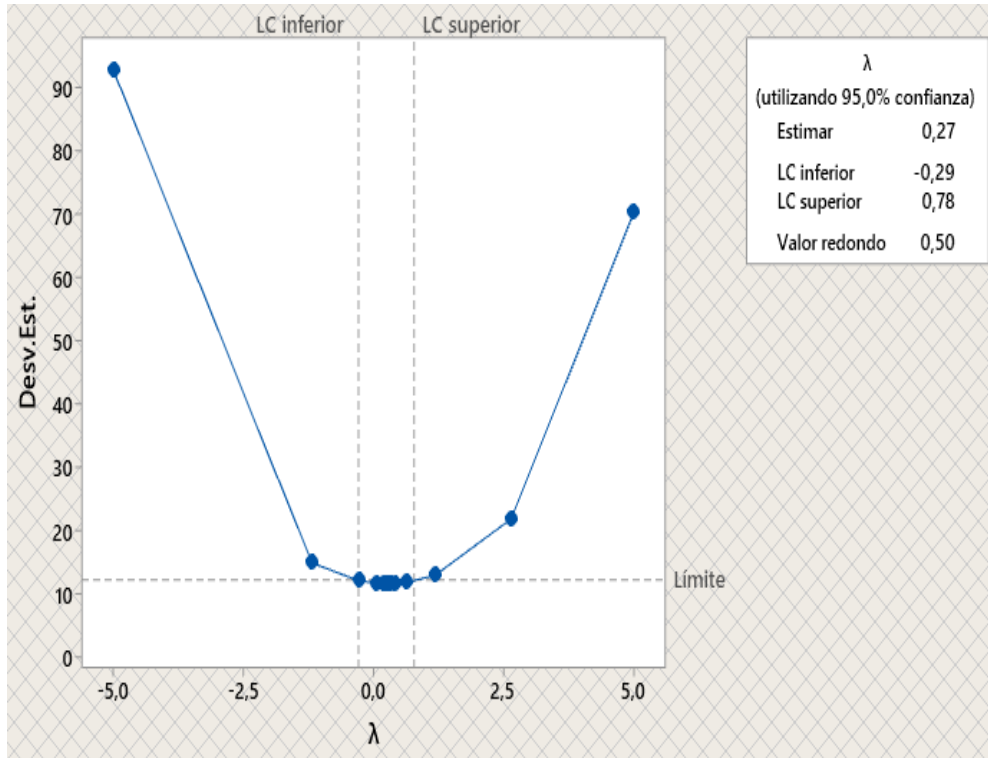


Figura 3.2 Valor de lambda – Transformación de datos [Software Minitab].

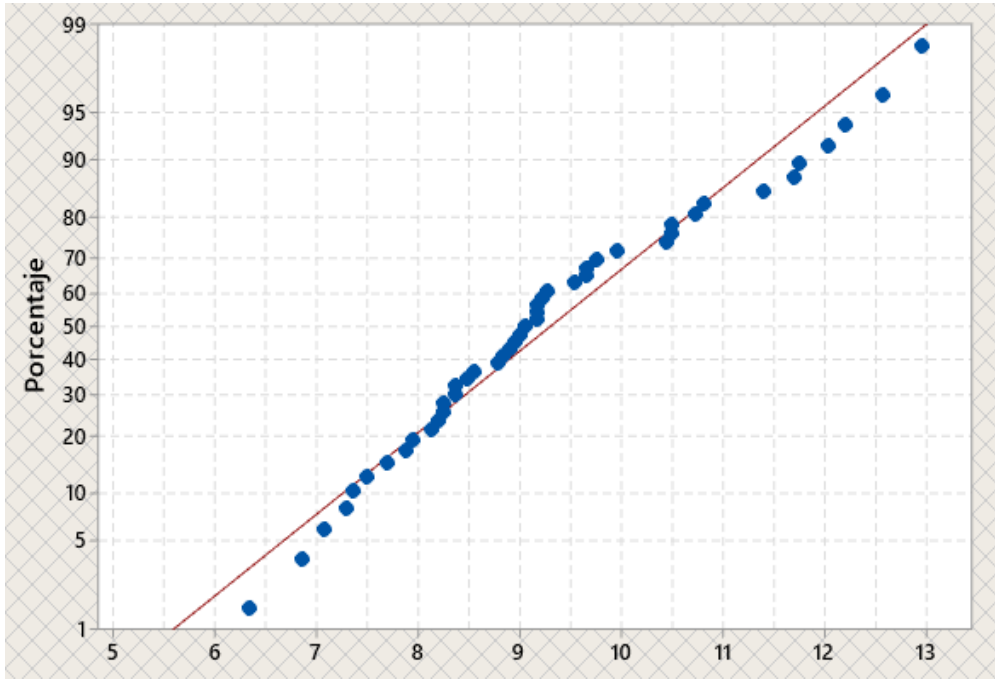
Verificación de supuestos de datos transformados

Prueba de normalidad

Se utiliza la prueba de Anderson Darling para la verificación del supuesto, con los datos transformados, el cual permite obtener el valor de significancia por medio de ajuste en la prueba realizada.

Tabla 3.49 Análisis Supuesto de Normalidad datos transformados - Esfuerzo Máximo de tracción.

Hipótesis	Ho: En el Esfuerzo Máximo de tracción posee distribución normal en sus datos.
	Ha: En el Esfuerzo Máximo de tracción no posee distribución normal en sus datos.

Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Nº de datos	45
			
Prueba estadística: Anderson Darling = 0,592		Valor - p	0,118
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Existe normalidad en los datos con un valor de significancia calculada mayor a 0,05		

Acorde a la transformación de datos del esfuerzo máximo de tracción cumple con el supuesto de normalidad, obtenido un valor p de 0,118, el cual indica que es mayor al valor de significancia dado del 5%.

Prueba igualdad de varianza

Para verificar el cumplimiento de los datos transformados de la propiedad mecánica del esfuerzo máximo de tracción, se utiliza la prueba de Levene, los valores obtenidos se presentan en la tabla 3.50, con un margen de valor permitidos dentro del valor de análisis de la significancia.

Tabla 3.50 Análisis Supuesto de igualdad de Varianza datos transformados - Esfuerzo Máximo de tracción.

Hipótesis	Ho: En el Esfuerzo Máximo de tracción posee igualdad de varianza en sus datos.
-----------	--

	Ha: En el Esfuerzo Máximo de tracción no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Nº de datos	45
Prueba estadística: Levene = 0,69		Valor - p	0,745
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos transformados del esfuerzo máximo de tracción.		

Independencia de residuos

En la figura 1.1 se verifica la independencia de residuos por medio del análisis en los datos transformado, permitiendo corroborar de esa manera, dentro de la gráfica no existe un patrón definido en cada ajuste eso concluye el cumplimiento de la prueba paramétrica de independencia de residuos.

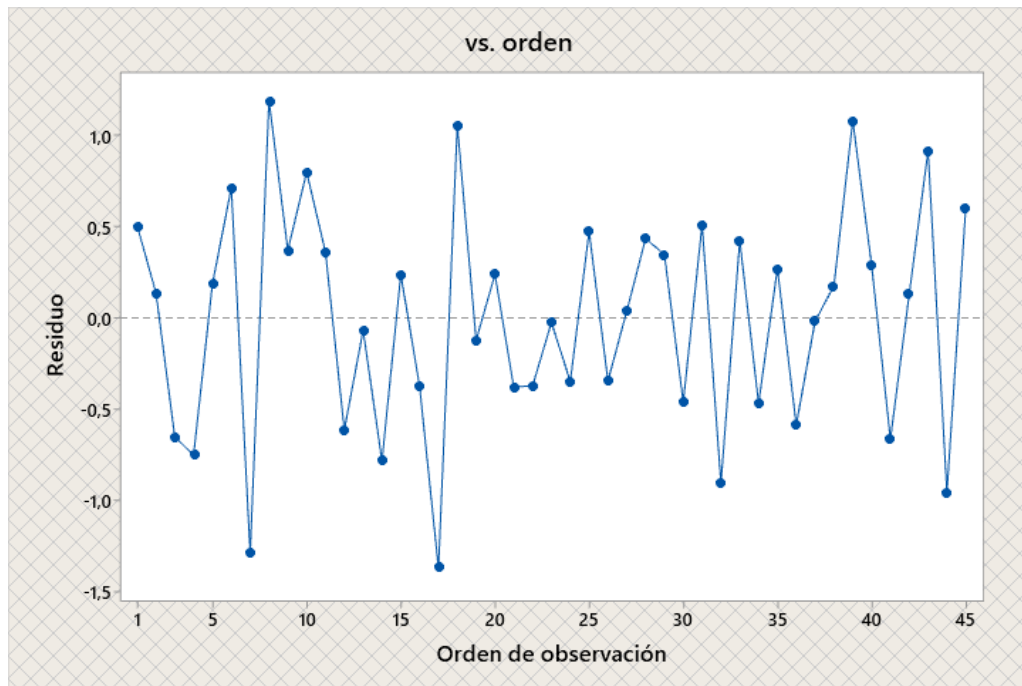


Figura 3.3 Independencia de Residuos – Transformación de datos [Software Minitab].

Aplicación del diseño de experimentos – Esfuerzo Máximo de tracción

El análisis elaborado de la propiedad mecánica se da en base a modelos cuadráticos los cuales se ajustan a los diferentes factores analizados, en base al análisis se presenta el diagrama de Pareto, el cual permite observar los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica.

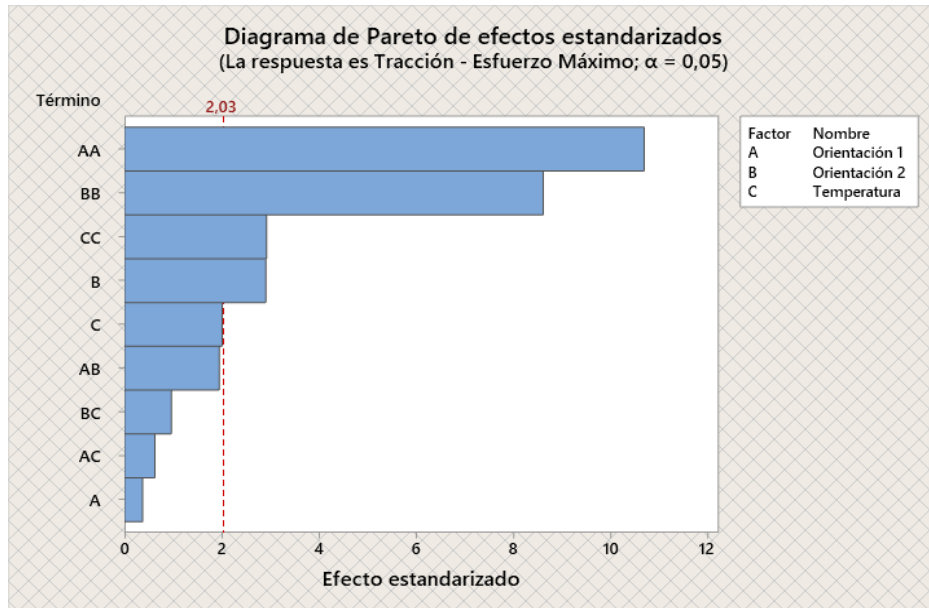


Figura 3.4 Diagrama de Pareto – Esfuerzo Máximo de tracción [Software Minitab].

Los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica se dan en el modelo cuadrático, como es la combinación entre la orientación 1, orientación 2 y temperatura respectivamente.

Análisis de varianza

Los datos analizados de la propiedad mecánica, mediante el uso del diseño experimental, nos permite corroborar el análisis de la varianza, en donde se determina existencia o inexistencia de las diferencias significativas del tratamiento. El modelo presenta un valor – p de 0,000, lo cual nos indica la existencia de diferencias significativas.

Tabla 3.51 Análisis de Varianza - Datos Esfuerzo Máximo de Tracción.

Análisis de varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	94,931	10,5478	21,71	0,000
Lineal	3	6,138	2,0461	4,21	0,012
Orientación 1	1	0,068	0,0683	0,14	0,710
Orientación 2	1	4,111	4,1106	8,46	0,006
Temperatura	1	1,959	1,9593	4,03	0,052
Cuadrado	3	86,304	28,7678	59,21	0,000
Orientación 1*Orientación 1	1	55,488	55,4877	114,20	0,000
Orientación 2*Orientación 2	1	36,023	36,0226	74,14	0,000
Temperatura*Temperatura	1	4,143	4,1429	8,53	0,006

Interacción de 2 factores	3	2,489	0,8296	1,71	0,183
Orientación 1*Orientación 2	1	1,849	1,8491	3,81	0,059
Orientación 1*Temperatura	1	0,190	0,1900	0,39	0,536
Orientación 2*Temperatura	1	0,450	0,4496	0,93	0,343
Error	35	17,005	0,4859		
Falta de ajuste	3	4,317	1,4391	3,63	0,023
Error puro	32	12,688	0,3965		
Total	44	111,936			

Coefficiente de determinación

El análisis elaborado presenta un ajuste del coeficiente de determinación, del 84.81% el cual indica que los datos son realmente deseables para el proceso de optimización de la propiedad mecánica.

Tabla 3.52 Coeficiente de determinación en datos del Esfuerzo Máximo de Tracción.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R_a^2)
84,81%	80,90%

Como consecuente a ello se presenta las gráficas de efectos principales y de interacción de factores con sus respectivos valores en las medias ajustadas en la propiedad, se toma en cuenta que la figura de efectos principales entre más prolongada sea la pendiente mayor será la incidencia del factor en la propiedad. Por ende, la gráfica de interacción de factores nos indica la diferencia que existe en la relación de datos.

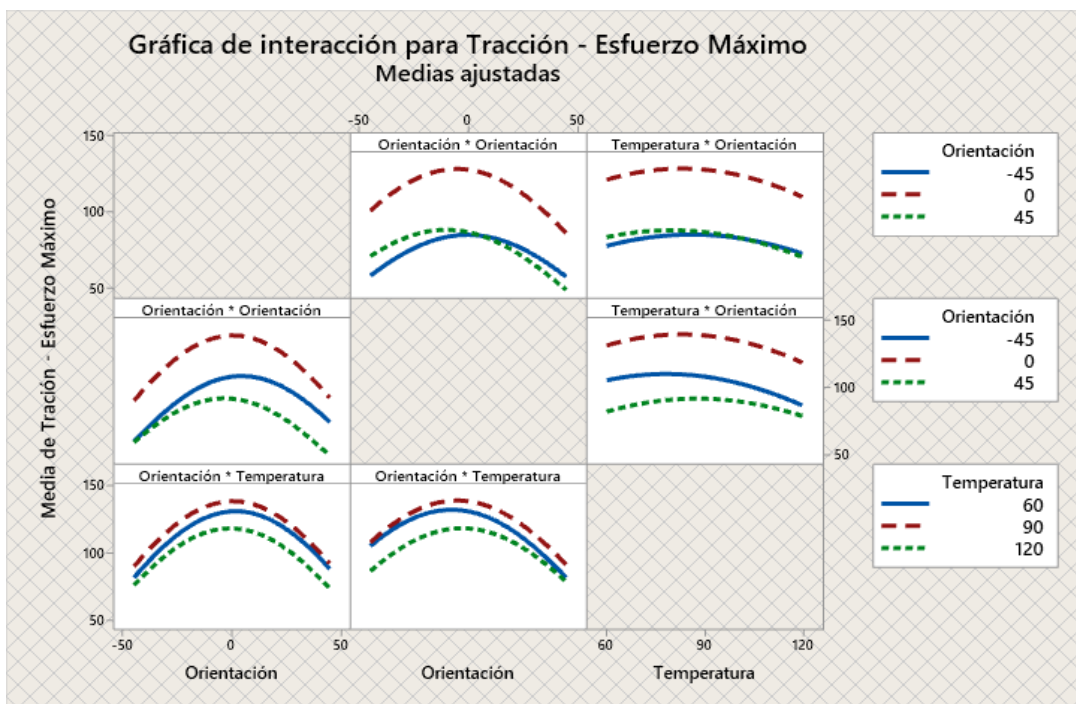
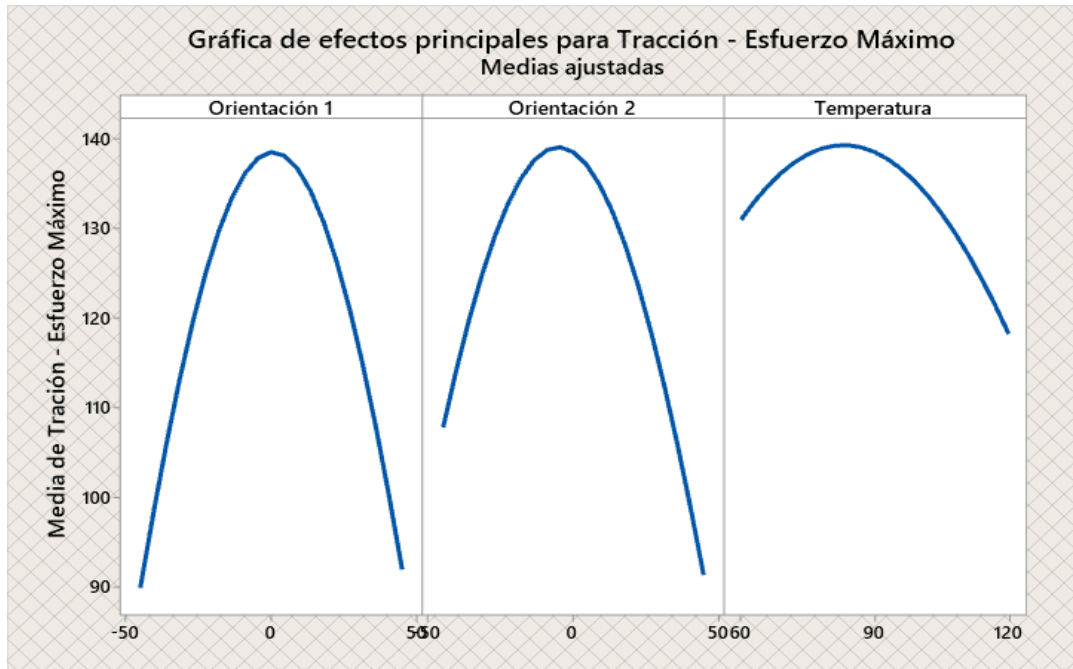


Figura 3.5 Efectos e interacciones de factores - Esfuerzo Máximo de tracción [Software Minitab].

El modelo indica el diseño de superficie en base a la ecuación de regresión obtenida en el análisis de la varianza esto acorde a la distribución de la media ajustada entre las diferentes interacciones de los factores en la propiedad mecánica.

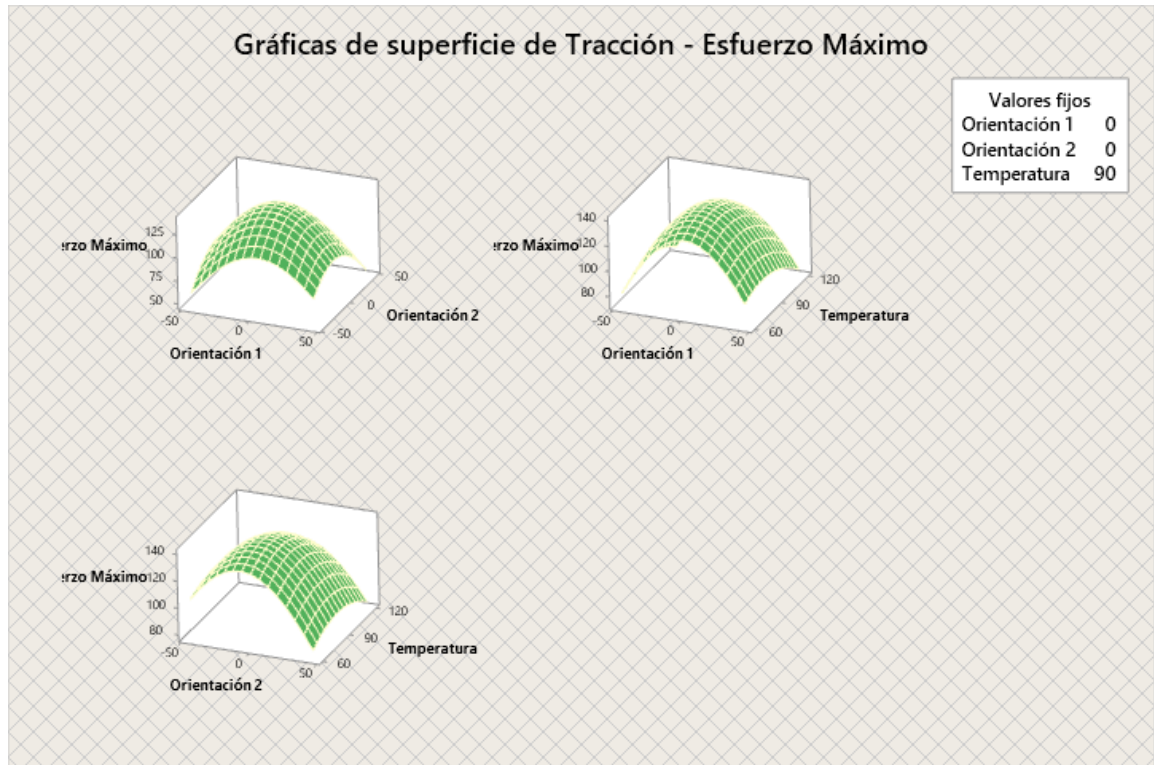


Figura 3.6 Superficie de respuesta - Esfuerzo Máximo de Tracción [Software Minitab].

Optimización – Esfuerzo máximo de tracción.

Acorde al objetivo de investigación, se llega a la optimización de la propiedad mecánica, del cual nos permite obtener la mejor caracterización del material con los datos del ensayo mecánico, de esta manera se presentan la predicción de los valores referente a los factores de entrada como es la orientación 1, orientación 2, temperatura de curado, y la propiedad optimizada respectivamente.

Tabla 3.53 Optimización de respuesta datos Esfuerzo Máximo de tracción.

Variable	Valor de configuración
Orientación 1	1,36364
Orientación 2	-5,90909
Temperatura	82,4242
Respuesta	Ajuste
Tracción - Esfuerzo Máximo	140,086

Verificación de supuestos

Módulo de Elasticidad en tracción

Acorde al objetivo de análisis se realizan las respectivas pruebas paramétricas, donde se verifican que los datos obtenidos en los ensayos mecánicos cumplan con los supuestos paramétricos, como es normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos.

Prueba de normalidad

El análisis de bondad aplicado se da por medio de la prueba de Anderson Darling, para la verificación de los datos en el módulo de elasticidad en tracción, de esta manera mediante el uso de la prueba utilizada se verifica que la significancia obtenida en el análisis es de 0,056, el cual nos indica el cumplimiento de la prueba paramétrica de normalidad, en la tabla 3.54 se detalla la significancia calcula por medio de la prueba paramétrica utilizada.

Tabla 3.54 Análisis Supuesto de Normalidad - Modulo de elasticidad de Tracción.

Hipótesis	Ho: En el Módulo de Elasticidad en tracción posee distribución normal en sus datos.		
	Ha: En el Módulo de Elasticidad en tracción no posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45

Prueba estadística: Anderson Darling = 0,720	Valor - p	0,056
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.	
Conclusión	Existe normalidad en los datos analizados por ende el análisis nos indica un valor -p de 0,056 mayor al valor de significancia de 0,05.	

Prueba igualdad de varianza

La prueba para la verificación de los datos en Módulo de Elasticidad en tracción se da por medio de Levene.

Tabla 3.55 análisis de supuesto igualdad de Varianza - Modulo de Elasticidad de Tracción.

Hipótesis	Ho: En el Módulo de Elasticidad en tracción posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: En el Módulo de Elasticidad en tracción no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45
Prueba estadística: Levene = 0,38	Valor - p	0,960	
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos del Módulo de Elasticidad en tracción.		

Independencia de residuos

En la figura 1.1 se presenta los residuos del módulo de Elasticidad en tracción, por lo cual se determina que el supuesto cumple debido a que no posee aleatoriedad en los datos analizados.

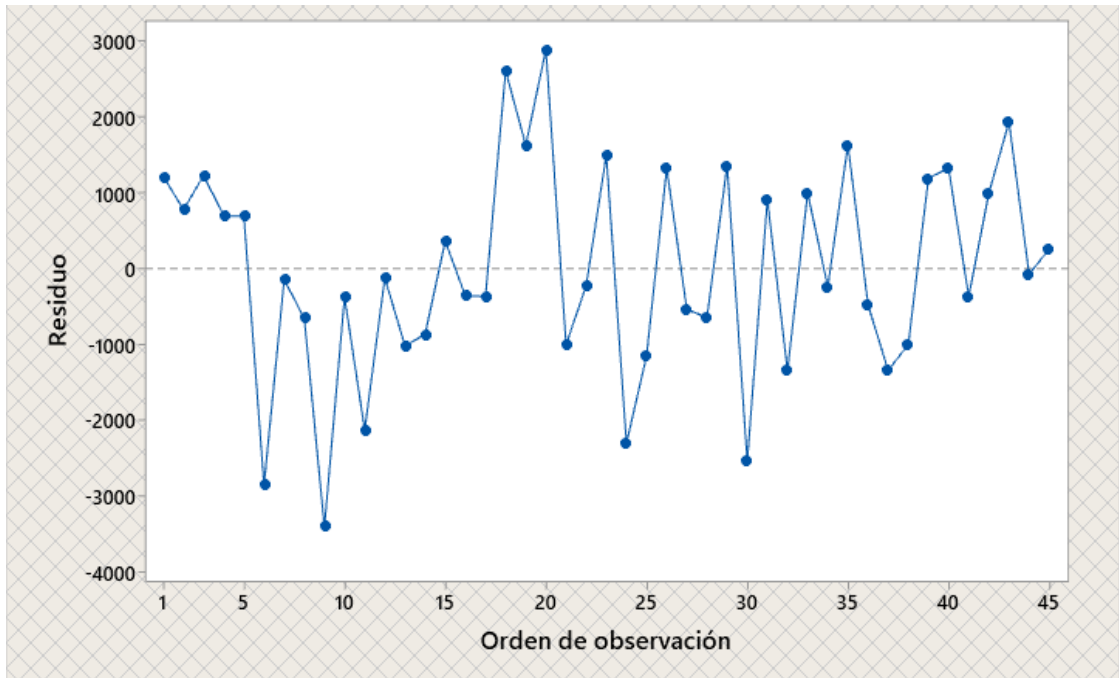


Figura 3.7 Independencia de residuos - Modulo de elasticidad en tracción [Software Minitab].

Aplicación del diseño de experimentos – Modulo de Elasticidad en tracción

El análisis elaborado de la propiedad mecánica se da en base a modelos cuadráticos e interactivos los cuales se ajustan a los diferentes factores analizados, en base al análisis se presenta el diagrama de Pareto, el cual permite observar los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica.

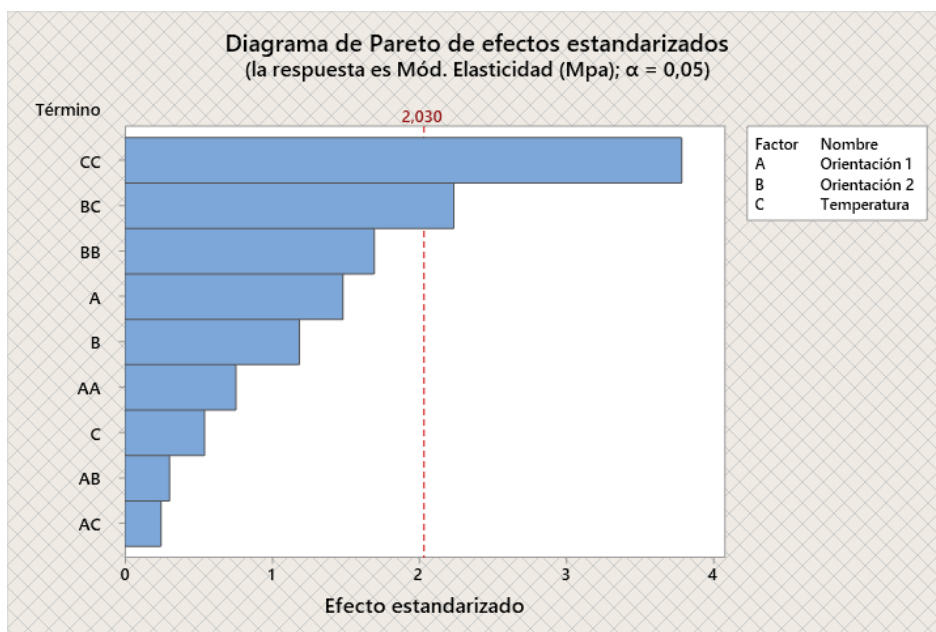


Figura 3.8 Diagrama de Pareto - Modulo de elasticidad en tracción [Software Minitab].

Los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica se dan en el modelo cuadrático, como es la combinación entre la orientación 1, orientación 1, y en el modelo de interacción de factores respectivamente entre orientación 2 y temperatura respectivamente.

Análisis de varianza

Los datos analizados de la propiedad mecánica, mediante el uso del diseño experimental, nos permite corroborar el análisis de la varianza, en donde se determina existencia o inexistencia de las diferencias significativas del tratamiento. El modelo presenta un valor $- p$ de 0,013, lo cual nos indica la existencia de diferencias significativas.

Tabla 3.56 Análisis de Varianza - Modulo de elasticidad en tracción.

Análisis de Varianza					
Fuente	G L	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	63359469	7039941	2,83	0,013
Lineal	3	9694325	3231442	1,30	0,291
Orientación 1	1	5462604	5462604	2,19	0,148
Orientación 2	1	3503704	3503704	1,41	0,244
Temperatura	1	728017	728017	0,29	0,592

Cuadrado	3	40859961	13619987	5,47	0,003
1 Orientación 1*Orientación	1	1422308	1422308	0,57	0,455
2 Orientación 2*Orientación	1	7148431	7148431	2,87	0,099
Temperatura*Temperatura	1	35590777	35590777	14,29	0,001
Interacción de 2 factores	3	12805183	4268394	1,71	0,182
2 Orientación 1*Orientación	1	229633	229633	0,09	0,763
Orientación 1*Temperatura	1	151875	151875	0,06	0,806
Orientación 2*Temperatura	1	12423675	12423675	4,99	0,032
Error	35	87183175	2490948		
Falta de ajuste	3	29386375	9795458	5,42	0,004
Error puro	32	57796800	1806150		
Total	44	150542644			

Coefficiente de determinación

El análisis elaborado presenta un ajuste del coeficiente de determinación, del 42,09% el cual indica que los datos son realmente deseables para el proceso de optimización de la propiedad mecánica.

Tabla 3.57 Coeficiente de determinación - Modulo de Elasticidad en tracción.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R_a^2)
42,09%	27,20%

Como consecuente a ello se presenta las gráficas de efectos principales y de interacción de factores con sus respectivos valores en las medias ajustadas en la propiedad, se toma en cuenta que la figura de efectos principales entre más prolongada sea la pendiente mayor será la incidencia del factor en la propiedad. Por otra parte, la gráfica de interacciones evalúa la relación entre las variables más optimas de los factores.

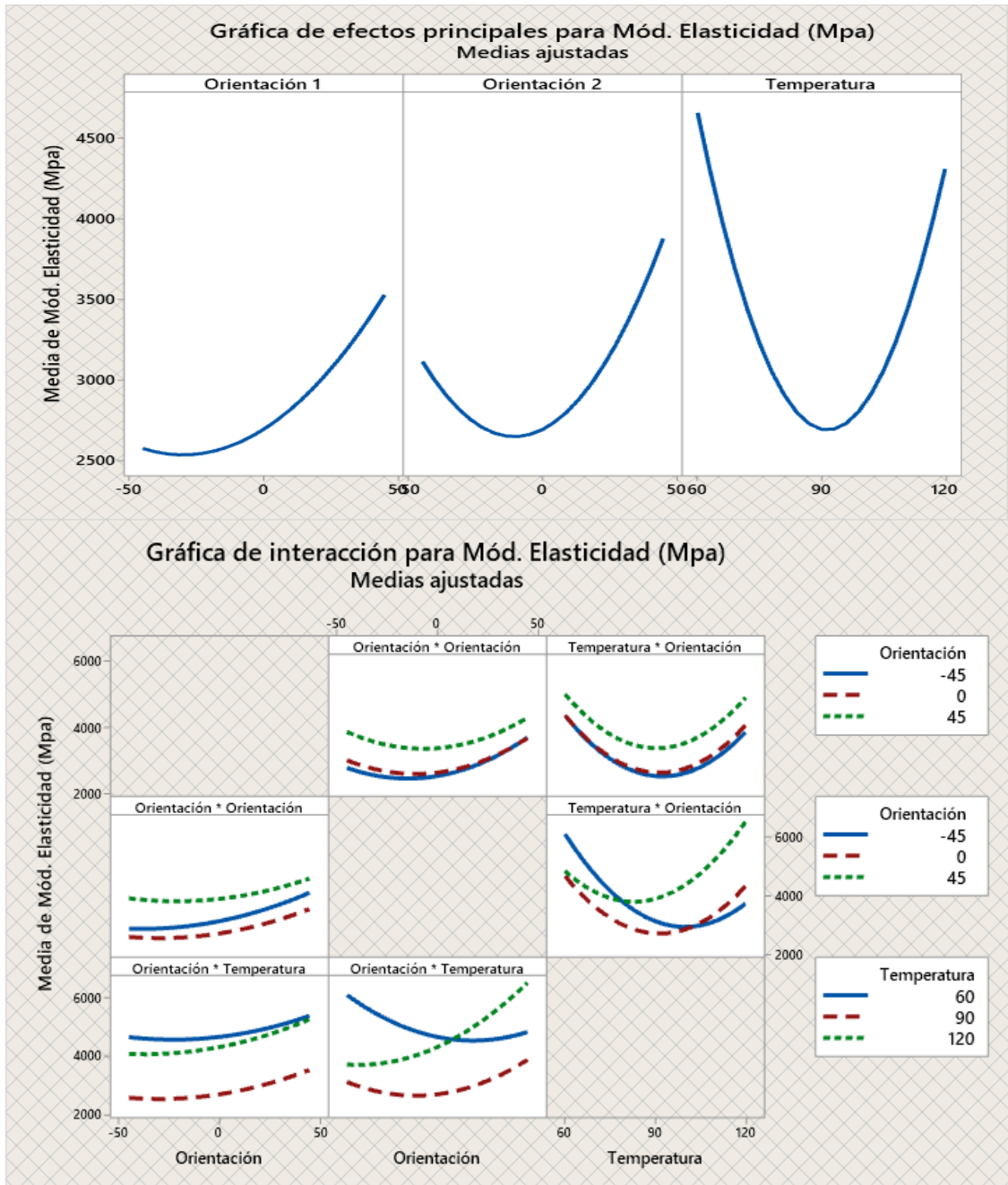


Figura 3.9 Efectos principales e interacción - Módulo de elasticidad en tracción [Software Minitab].

El modelo indica el diseño de superficie en base a la ecuación de regresión obtenida en el análisis de la varianza esto acorde a la distribución de la media ajustada entre las diferentes interacciones de los factores en la propiedad mecánica.

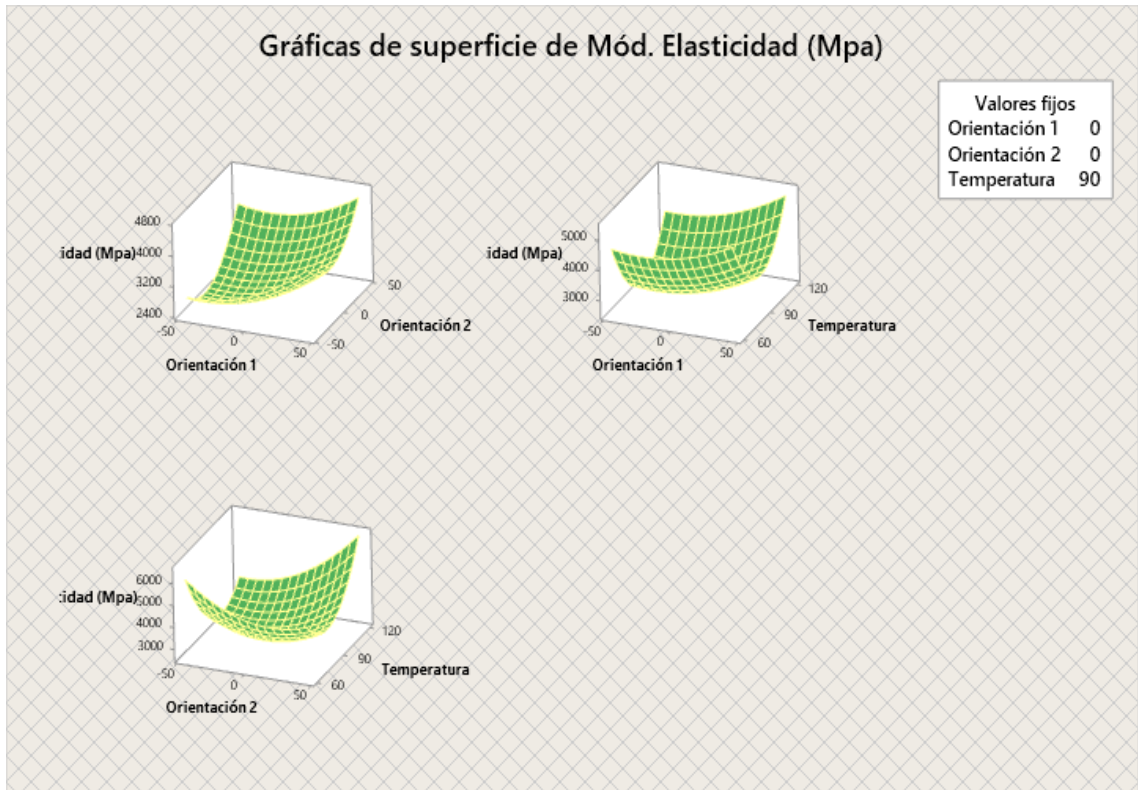


Figura 3.10 Superficie de respuesta - Modulo de elasticidad en tracción [Software Minitab].

Optimización – Modulo de elasticidad en tracción.

Acorde al objetivo de investigación, se llega a la optimización de la propiedad mecánica, del cual nos permite obtener la mejor caracterización del material con los datos del ensayo mecánico, de esta manera se presentan la predicción de los valores referente a los factores de entrada como es la orientación 1, orientación 2, temperatura de curado, y la propiedad optimizada respectivamente.

Tabla 3.58 Optimización de respuestas datos Modulo de Elasticidad en Tracción

Variable	Valor de configuración
Orientación 1	45
Orientación 2	45
Temperatura	120
Respuesta	Ajuste
Tracción - Esfuerzo Máximo (MPa)	7324

Verificación de supuestos

% de elongación

Acorde al objetivo de análisis se realizan las respectivas pruebas paramétricas, donde se verifican que los datos obtenidos en los ensayos mecánicos cumplan con los supuestos paramétricos, como es normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos.

Prueba de normalidad

El análisis de bondad aplicado se da por medio de la prueba de Anderson Darling, para la verificación de los datos del porcentaje de elongación.

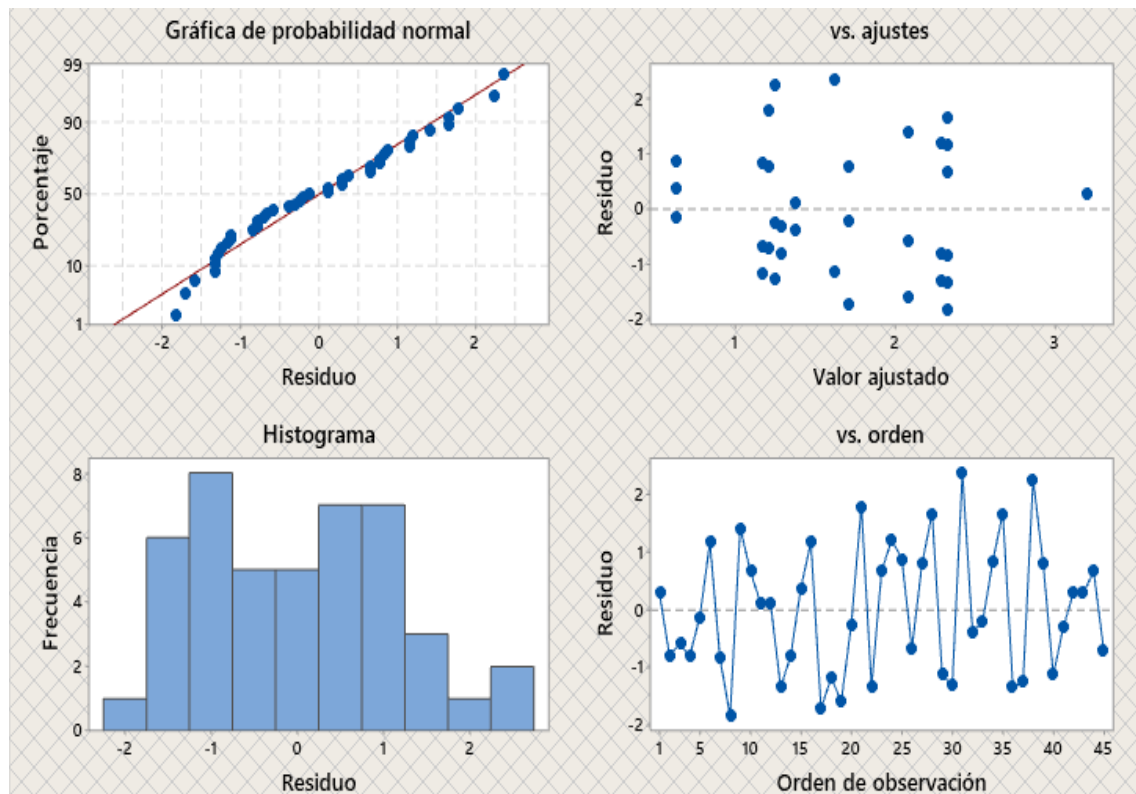


Figura 3.11 Análisis de Supuesto de Normalidad - % de elongación [Software Minitab].

En la figura 3.5 se observar el análisis de los datos del porcentaje de elongación mediante regresión de superficie de respuesta, el cual indica que el supuesto de los datos en la prueba de normalidad cumple, teniendo en cuenta que los puntos son asociados a la línea de tendencia.

Prueba igualdad de varianza

La prueba para la verificación de los datos en Módulo de Elasticidad en tracción se da por medio de Levene.

Tabla 3.59 Análisis de supuesto igualdad de Varianza - % de elongación.

Hipótesis	Ho: El porcentaje de elongación de la propiedad Mecánica posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: El porcentaje de elongación de la propiedad Mecánica no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>Nº de datos</i>	45
Prueba estadística: Levene = 0,43	Valor - p	0,929	
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos del porcentaje de elongación de la propiedad mecánica en tracción.		

En la propiedad analizada existe igualdad de varianza, por medio de la prueba paramétrica utilizada se obtiene el valor de significancia de 0.929, siendo así mayor al valor de significancia dada de 0,05.

Independencia de residuos

En la figura 1.1 se presenta los residuos del porcentaje de elongación (%) en tracción, por lo cual se determina que el supuesto cumple debido a que no posee aleatoriedad en los datos analizados.

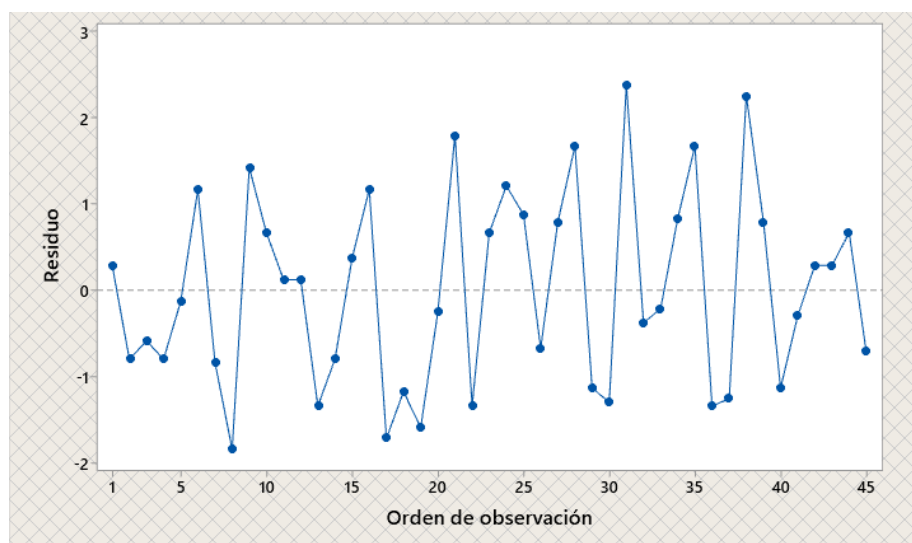


Figura 3.12 Análisis de supuesto independencia de residuos - % de elongación [Software Minitab].

Aplicación del diseño de experimentos – % de elongación en tracción

El análisis elaborado de la propiedad mecánica se da en base a modelos cuadráticos existentes dentro del software el cual nos permite analizar el nivel de los factores de entrada a ser alcanzados como óptimos, en base al análisis se presenta el diagrama de Pareto, el cual permite observar los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica.

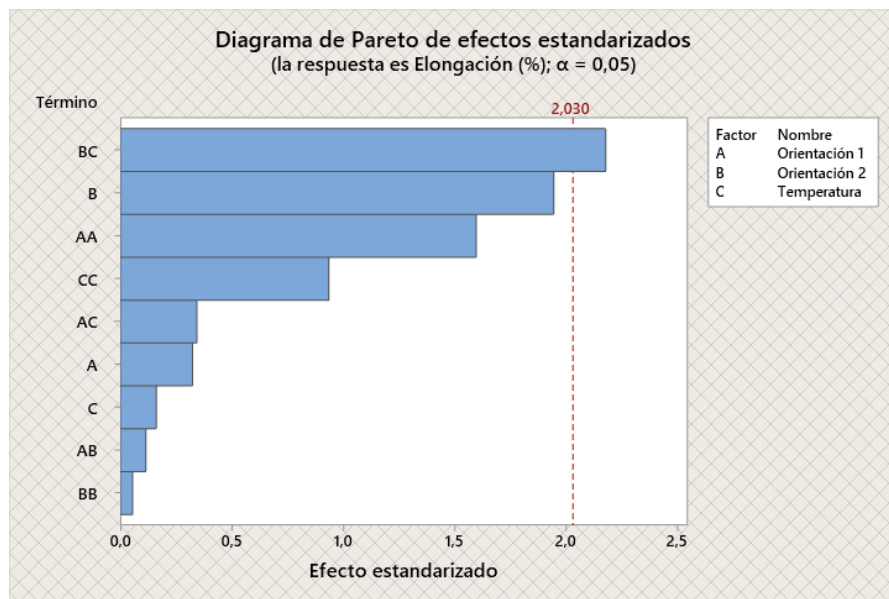


Figura 3.13 Diagrama de Pareto - % de elongación [Software Minitab].

El factor de entrada con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica se da en el modelo de interacciones, como es la combinación entre la orientación 2, y temperatura de curado, de esta forma se da a conocer la influencia que tiene esta interacción dentro del análisis correspondientemente.

Análisis de varianza

Los datos analizados de la propiedad mecánica, mediante el uso del diseño experimental, nos permite corroborar el análisis de la varianza, en donde se determina existencia o inexistencia de las diferencias significativas del tratamiento. El modelo presenta un valor – p de 0,048, lo cual nos indica la existencia de diferencias significativas.

Tabla 3.60 Análisis de Varianza - % de elongación.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	19,0611	2,11790	1,33	0,048
Lineal	3	6,2083	2,06944	1,30	0,289
Orientación 1	1	0,1667	0,16667	0,10	0,748
Orientación 2	1	6,0000	6,00000	3,78	0,060
Temperatura	1	0,0417	0,04167	0,03	0,872
Cuadrado	3	5,1236	1,70787	1,08	0,372
Orientación 1*Orientación 1	1	4,0433	4,04327	2,55	0,120
Orientación 2*Orientación 2	1	0,0048	0,00481	0,00	0,956
Temperatura*Temperatura	1	1,3894	1,38942	0,87	0,356
Interacción de 2 factores	3	7,7292	2,57639	1,62	0,202
Orientación 1*Orientación 2	1	0,0208	0,02083	0,01	0,909
Orientación 1*Temperatura	1	0,1875	0,18750	0,12	0,733
Orientación 2*Temperatura	1	7,5208	7,52083	4,74	0,036
Error	35	55,5833	1,58810		
Falta de ajuste	3	4,7500	1,58333	1,00	0,045
Error puro	32	50,8333	1,58854		
Total	44	74,6444			

Coefficiente de determinación

El análisis elaborado presenta un ajuste del coeficiente de determinación, del 25,54% el cual indica que los datos son realmente deseables para el proceso de optimización de la propiedad mecánica.

Tabla 3.61 Coeficiente de determinación - % de elongación.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R_a^2)
25.54%	20,58%

Como consecuente a ello se presenta las gráficas de efectos principales y de interacción de factores con sus respectivos valores en las medias ajustadas en la propiedad, se toma en cuenta que la figura de efectos principales entre más prolongada sea la pendiente mayor será la incidencia del factor en la propiedad.

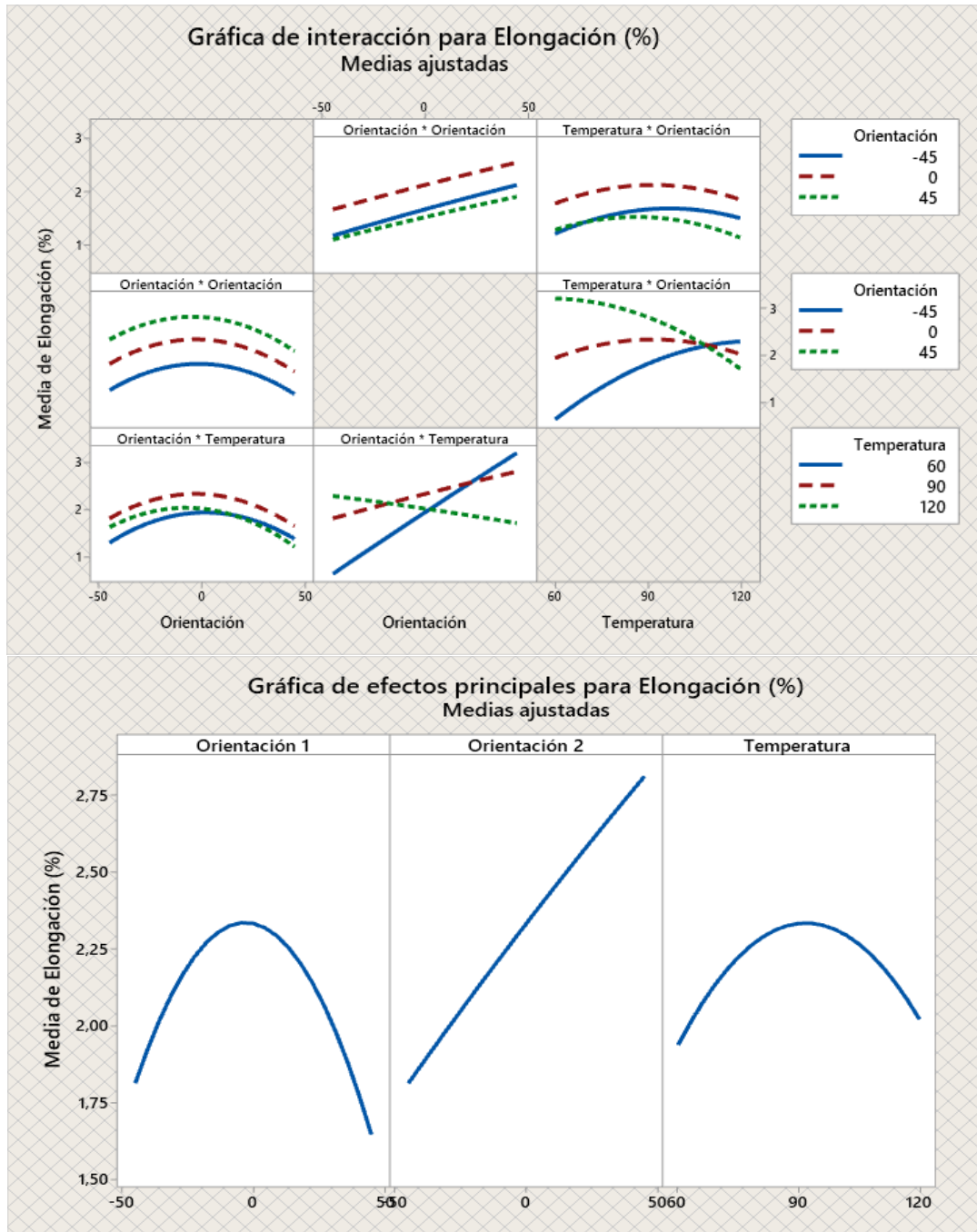


Figura 3.14 Efectos principales e interacciones - % de elongación [Software Minitab].

El modelo indica el diseño de superficie en base a la ecuación de regresión obtenida en el análisis de la varianza esto acorde a la distribución de la media ajustada entre las diferentes interacciones de los factores en la propiedad mecánica.

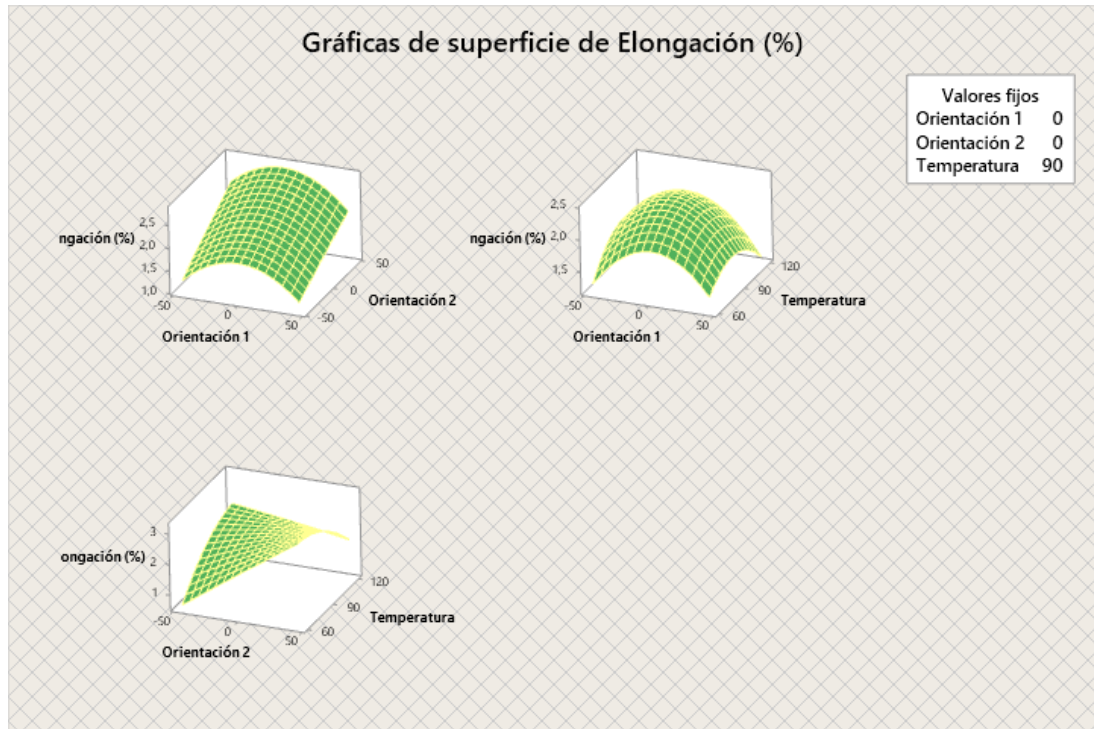


Figura 3.15 Superficie de Respuesta - % de elongación [Software Minitab].

Optimización – % de elongación.

Acorde al objetivo de investigación, se llega a la optimización de la propiedad mecánica, del cual nos permite obtener la mejor caracterización del material con los datos del ensayo mecánico, de esta manera se presentan la predicción de los valores referente a los factores de entrada como es la orientación 1, orientación 2, temperatura de curado, y la propiedad optimizada respectivamente.

Tabla 3.62 Optimización de respuesta datos % de elongación.

Variable	Valor de configuración
Orientación 1	-45
Orientación 2	-45
Temperatura	60
Respuesta	Ajuste
Tracción - % de elongación	0,86

3.3. Análisis de propiedades mecánicas para la comprobación de supuestos en flexión

Esfuerzo máximo de Flexión – Verificación de supuestos

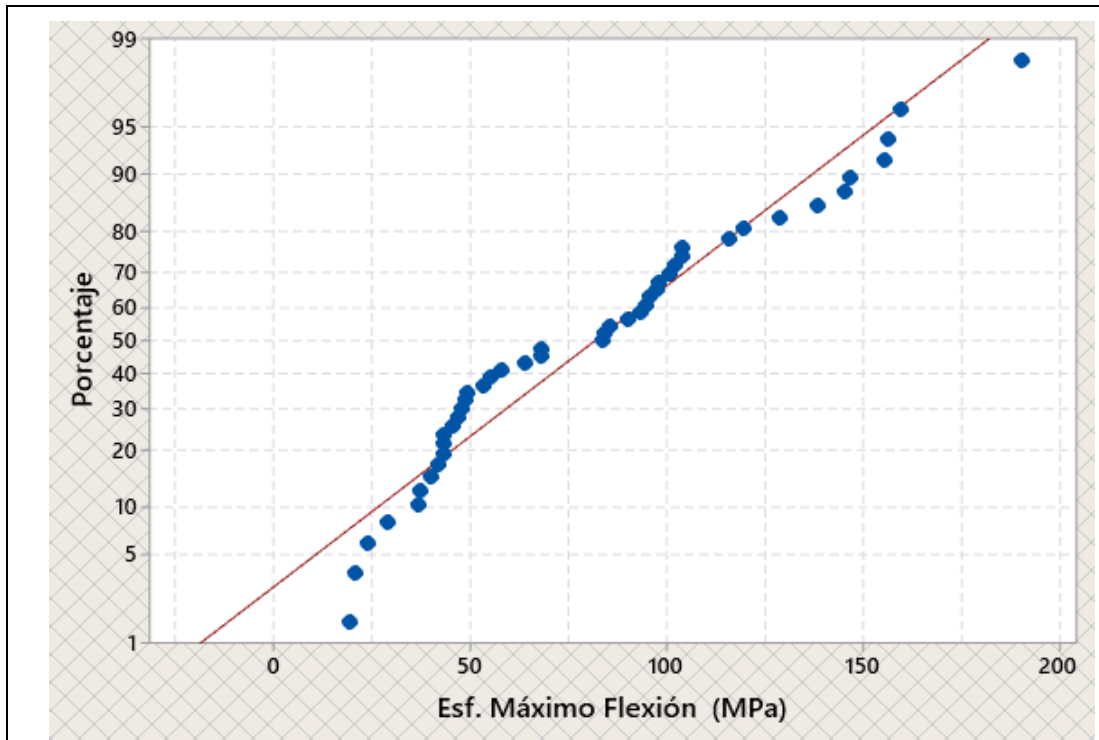
Se considera los datos obtenidos en el ensayo de Flexión, con distintas propiedades obtenidas por el mismo ensayo, como son: esfuerzo máximo, Modulo de Elasticidad y deflexión. Acorde al objetivo de análisis se realizan las respectivas pruebas paramétricas, donde se verifican que los datos obtenidos en los ensayos mecánicos cumplan con los supuestos paramétricos, como es normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos.

Prueba de normalidad

El análisis de bondad aplicado se da por medio de la prueba de Anderson Darling, para la verificación de los datos en el esfuerzo máximo de tracción, de esta manera mediante el uso de la prueba utilizada se verifica que la significancia obtenida en el análisis es de 0,005, el cual nos indica el requerimiento de transformar los datos para un respectivo análisis, en la tabla 3.64 se detalla la significancia calcula por medio de la prueba paramétrica utilizada.

Tabla 3.63 Verificación de supuesto de Normalidad - Esfuerzo Máximo de Flexión.

Hipótesis	Ho: El Esfuerzo Máximo de flexión posee distribución normal en sus datos.		
	Ha: El Esfuerzo Máximo de flexión no posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45



Prueba estadística: Anderson Darling =	Valor - p	0,021
	0,892	
Respuesta	Se rechaza la hipótesis nula.	
Conclusión	Se concluye, la inexistencia de distribución normal en los datos del esfuerzo máximo de flexión, por un valor p menor al 5% de significancia.	
Acotación	Se requieren transformar los datos para el ajuste.	

Prueba igualdad de varianza

La prueba para la verificación de los datos en el esfuerzo máximo de tracción se da por medio de la prueba paramétrica de Levene acorde a la concepción de los datos analizados mediante el uso del software.

Tabla 3.64 Análisis de supuesto igualdad de Varianza - Esfuerzo Máximo de Flexión.

Hipótesis	Ho: El Esfuerzo Máximo de flexión posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: El Esfuerzo Máximo de flexión no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Nº de datos	45

Prueba estadística: Levene = 0,85	Valor - p	0,601
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.	
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos del esfuerzo máximo de flexión.	

En la propiedad analizada existe igualdad de varianza, por medio de la prueba paramétrica utilizada se obtiene el valor de significancia de 0.85, siendo así mayor al valor de significancia dada de 0,05.

Independencia de residuos

En la figura 1.1 se presenta los residuos del esfuerzo máximo de tracción, por lo cual se determina que el supuesto cumple debido a que no posee aleatoriedad en los datos analizados.

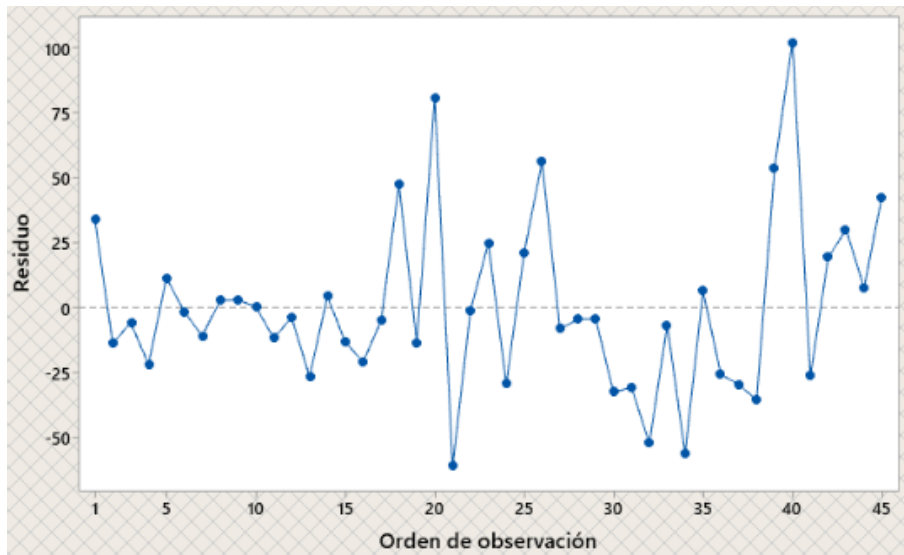


Figura 3.16 Independencia de residuos - Esfuerzo Máximo de Flexión [Software Minitab].

Transformación de datos

Se elabora la transformación de datos en la propiedad mecánica de esfuerzo máximo de tracción debido a la falta de normalidad en el supuesto paramétrico. El parámetro de transformación utilizado se da por medio de lambda (λ) siendo este el factor idóneo para la respectiva transformación de datos, por ende, la verificación respectiva de los supuestos paramétricos.

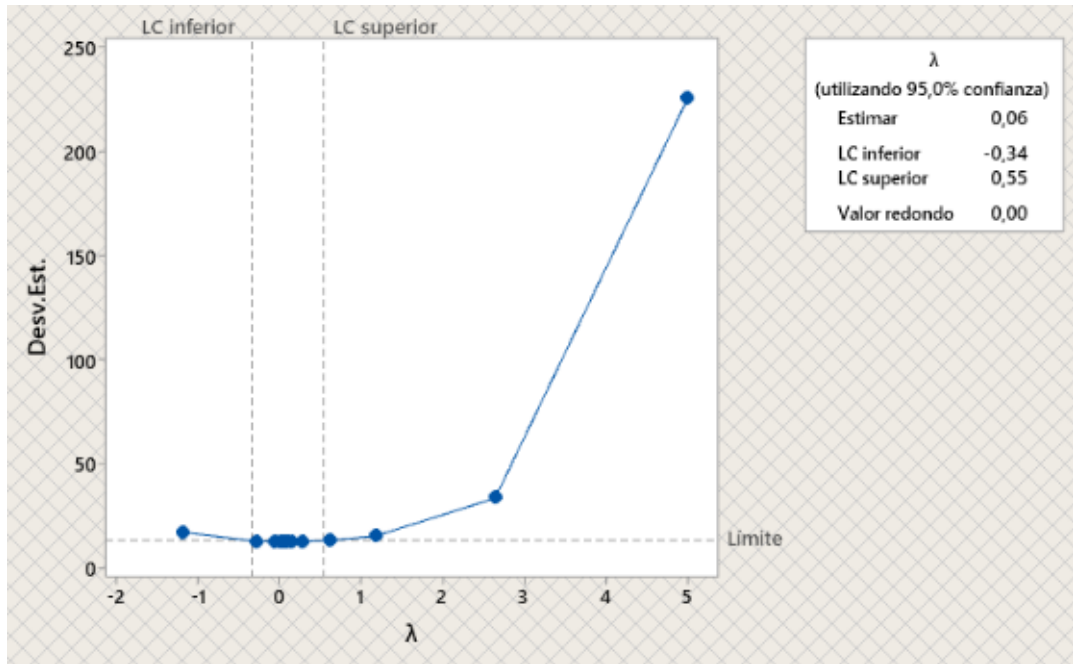


Figura 3.17 Independencia de residuos - Esfuerzo Máximo de Flexión [Software Minitab].

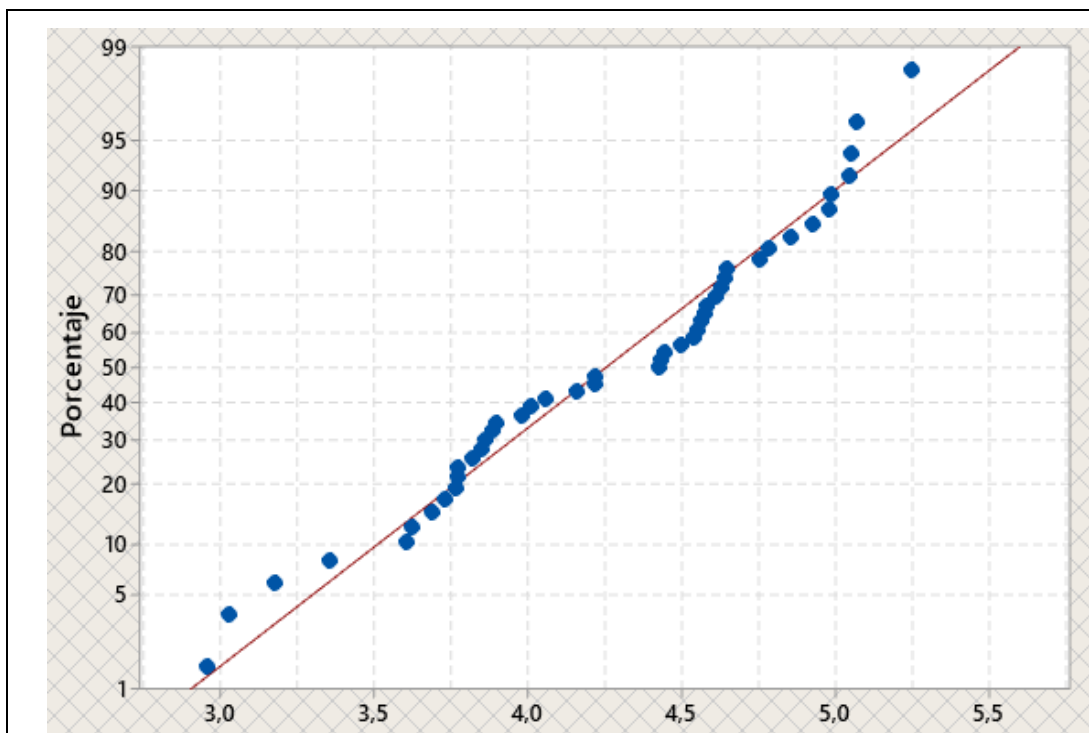
Verificación de supuestos de datos transformados

Prueba de normalidad

Se utiliza la prueba de Anderson Darling para la verificación del supuesto, con los datos transformados, el cual permite obtener el valor de significancia por medio de ajuste en la prueba realizada. En la tabla 3.66, se verifica la similitud a la línea de tendencia de la respectiva prueba.

Tabla 3.65 Verificación de supuesto Normalidad - Esfuerzo Máximo de Flexión.

Hipótesis	Ho: El Esfuerzo Máximo de flexión posee distribución normal en sus datos.		
	Ha: El Esfuerzo Máximo de flexión posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45



Prueba estadística: Anderson Darling =	Valor - p	0,123
	0,581	
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.	
Conclusión	Existe normalidad en los datos con un valor de significancia calculada mayor a 0,05	

Acorde a la transformación de datos del esfuerzo máximo de flexión cumple con el supuesto de normalidad, obtenido un valor p de 0.123, el cual indica que es mayor al valor de significancia dado del 5%.

Prueba igualdad de varianza

Para verificar el cumplimiento de los datos transformados de la propiedad mecánica del esfuerzo máximo de flexión, se utiliza la prueba de Levene, los valores obtenidos se presentan en la tabla 3.67, dando lugar al cumplimiento del supuesto paramétrico.

Tabla 3.66 Verificación de supuesto igualdad de varianza - Esfuerzo Máximo de Flexión.

Hipótesis	Ho: En el Esfuerzo Máximo de flexión posee igualdad de varianza en sus datos.
	Ha: En el Esfuerzo Máximo de flexión no posee igualdad de varianza en sus datos.

Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Nº de datos	45
Prueba estadística: Levene = 0,69		Valor - p	0,750
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos transformados del esfuerzo máximo de flexión.		

Independencia de residuos

En la figura 1.1 se verifica la independencia de residuos por medio del análisis en los datos transformado, permitiendo corroborar de esa manera, dentro de la gráfica no existe un patrón definido en cada ajuste eso concluye el cumplimiento de la prueba paramétrica de independencia de residuos.

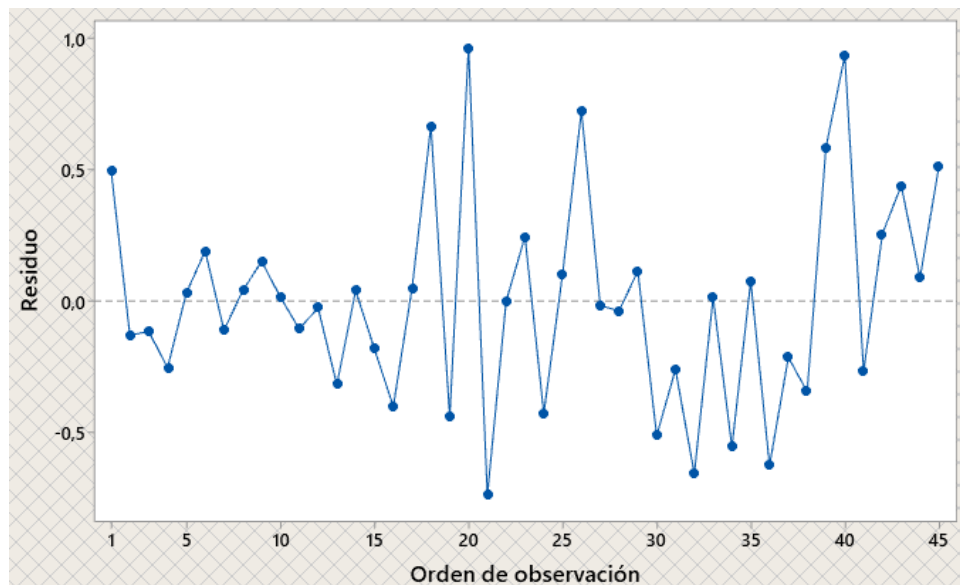


Figura 3.18 Independencia de Residuos - Esfuerzo Máximo de Flexión [Software Minitab].

Aplicación del diseño de experimentos – Esfuerzo máximo de flexión

El análisis elaborado de la propiedad mecánica se da en base a modelos cuadráticos existentes dentro del software el cual nos permite analizar el nivel de los factores de entrada a ser alcanzados como óptimos, en base al análisis se presenta el diagrama de Pareto, el cual permite observar los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica.

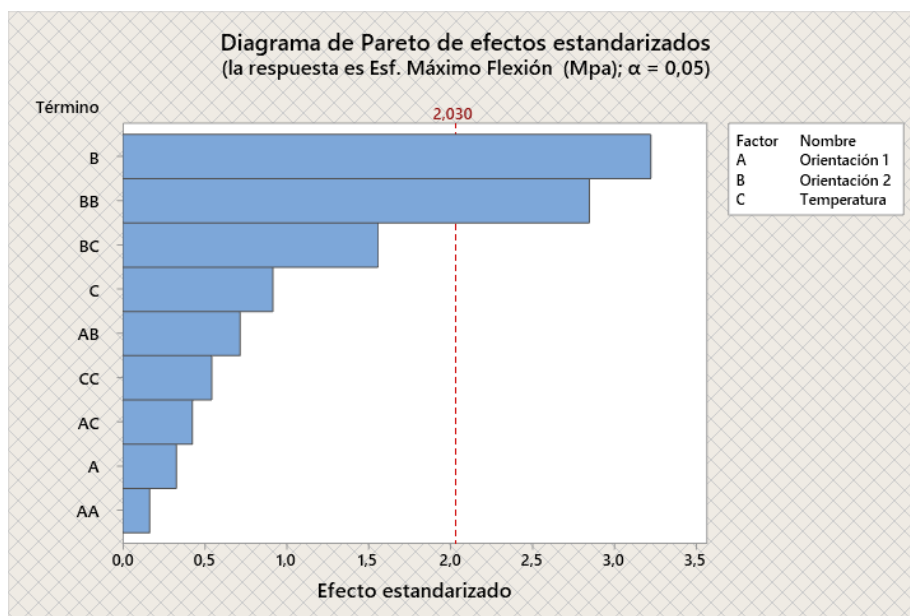


Figura 3.19 Diagrama de Pareto - Esfuerzo Máximo de Flexión [Software Minitab].

Los factores de entrada con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica se dan en el modelo simple y cuadrático del análisis de varianza, como es en la orientación dos determinadas como el factor con mayor influencia dentro del respectivo análisis.

Análisis de varianza

Los datos analizados de la propiedad mecánica, mediante el uso del diseño experimental, nos permite corroborar el análisis de la varianza, en donde se determina existencia o inexistencia de las diferencias significativas del tratamiento. El modelo presenta un valor $-p$ de 0,021, lo cual nos indica la existencia de diferencias significativas.

Tabla 3.67 Análisis de Varianza - Esfuerzo Máximo de Flexión

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	32737,4	3637,5	2,58	0,021
Lineal	3	15949,9	5316,6	3,77	0,019
Orientación 1	1	151,4	151,4	0,11	0,745
Orientación 2	1	14615,0	14615,0	10,37	0,003
Temperatura	1	1183,6	1183,6	0,84	0,366
Cuadrado	3	12391,5	4130,5	2,93	0,047
Orientación 1*Orientación 1	1	38,0	38,0	0,03	0,870

Orientación 2*Orientación 2	1	11412,1	11412,1	8,10	0,007
Temperatura*Temperatura	1	417,4	417,4	0,30	0,590
Interacción de 2 factores	3	4396,0	1465,3	1,04	0,387
Orientación 1*Orientación 2	1	722,1	722,1	0,51	0,479
Orientación 1*Temperatura	1	253,9	253,9	0,18	0,674
Orientación 2*Temperatura	1	3419,9	3419,9	2,43	0,128
Error	35	49313,7	1409,0		
Falta de ajuste	3	10468,3	3489,4	2,87	0,051
Error puro	32	38845,4	1213,9		
Total	44	82051,1			

Coefficiente de determinación

El análisis elaborado presenta un ajuste del coeficiente de determinación, del 39,90% el cual indica que los datos son realmente deseables para el proceso de optimización de la propiedad mecánica. El caso del análisis de varianza nos indica el nivel de aceptación que tiene los datos de la propiedad para ser optimizada respectivamente.

Tabla 3.68 Coeficiente de determinación - Esfuerzo Máximo de Flexión.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R_a^2)
39,90%	24,44%

Como consecuente a ello se presenta las gráficas de efectos principales y de interacción de factores con sus respectivos valores en las medias ajustadas en la propiedad, se toma en cuenta que la figura de efectos principales entre más prolongada sea la pendiente mayor será la incidencia del factor en la propiedad. La interacción de las variables se presenta optima en la relación de la orientación 1 y temperatura correspondientemente.

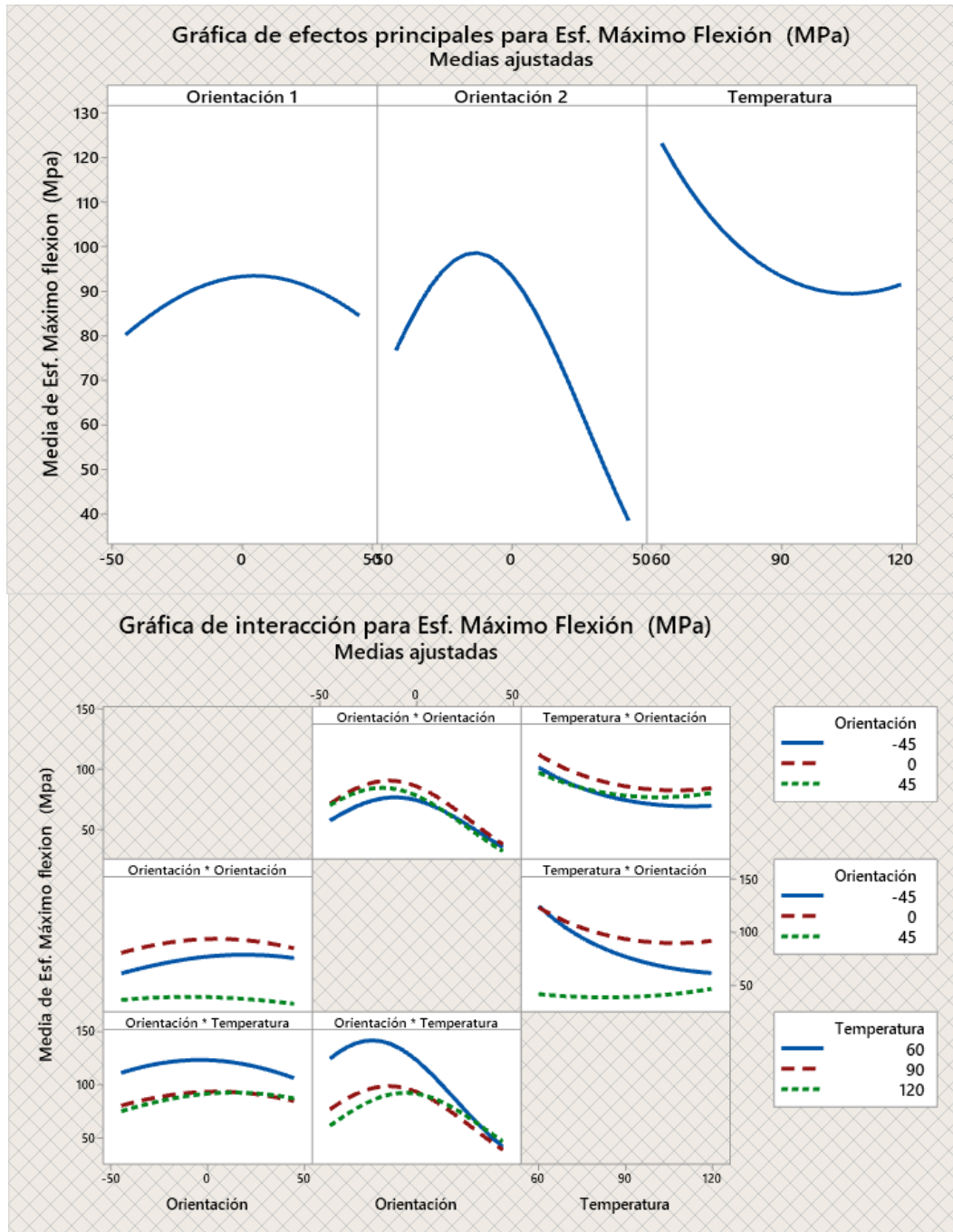


Figura 3.20 Efectos principales e interacción variables - Esfuerzo Máximo de Flexión [Software Minitab].

El modelo indica el diseño de superficie en base a la ecuación de regresión obtenida en el análisis de la varianza esto acorde a la distribución de la media ajustada entre las diferentes interacciones de los factores en la propiedad mecánica.

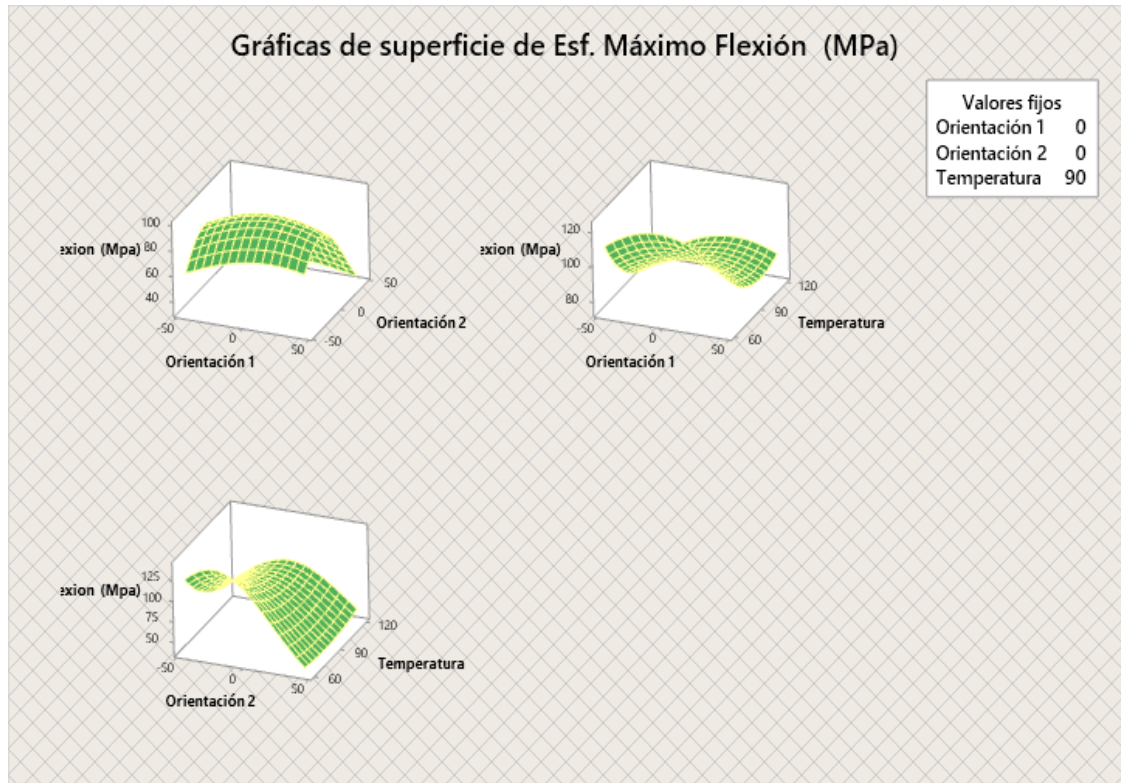


Figura 3.21 Efectos principales e interacción variables - Esfuerzo Máximo de Flexión [Software Minitab].

Optimización – Esfuerzo Máximo de flexión.

Acorde al objetivo de investigación, se llega a la optimización de la propiedad mecánica, del cual nos permite obtener la mejor caracterización del material con los datos del ensayo mecánico, de esta manera se presentan la predicción de los valores referente a los factores de entrada como es la orientación 1, orientación 2, temperatura de curado, y la propiedad optimizada respectivamente.

Tabla 3.69 Optimización de respuesta - Esfuerzo Máximo de Flexión

Variable	Valor de configuración
Orientación 1	3,18
Orientación 2	-23,18
Temperatura	60
Respuesta	Ajuste
Flexión - Esfuerzo Máximo (MPa)	142,09

Verificación de supuestos - Módulo de Elasticidad en flexión

Prueba de normalidad

El análisis de bondad aplicado se da por medio de la prueba de Anderson Darling, para la verificación de los datos en el esfuerzo máximo de tracción, de esta manera mediante el uso de la prueba utilizada se verifica que la significancia obtenida en el análisis es de 0,005, el cual nos indica el requerimiento de transformar los datos para un respectivo análisis, en la tabla 3.71 se detalla la significancia calcula por medio de la prueba paramétrica utilizada.

Tabla 3.70 Verificación de supuesto Normalidad - Modulo de Elasticidad en Flexión.

Hipótesis		Ho: El Módulo de elasticidad en flexión posee distribución normal en sus datos.		
		Ha: El Módulo de elasticidad en flexión no posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	de	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45
Prueba estadística: Anderson Darling =		2,714	Valor - p	< 0,005
Respuesta	Se rechaza la hipótesis nula.			
Conclusión	Se concluye, la inexistencia de distribución normal en los datos del módulo de elasticidad en flexión, por un valor p menor al 5% de significancia.			
Acotación	Se requieren transformar los datos para el ajuste.			

Prueba igualdad de varianza

La prueba para la verificación de los datos en el módulo de elasticidad en flexión se da por medio del análisis del supuesto paramétrico mediante la prueba de Levene.

Tabla 3.71 Supuesto de igualdad de Varianza - Modulo de elasticidad en Flexión.

Hipótesis	Ho: El Esfuerzo Máximo de flexión posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: El Esfuerzo Máximo de flexión no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>Nº de datos</i>	45
Prueba estadística: Levene = 0,74	Valor - p	0,707	
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos del módulo de elasticidad en flexión.		

En la propiedad analizada existe igualdad de varianza, por medio de la prueba paramétrica utilizada se obtiene el valor de significancia de 0.74, siendo así mayor al valor de significancia dada de 0,05.

Independencia de residuos

En la figura 3.14 se presenta los residuos del módulo de elasticidad en flexión, por lo cual se determina que el supuesto cumple debido a que no posee aleatoriedad en los datos analizados.

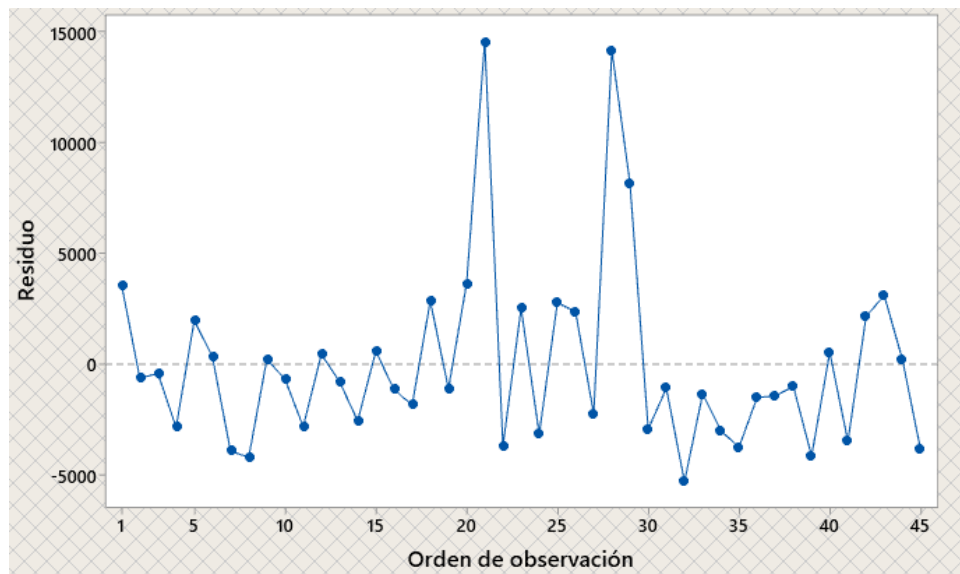


Figura 3.22 Independencia de Residuos - Modulo de Elasticidad en Flexión [Software Minitab].

Transformación de datos

Se elabora la transformación de datos en la propiedad mecánica del módulo de elasticidad en flexión debido a la falta de normalidad en el supuesto paramétrico. El parámetro de transformación utilizado se da por medio de lambda (λ) siendo este el factor idóneo para la respectiva transformación de datos, por ende, la verificación respectiva de los supuestos paramétricos.

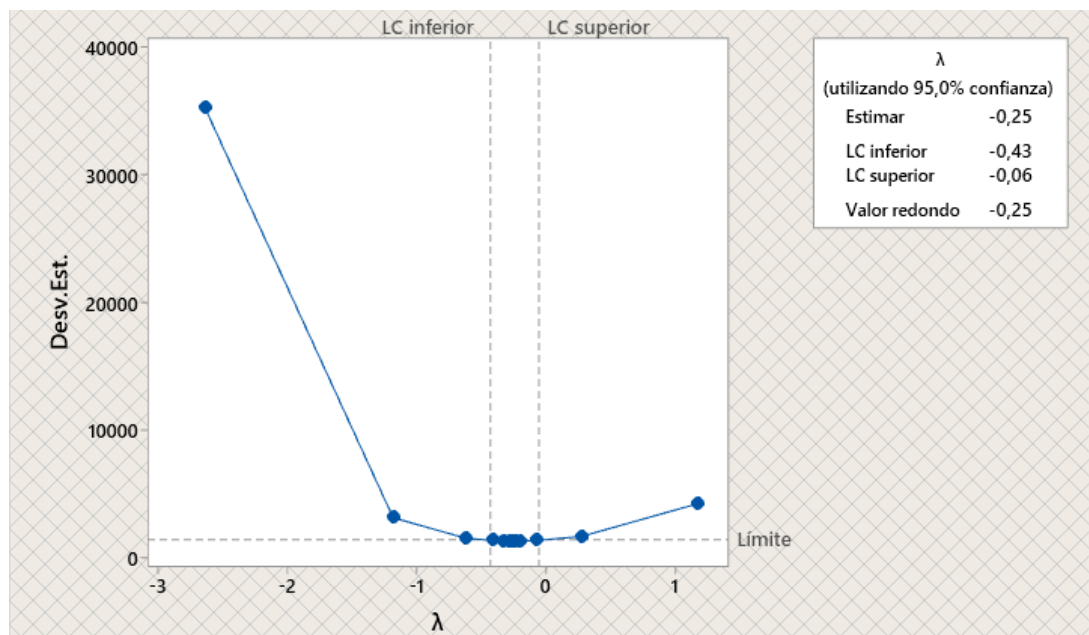


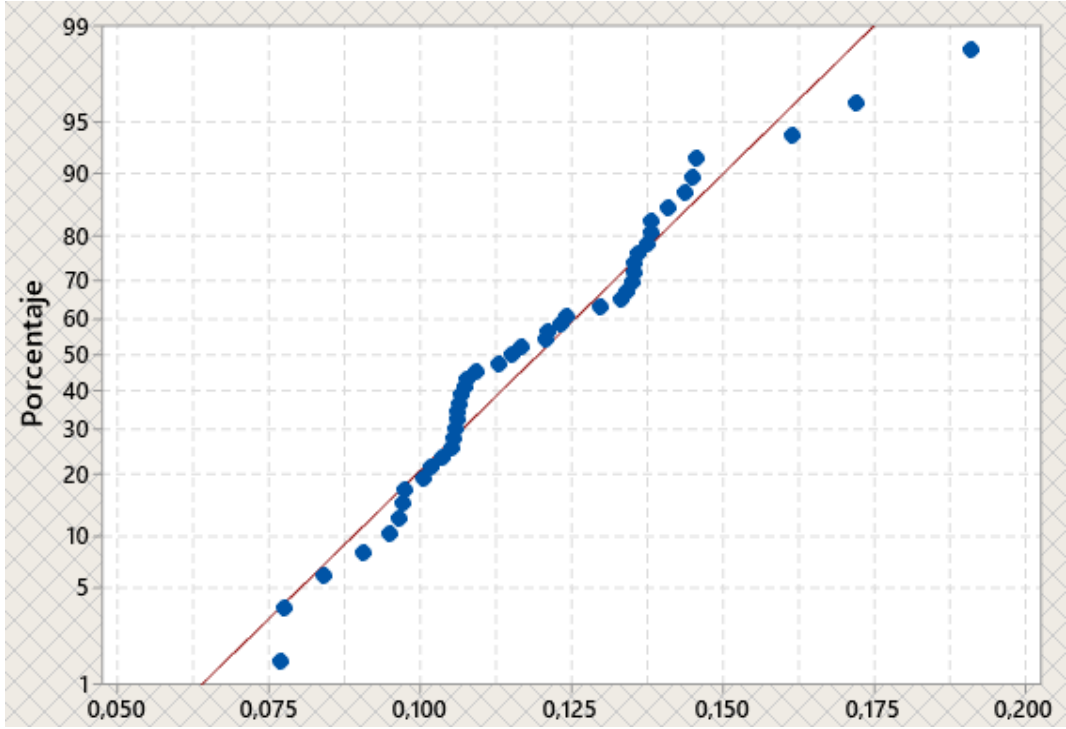
Figura 3.23 Valor óptimo de transformación - Modulo de Elasticidad en Flexión [Software Minitab].

Verificación de supuestos de datos transformados

Prueba de normalidad

Se utiliza la prueba de Anderson Darling para la verificación del supuesto, con los datos transformados, el cual permite obtener el valor de significancia por medio de ajuste en la prueba realizada. Por medio del respectivo análisis se obtiene la transformación de datos, como se presenta en la tabla 3.73, los datos se acercan a la línea de tendencia de la prueba de normalidad, donde el cumplimiento del respectivo supuesto paramétrico.

Tabla 3.72 Supuesto de Normalidad datos transformados - Modulo de Elasticidad en Flexión.

Hipótesis		Ho: El módulo de elasticidad en flexión posee distribución normal en sus datos.		
		Ha: El módulo de elasticidad en flexión no posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	de	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45
				
Prueba estadística: Anderson Darling = 0,667			Valor - p	0,076
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.			
Conclusión	Existe normalidad en los datos con un valor de significancia calculada mayor a 0,05			

Acorde a la transformación de datos del esfuerzo máximo de flexión cumple con el supuesto de normalidad, obtenido un valor p de 0.076, el cual indica que es mayor al valor de significancia dado del 5%.

Prueba igualdad de varianza

Para verificar el cumplimiento de los datos transformados de la propiedad mecánica del esfuerzo máximo de flexión, se utiliza la prueba de Levene, los valores obtenidos

se presentan en la tabla 3.74, la verificación de este al cumplir con el respectivo supuesto paramétrico.

Tabla 3.73 Supuesto Igualdad de varianza - Modulo de Elasticidad en Flexión.

Hipótesis	Ho: El módulo de elasticidad en flexión posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: El módulo de elasticidad en flexión no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Nº de datos	45
Prueba estadística: Levene = 0,61		Valor - p	0,814
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos transformados del módulo de elasticidad en Flexión.		

Independencia de residuos

En la figura 3.23, se verifica la independencia de residuos por medio del análisis en los datos transformado, permitiendo corroborar de esa manera, dentro de la gráfica no existe un patrón definido en cada ajuste eso concluye el cumplimiento de la prueba paramétrica de independencia de residuos.

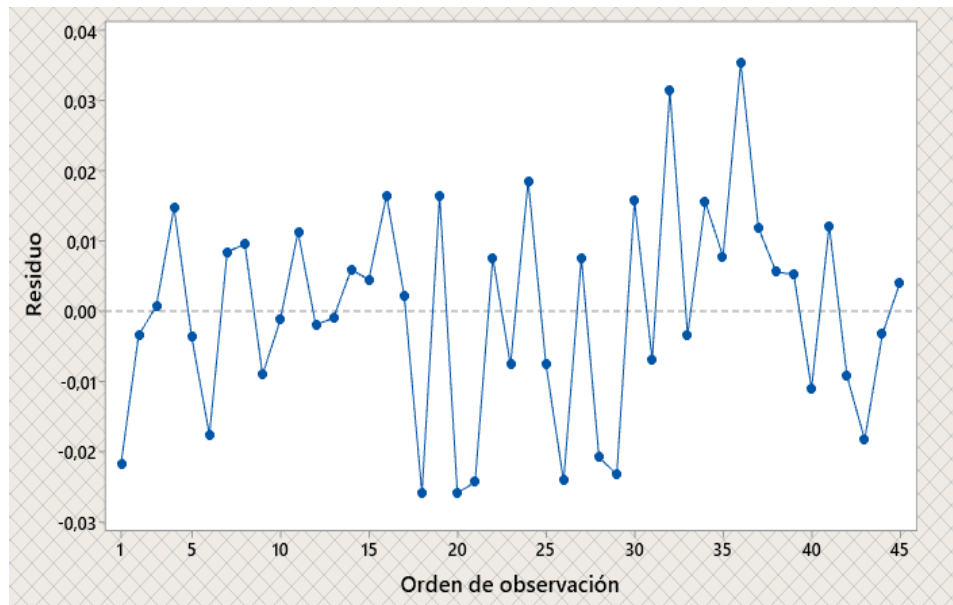


Figura 3.24 Independencia de residuos datos transformados - Modulo de elasticidad en flexión [Software Minitab].

Aplicación del diseño de experimentos – Modulo de elasticidad en Flexión

El análisis elaborado de la propiedad mecánica se da en base a modelos cuadráticos existentes dentro del software el cual nos permite analizar el nivel de los factores de entrada a ser alcanzados como óptimos, en base al análisis se presenta el diagrama de Pareto, el cual permite observar los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica.

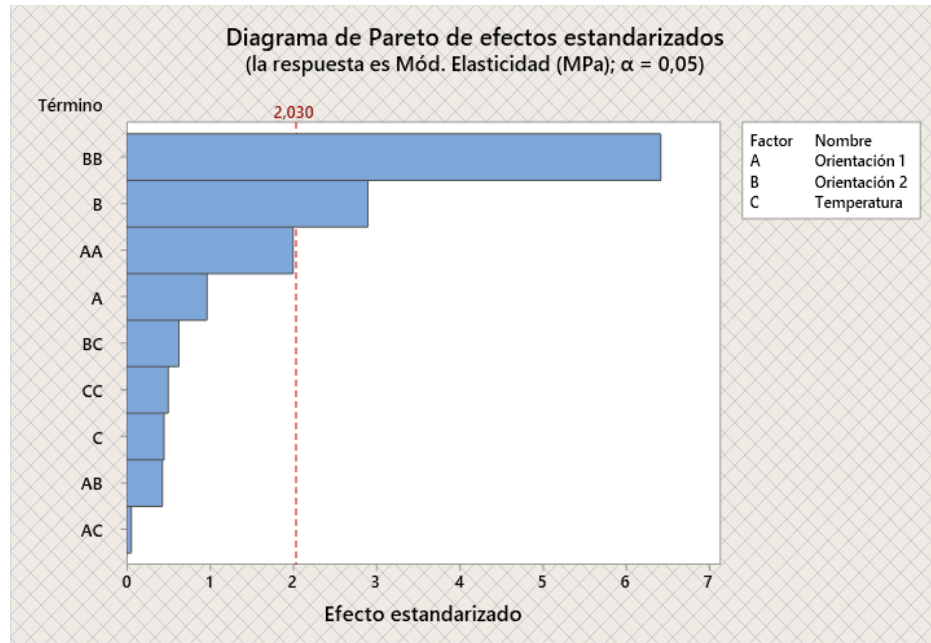


Figura 3.25 Independencia de residuos datos transformados - Modulo de elasticidad en flexión [Software Minitab].

La variabilidad existente en el diagrama de Pareto nos indica que los efectos con mayor influencia dentro de la propiedad se presentan en el modelo simple y cuadrático de lo cual nos permite interpretar que los factores con mayor significancia se presentan en las orientaciones 1 y 2 respectivamente.

Análisis de varianza

Los datos analizados de la propiedad mecánica, mediante el uso del diseño experimental, nos permite corroborar el análisis de la varianza, en donde se determina existencia o inexistencia de las diferencias significativas del tratamiento. El modelo presenta un valor $-p$ de 0,000, lo cual nos indica la existencia de diferencias significativas.

Tabla 3.74 Análisis de Varianza - Modulo de elasticidad en flexión.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,015328	0,001703	6,08	0,000
Lineal	3	0,002668	0,000889	3,17	0,036
Orientación 1	1	0,000262	0,000262	0,93	0,340
Orientación 2	1	0,002349	0,002349	8,38	0,006
Temperatura	1	0,000057	0,000057	0,20	0,654
Cuadrado	3	0,012497	0,004166	14,87	0,000
Orientación 1*Orientación 1	1	0,001122	0,001122	4,00	0,053
Orientación 2*Orientación 2	1	0,011514	0,011514	41,10	0,000
Temperatura*Temperatura	1	0,000070	0,000070	0,25	0,621
Interacción de 2 factores	3	0,000163	0,000054	0,19	0,900
Orientación 1*Orientación 2	1	0,000052	0,000052	0,19	0,669
Orientación 1*Temperatura	1	0,000001	0,000001	0,00	0,953
Orientación 2*Temperatura	1	0,000110	0,000110	0,39	0,535
Error	35	0,009806	0,000280		
Falta de ajuste	3	0,003730	0,001243	6,55	0,001
Error puro	32	0,006076	0,000190		
Total	44	0,025134			

Coefficiente de determinación

El análisis elaborado presenta un ajuste del coeficiente de determinación, del 60,99% el cual indica que los datos son realmente deseables para el proceso de optimización de la propiedad mecánica.

Tabla 3.75 Coeficiente de determinación - Modulo de Elasticidad en Flexión.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R_a^2)
60,99%	50,95%

Como consecuente a ello se presenta las gráficas de efectos principales y de interacción de factores con sus respectivos valores en las medias ajustadas en la propiedad, se toma en cuenta que la figura de efectos principales entre más prolongada sea la pendiente mayor será la incidencia del factor en la propiedad. La grafica de interacción de variables presenta la evaluación de los efectos acorde a los factores de entrada.

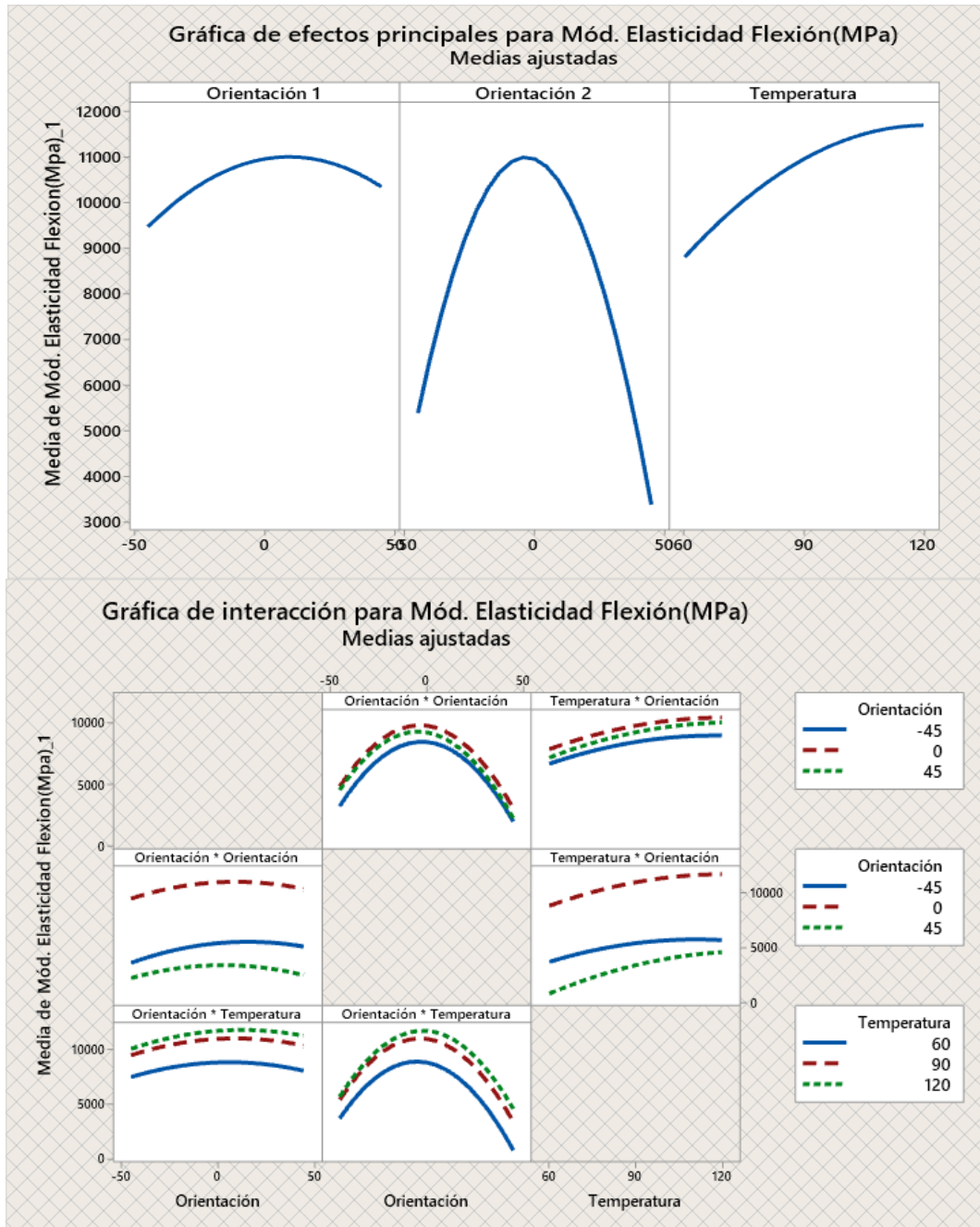


Figura 3.26 Efectos principales e interacción de variables - Modulo de Elasticidad en flexión [Software Minitab].

El modelo indica el diseño de superficie en base a la ecuación de regresión obtenida en el análisis de la varianza esto acorde a la distribución de la media ajustada entre las diferentes interacciones de los factores en la propiedad mecánica.

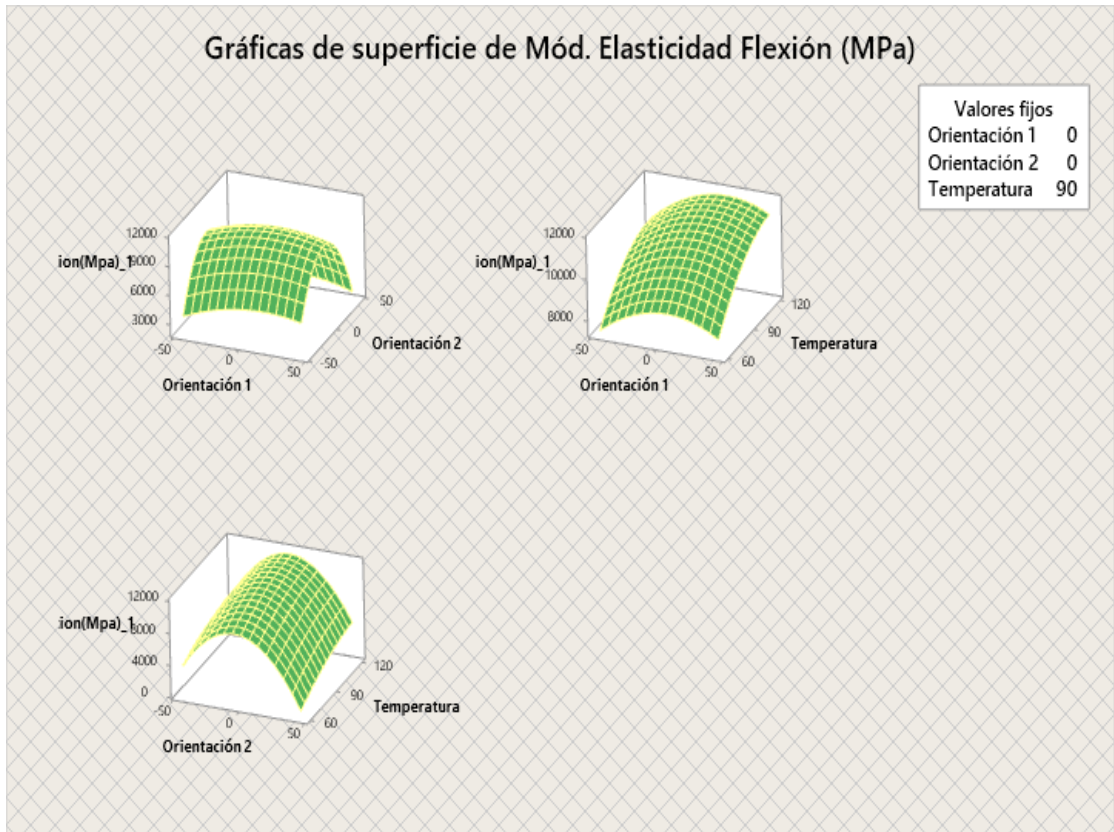


Figura 3.27 Efectos principales e interacción de variables - Modulo de Elasticidad en flexión [Software Minitab].

Optimización – Módulo de elasticidad en flexión.

Acorde al objetivo de investigación, se llega a la optimización de la propiedad mecánica, del cual nos permite obtener la mejor caracterización del material con los datos del ensayo mecánico, de esta manera se presentan la predicción de los valores referente a los factores de entrada como es la orientación 1, orientación 2, temperatura de curado, y la propiedad optimizada respectivamente.

Tabla 3.76 Optimización de respuesta - Modulo de elasticidad en Flexión.

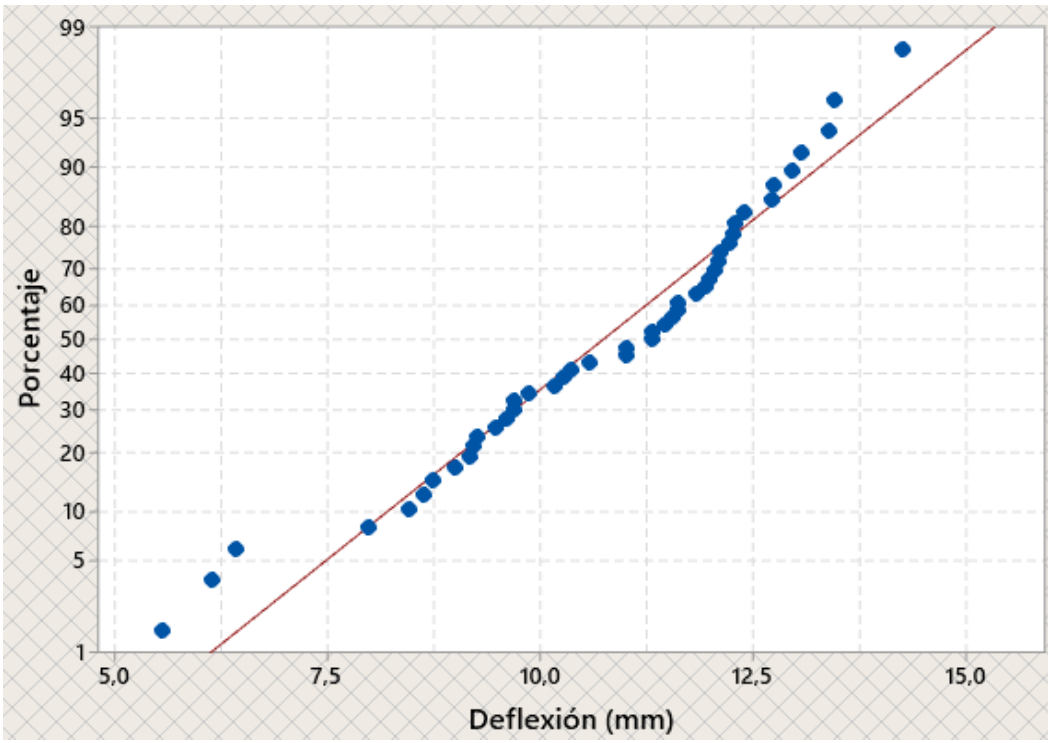
Variable	Valor de configuración
Orientación 1	13,18
Orientación 2	-2,27
Temperatura	120
Respuesta	Ajuste
Flexión – Módulo de Elasticidad (MPa)	11805

Verificación de supuestos – Deflexión

Prueba de normalidad

La verificación de los datos de la propiedad mecánica deflexión, son analizados mediante los modelos cuadráticos del software de esta manera mediante el uso de la prueba utilizada se verifica que la significancia obtenida en el análisis es de 0,056, el cual nos indica el cumplimiento de la prueba paramétrica de normalidad, en la tabla 3.78 se detalla la significancia calcula por medio de la prueba paramétrica utilizada.

Tabla 3.77 Supuesto de normalidad – Deflexión.

Hipótesis		Ho: En la propiedad mecánica de deflexión posee distribución normal en sus datos.		
		Ha: En la propiedad mecánica de deflexión no posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	de	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45
				
Prueba estadística: Anderson Darling =		Valor - p	0,075	
0,670				
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.			
Conclusión	Existe normalidad en los datos analizados por ende el análisis nos indica un valor -p de 0,075 mayor al valor de significancia de 0,05.			

Prueba igualdad de varianza

La prueba para la verificación de los datos en Módulo de Elasticidad en tracción se da por medio de Levene. Los valores presentes en la tabla 3.79, indican el valor de la prueba y el valor de p, tal prueba cumple con el supuesto paramétrico por la diferencia de sus valores.

Tabla 3.78 Supuesto igualdad de varianza - Deflexión.

Hipótesis	Ho: En el Módulo de Elasticidad en tracción posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: En el Módulo de Elasticidad en tracción no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45
Prueba estadística: Levene = 0,68		Valor - p	0,758
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos de la propiedad mecánica de deflexión.		

En la propiedad analizada existe igualdad de varianza, por medio de la prueba paramétrica utilizada se obtiene el valor de significancia de 0.758, siendo así mayor al valor de significancia dada de 0,05.

Independencia de residuos

En la figura 3.26, se presenta los residuos vs el orden de observación de la propiedad mecánica Deflexión, por lo cual se determina que el supuesto cumple debido a que los datos analizados no siguen un patrón definido con respecto a la línea del orden de observación.

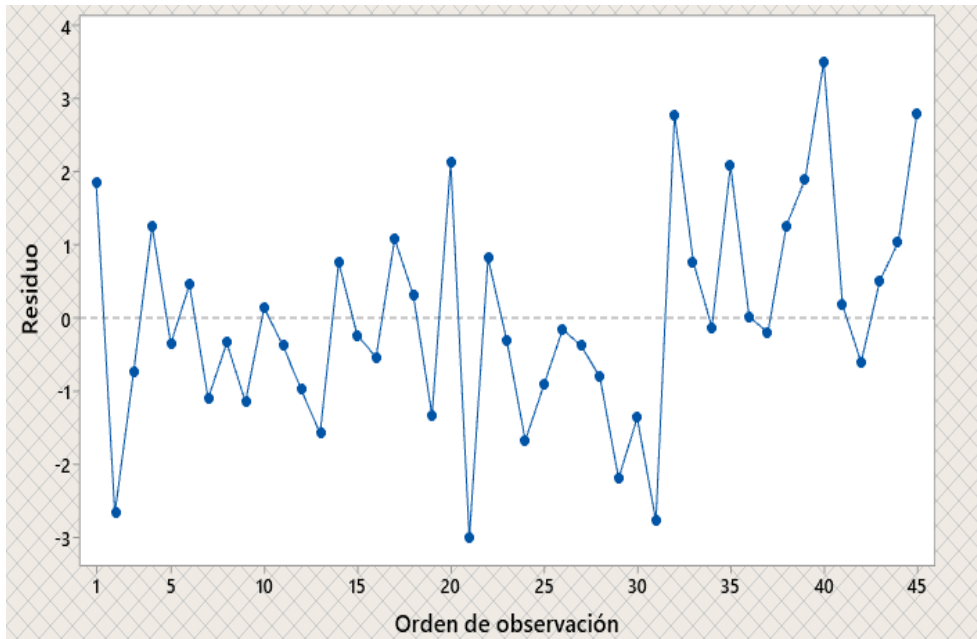


Figura 3.28 Supuesto Independencia de Residuos – Deflexión [Software Minitab].

Aplicación del diseño de experimentos – Deflexión

El análisis elaborado de la propiedad mecánica se da en base a modelos cuadráticos existentes dentro del software el cual nos permite analizar los efectos que tienen mayor influencia en la variable de respuesta el nivel de los factores de entrada a ser alcanzados como óptimos dentro de la propiedad mecánica. Los efectos con mayor interés se presentan al superar el valor de 2.03, referente a la línea de tendencia en el diagrama de Pareto.

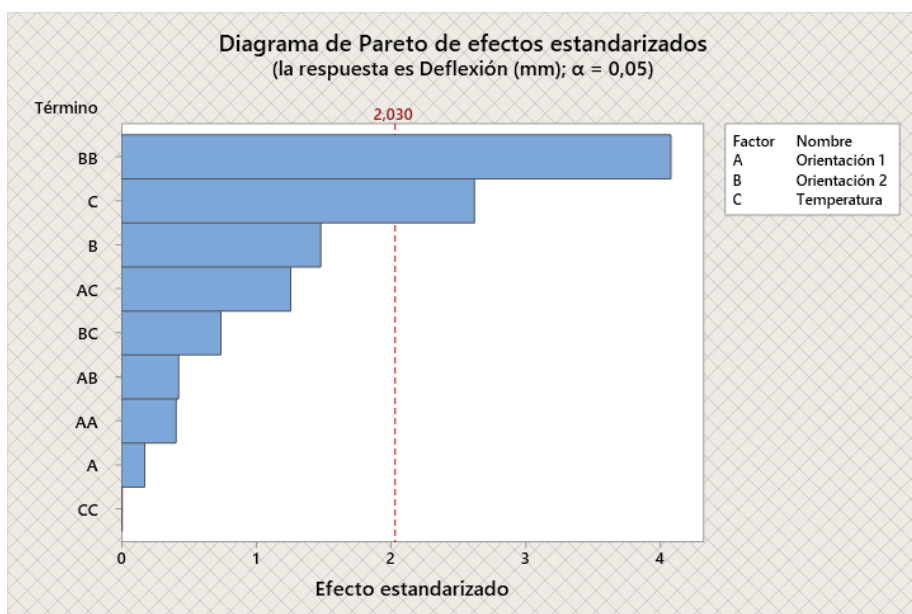


Figura 3.29 Diagrama de Pareto – Deflexión [Software Minitab].

La variabilidad existente en el diagrama de Pareto nos indica que los efectos con mayor influencia dentro de la propiedad se presentan en el modelo simple y cuadrático de lo cual nos permite interpretar que los factores con mayor significancia se presentan en la orientación 2 y temperatura de curado respectivamente.

Análisis de varianza

Los datos analizados de la propiedad mecánica, mediante el uso del diseño experimental, nos permite corroborar el análisis de la varianza, en donde se determina existencia o inexistencia de las diferencias significativas del tratamiento. El modelo presenta un valor – p de 0,007, lo cual nos indica la existencia de diferencias significativas.

Tabla 3.79 Análisis de varianza - Deflexión

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	77,120	8,5689	3,12	0,007
Lineal	3	24,909	8,3030	3,03	0,042
Orientación 1	1	0,084	0,0840	0,03	0,862
Orientación 2	1	6,010	6,0100	2,19	0,148
Temperatura	1	18,815	18,8151	6,86	0,013
Cuadrado	3	45,881	15,2935	5,57	0,003
Orientación 1*Orientación 1	1	0,455	0,4555	0,17	0,686
Orientación 2*Orientación 2	1	45,584	45,5845	16,61	0,000
Temperatura*Temperatura	1	0,000	0,0001	0,00	0,994
Interacción de 2 factores	3	6,330	2,1101	0,77	0,519
Orientación 1*Orientación 2	1	0,500	0,5002	0,18	0,672
Orientación 1*Temperatura	1	4,332	4,3320	1,58	0,217
Orientación 2*Temperatura	1	1,498	1,4981	0,55	0,465
Error	35	96,045	2,7442		
Falta de ajuste	3	13,761	4,5870	1,78	0,170
Error puro	32	82,284	2,5714		
Total	44	173,165			

Coefficiente de determinación

El análisis elaborado presenta un ajuste del coeficiente de determinación, del 44,54% el cual indica que los datos son realmente deseables para el proceso de optimización de la propiedad mecánica. Con referencia a los efectos presentados en el análisis de varianza y el diagrama de Pareto se emerge a la obtención de las gráficas de interacción de variable y efectos principales.

Tabla 3.80 Coeficiente de determinación - Deflexión.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R_a^2)
44,54%	30,27%

Como consecuente a ello se presenta las gráficas de efectos principales y de interacción de factores con sus respectivos valores en las medias ajustadas en la propiedad, se toma en cuenta que la figura de efectos principales entre más prolongada sea la pendiente mayor será la incidencia del factor en la propiedad. El análisis por medio de la gráfica de interacciones, indica que los efectos principales muestran el límite alcanzar en la propiedad mecánica siendo este de menos incidencia dentro de la propiedad mecánica como es la temperatura a los 60 grados Celsius.

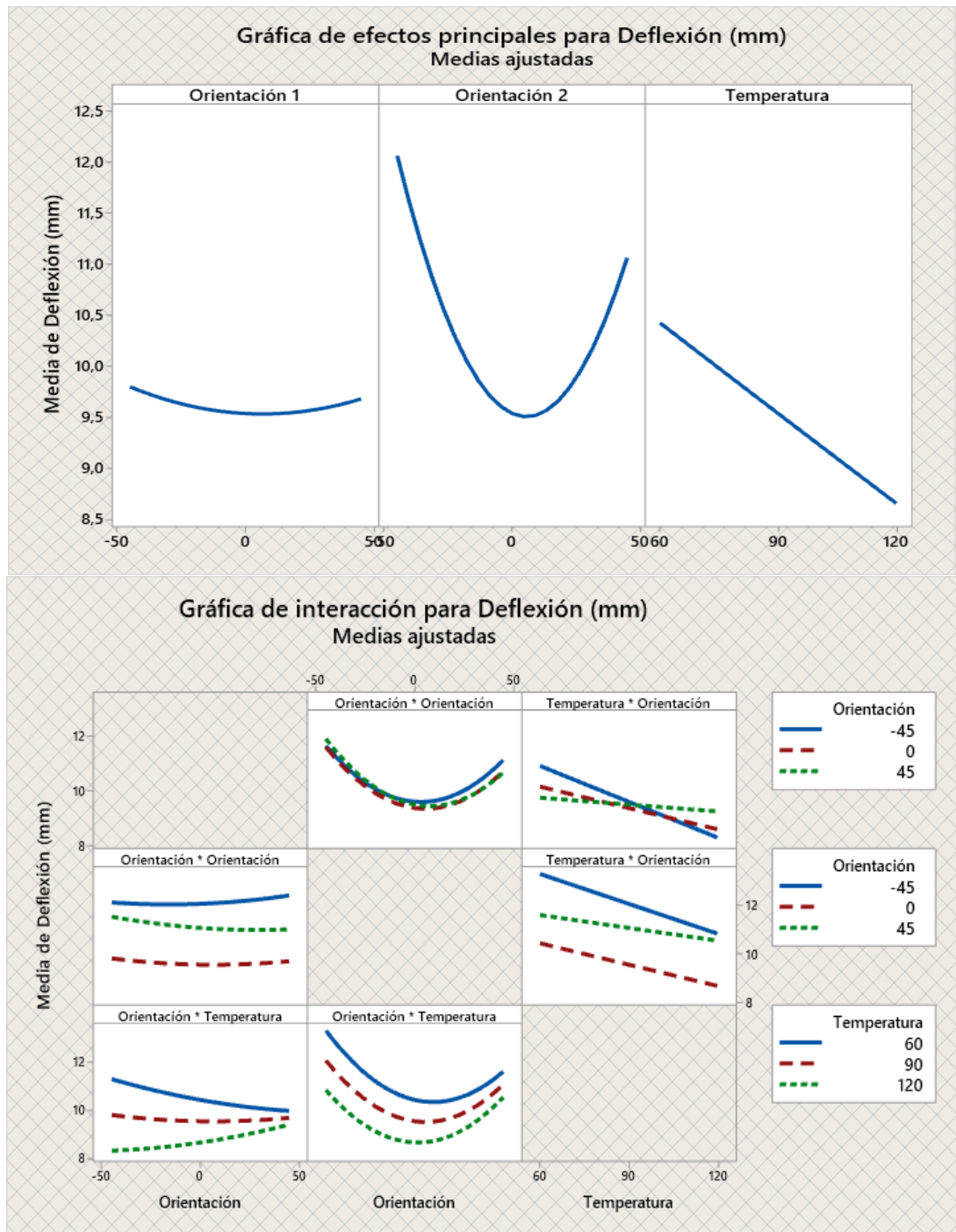


Figura 3.30 Efectos principales e interacción de variables – Deflexión [Software Minitab].

El modelo indica el diseño de superficie en base a la ecuación de regresión obtenida en el análisis de la varianza esto acorde a la distribución de la media ajustada entre las diferentes interacciones de los factores en la propiedad mecánica. El diseño considera los valores de mayor incidencia de los factores de entrada para dar el mejor resultado de la optimización de la propiedad mecánica analizada.

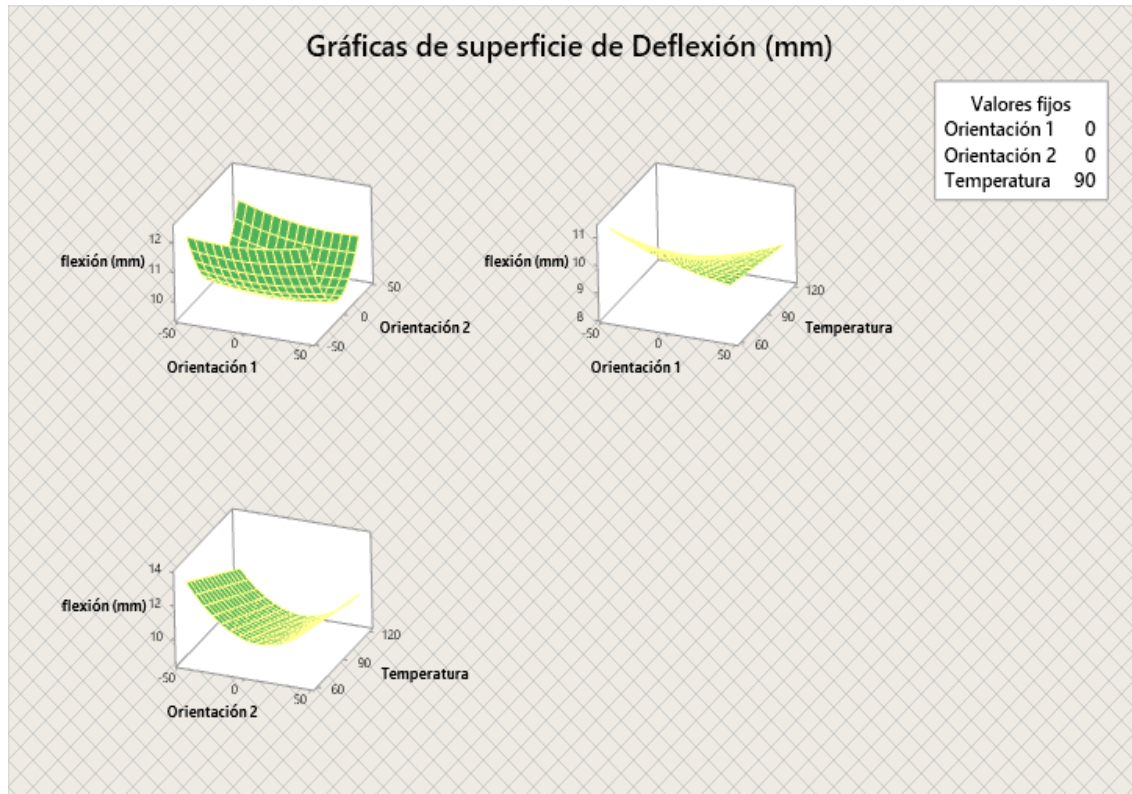


Figura 3.31 Diseño de Superficie – Deflexión [Software Minitab].

Optimización – Deflexión

Acorde al objetivo de investigación, se llega a la optimización de la propiedad mecánica, del cual nos permite obtener la mejor caracterización del material con los datos del ensayo mecánico, de esta manera se presentan la predicción de los valores referente a los factores de entrada como es la orientación 1, orientación 2, temperatura de curado, y la propiedad optimizada respectivamente.

Tabla 3.81 Optimización de respuesta – Deflexión.

Variable	Valor de configuración
Orientación 1	-45
Orientación 2	-0,45
Temperatura	120
Respuesta	Ajuste
Deflexión (mm)	8,31

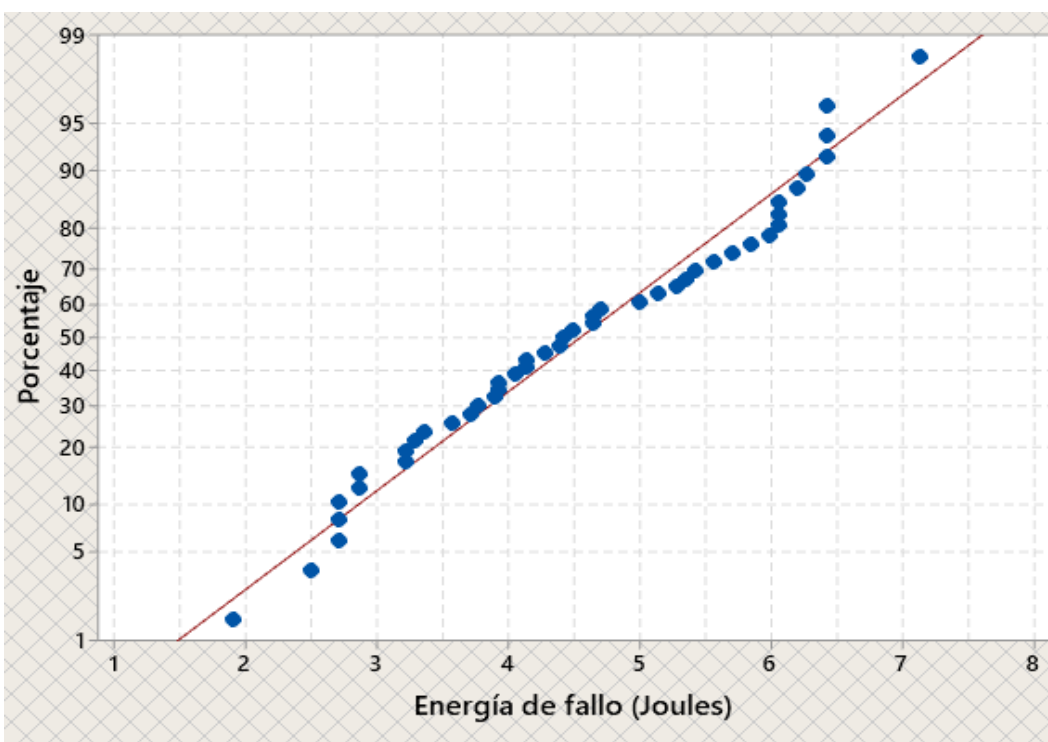
3.4. Verificación de supuestos – energía de fallo

Prueba de normalidad

La verificación de los datos de la propiedad mecánica, son analizados mediante los modelos del software de esta manera mediante el uso de la prueba utilizada se verifica

que la significancia obtenida en el análisis es de 0,056, el cual nos indica el cumplimiento de la prueba paramétrica de normalidad, en la tabla 3.83, se detalla la significancia calcula por medio de la prueba paramétrica utilizada.

Tabla 3.82 Supuesto de normalidad - Energía de Fallo.

Hipótesis		Ho: En la propiedad mecánica de energía de fallo posee distribución normal en sus datos.		
		Ha: En la propiedad mecánica de energía de fallo no posee distribución normal en sus datos.		
Nivel de significancia	de	$\alpha = 0,05$	<i>N° de datos</i>	45
				
Prueba estadística: Anderson Darling =		Valor - p	0,233	
0,472				
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.			
Conclusión	Existe normalidad en los datos analizados por ende el análisis nos indica un valor -p de 0,233 mayor al valor de significancia de 0,05.			

Prueba igualdad de varianza

La prueba para la verificación de los datos en energía de fallo se da por medio de Levene. El nivel de significancia es de 0.05, por lo cual los valores obtenidos en el análisis del supuesto paramétrico son de 0.20 con la prueba de Levene y de 0.99,

obtenido el valor de p, de esta manera el supuesto entra a detalle con las conclusiones expuestas en la tabla pertinente.

Tabla 3.83 Supuesto igualdad de varianza - Energía de fallo.

Hipótesis	Ho: La propiedad mecánica de energía de fallo posee igualdad de varianza en sus datos.		
	Ha: La propiedad mecánica de energía de fallo no posee igualdad de varianza en sus datos.		
Nivel de significancia	$\alpha = 0,05$	Nº de datos	45
Prueba estadística: Levene = 0,20	Valor - p	0,997	
Respuesta	Se acepta la hipótesis nula.		
Conclusión	Se concluye, la existencia de igualdad de varianza en los datos de la propiedad mecánica de la energía de fallo.		

Independencia de residuos

Acorde al análisis elaborado del supuesto paramétrico en los datos de la propiedad mecánica de energía de fallo, se presenta la gráfica de residuos vs el orden de observación, permite visualizar que no existe un patrón definido dentro de los datos por lo cual la propiedad cumple en la respectiva prueba paramétrica.

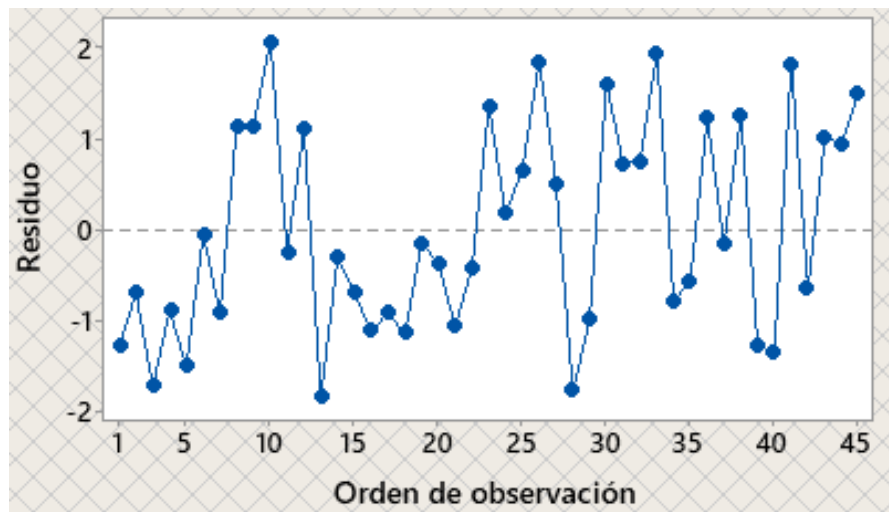


Figura 3.32 Independencia de residuos - Energía de fallo [Software Minitab].

Aplicación del diseño de experimentos – energía de fallo

El análisis elaborado de la propiedad mecánica se da en base a modelos cuadráticos existentes dentro del software el cual nos permite analizar los efectos que tienen mayor significancia en la variable de respuesta el nivel de los factores de entrada a ser alcanzados como óptimos dentro de la propiedad mecánica. El análisis se presenta el diagrama de Pareto, el cual permite observar los factores con mayor influencia dentro de la propiedad mecánica. Los efectos con mayor interés se presentan al superar el valor de 2.03, referente a la línea de tendencia en el diagrama.

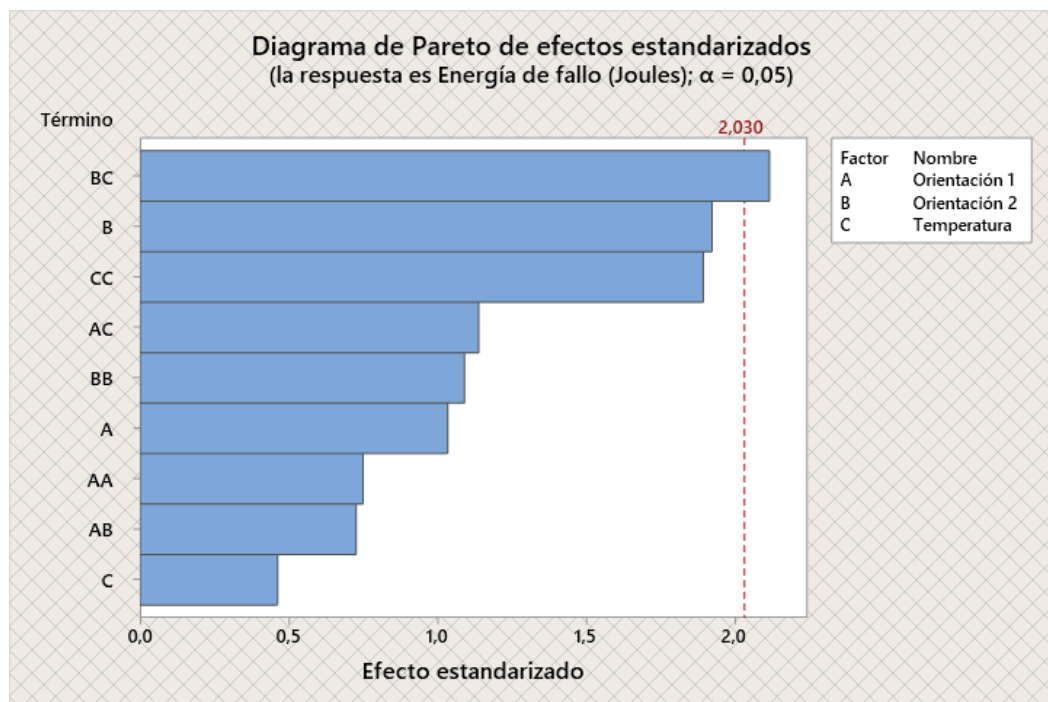


Figura 3.33 Independencia de residuos - Energía de fallo [Software Minitab].

La variabilidad existente en el diagrama de Pareto nos indica que los efectos con mayor influencia dentro de la propiedad se presentan en el modelo simple y cuadrático de lo cual nos permite interpretar que los factores con mayor significancia se presentan en el orden de interacciones como se presenta en orientación 2 y temperatura de curado respectivamente.

Análisis de varianza

Los datos analizados de la propiedad mecánica, mediante el uso del diseño experimental, nos permite corroborar el análisis de la varianza, en donde se determina existencia o inexistencia de las diferencias significativas del tratamiento. El modelo presenta un valor $-p$ de 0.043, lo cual nos indica la existencia de diferencias significativas.

Tabla 3.84 Análisis de varianza - Energía de fallo.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,034271	0,003808	1,85	0,043
Lineal	3	0,010219	0,003406	1,66	0,194
Orientación 1	1	0,002198	0,002198	1,07	0,308
Orientación 2	1	0,007581	0,007581	3,69	0,063
Temperatura	1	0,000439	0,000439	0,21	0,647
Cuadrado	3	0,011126	0,003709	1,80	0,164
Orientación 1*Orientación 1	1	0,001154	0,001154	0,56	0,459
Orientación 2*Orientación 2	1	0,002443	0,002443	1,19	0,283
Temperatura*Temperatura	1	0,007356	0,007356	3,58	0,067
Interacción de 2 factores	3	0,012926	0,004309	2,10	0,118
Orientación 1*Orientación 2	1	0,001083	0,001083	0,53	0,473
Orientación 1*Temperatura	1	0,002660	0,002660	1,29	0,263
Orientación 2*Temperatura	1	0,009183	0,009183	4,47	0,042
Error	35	0,071926	0,002055		
Falta de ajuste	3	0,010836	0,003612	1,89	0,151
Error puro	32	0,061090	0,001909		
Total	44	0,106196			

Coefficiente de determinación

El análisis elaborado presenta un ajuste del coeficiente de determinación, del 32,27% el cual indica que los datos son realmente deseables para el proceso de optimización de la propiedad mecánica. Con referencia a los efectos presentados en el análisis de varianza y el diagrama de Pareto se emerge a la obtención de las gráficas de interacción de variable y efectos principales.

Tabla 3.85 Coeficiente de determinación - Energía de Fallo.

Coeficiente de determinación (R^2)	Coeficiente de determinación ajustado (R_a^2)
32,27%	14,85%

Como consecuente a ello se presenta las gráficas de efectos principales y de interacción de factores con sus respectivos valores en las medias ajustadas en la propiedad, se toma

en cuenta que la figura de efectos principales entre más prolongada sea la pendiente mayor será la incidencia del factor en la propiedad. El análisis por medio de la gráfica de interacciones, nos indica la existencia de contribución de interacciones entre todos los factores de entrada, aportando de esta manera a obtener un valor óptimo en la optimización de respuesta.

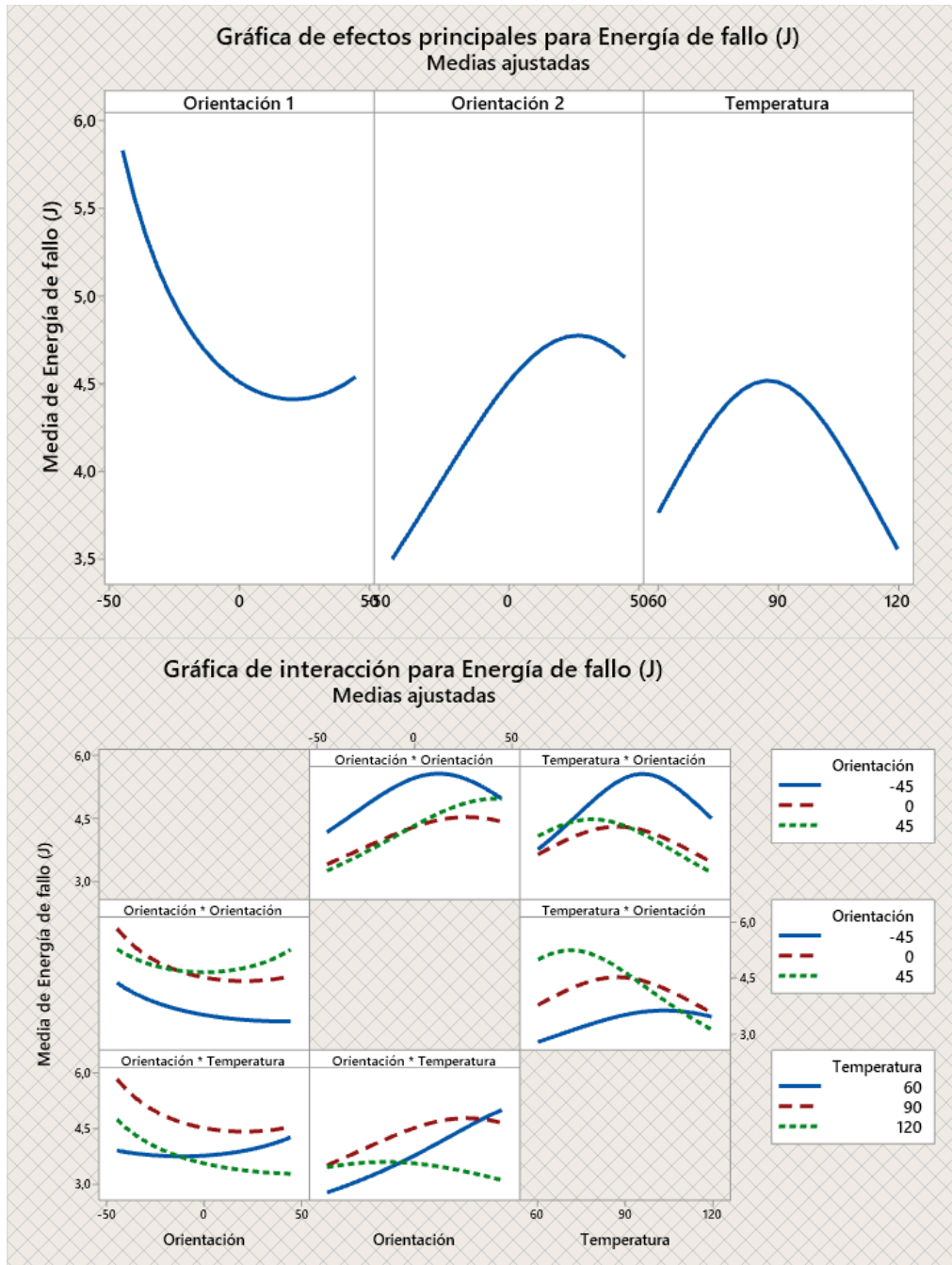


Figura 3.34 Efectos principales e interacción de variables - Energía de fallo [Software Minitab].

El modelo indica el diseño de superficie en base a la ecuación de regresión obtenida en el análisis de la varianza esto acorde a la distribución de la media ajustada entre las

diferentes interacciones de los factores en la propiedad mecánica. El diseño considera los valores de mayor incidencia de los factores de entrada para dar el mejor resultado de la optimización de la propiedad mecánica analizada.

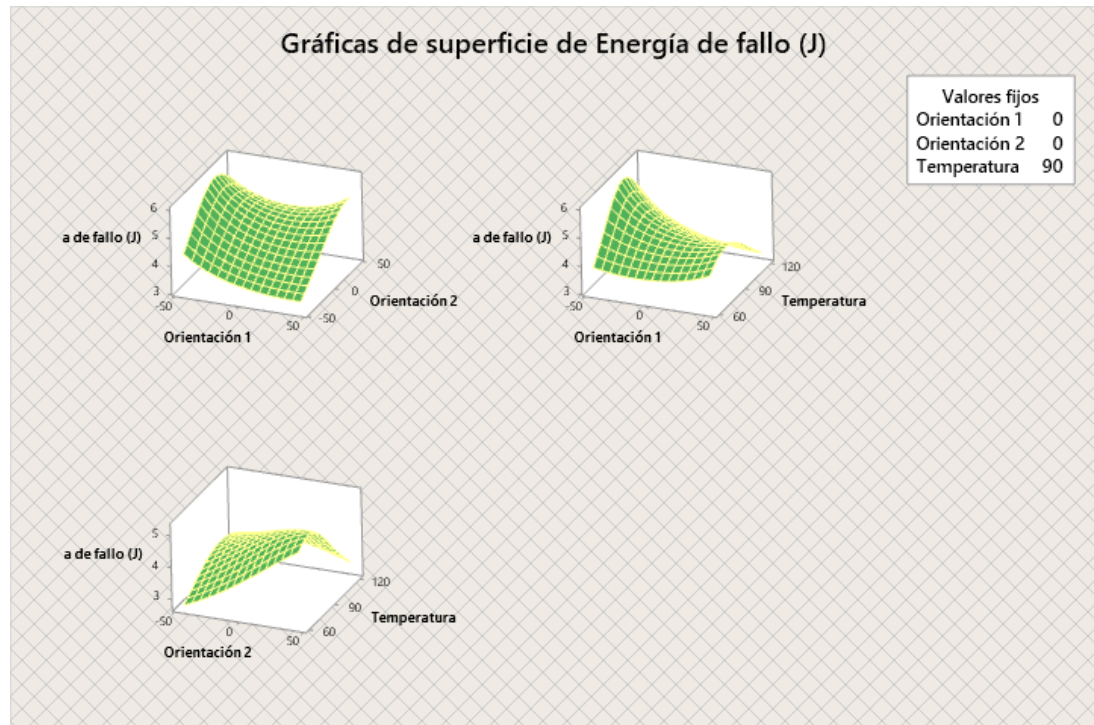


Figura 3.35 Superficie de respuesta- Energía de fallo [Software Minitab].

Optimización – Deflexión

Acorde al objetivo de investigación, se llega a la optimización de la propiedad mecánica, del cual nos permite obtener la mejor caracterización del material con los datos del ensayo mecánico, de esta manera se presentan la predicción de los valores referente a los factores de entrada como es la orientación 1, orientación 2, temperatura de curado, y la propiedad optimizada respectivamente.

Tabla 3.86 Optimización de respuesta - Energía de Fallo.

Variable	Valor de configuración
Orientación 1	45
Orientación 2	37,72
Temperatura	70,90
Respuesta	Ajuste
Energía de fallo (Joules)	7,14

3.5. Optimización múltiple de respuestas – Tracción – Flexión – Impacto

por medio del análisis global y optimización múltiple de las respectivas propiedades mecánicas, se tiene la deseabilidad global de los datos correspondiente obtenidos mediante los respectivos ensayos mecánicos, en tal forma se presenta el objetivo de estudio en el análisis de las respuestas obtenidas.

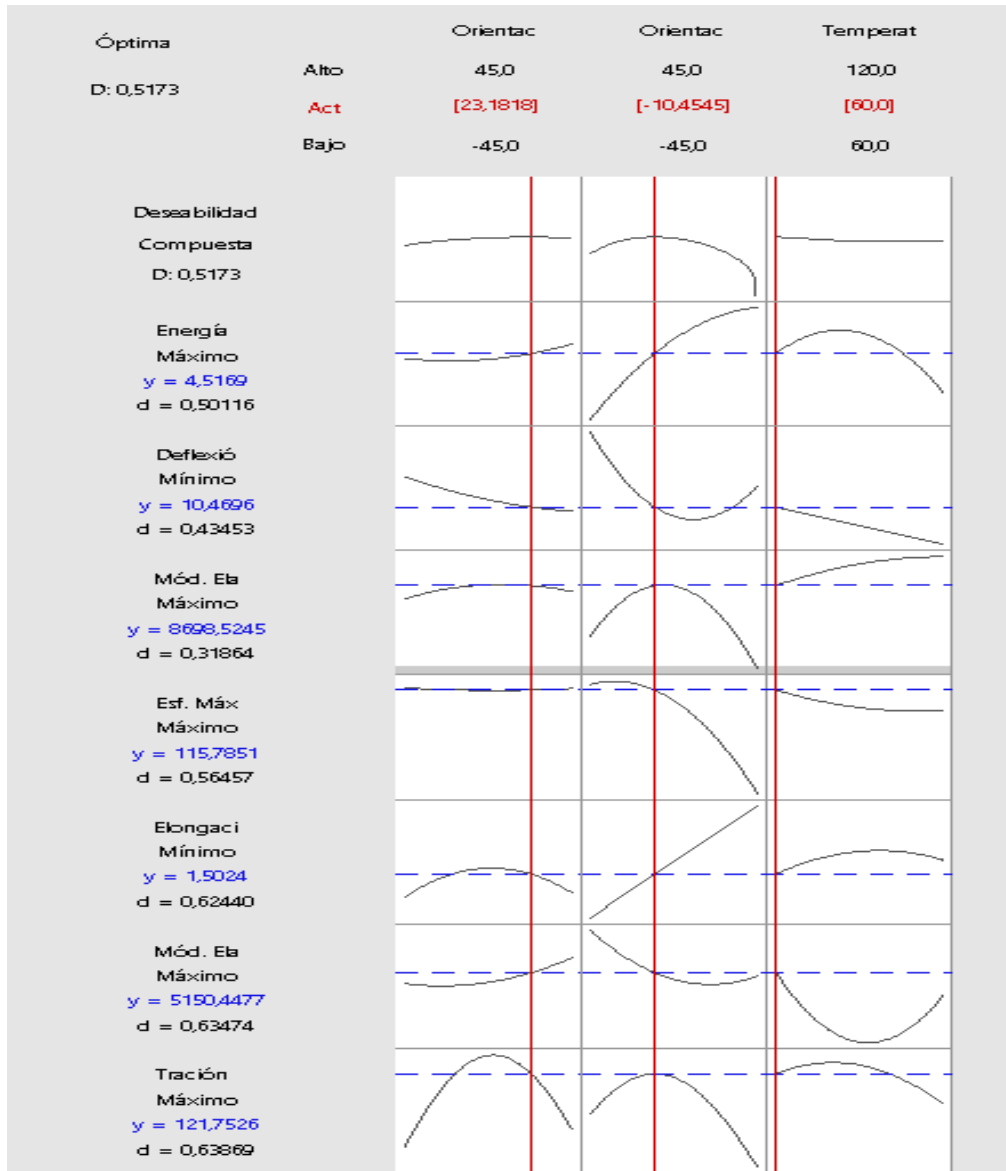


Figura 3.36 Optimización global de respuesta [Software Minitab].

La deseabilidad global obtenida en el análisis de las propiedades mecánicas es de 0,5173, el valor determina la deseabilidad de la configuración óptima de los factores de entrada, tales factores se presentan optimizados en la tabla 3.88.

Tabla 3.87 Optimización de respuesta múltiple.

Variable	Valor de configuración
Orientación 1	23,1818
Orientación 2	-10,4545
Temperatura	60
Respuesta	Ajuste
Energía de fallo (J)	4,517
Deflexión (mm)	10,470
Mód. Elasticidad Flexión (MPa)	8699
Esf. Máximo flexión (MPa)	115,8
Elongación (%)	1,502
Mód. Elasticidad (MPa)	5150
Tracción - Esfuerzo Máximo	121,8

3.6. Verificación de hipótesis

El análisis elaborado mediante el uso del software Minitab presenta un ajuste en el modelo del 97,36%, de esta manera permite la obtención del resultado global del análisis de la varianza, el cual nos permite determinar el resultado al cumplimiento de la hipótesis del marco del estudio del respectivo objetivo, como se demuestra en la tabla 3.89, siendo este el resultado de la optimización de la propiedad mecánica teniendo, valores significativos menores al 0.05, siendo primordial para la mejor toma de decisión en la varianza.

Ho: la aplicación del análisis estadístico DOE– MSR del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural (chambira) y sintética (vidrio) mediante infusión de resina al vacío no permitirá la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

H1: la aplicación del análisis estadístico DOE– MSR del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra natural (chambira) y sintética (vidrio) mediante infusión de resina al vacío permitirá la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

Tabla 3.88 Análisis de varianza global de las propiedades mecánicas.

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,476926	0,052992	128,43	0,000
Lineal	3	0,068151	0,022717	55,06	0,000
Orientación 1	1	0,004323	0,004323	10,48	0,003
Orientación 2	1	0,051608	0,051608	125,08	0,000
Temperatura	1	0,012221	0,012221	29,62	0,000
Cuadrado	3	0,366495	0,122165	296,08	0,000
Orientación 1*Orientación 1	1	0,001826	0,001826	4,43	0,043
Orientación 2*Orientación 2	1	0,359581	0,359581	871,49	0,000
Temperatura*Temperatura	1	0,001350	0,001350	3,27	0,039
Interacción de 2 factores	3	0,042280	0,014093	34,16	0,000
Orientación 1*Orientación 2	1	0,004580	0,004580	11,10	0,002
Orientación 1*Temperatura	1	0,001673	0,001673	4,05	0,042
Orientación 2*Temperatura	1	0,036027	0,036027	87,32	0,000
Error	35	0,014441	0,000413		
Falta de ajuste	3	0,014441	0,004814	*	*
Error puro	32	0,000000	0,000000		
Total	44	0,491368			

Al finalizar el análisis de la varianza del modelo global, podemos observar que en la tabla 3.89 nos arroja un valor p igual a 0.000, de manera que no aceptamos la hipótesis nula. Debido a la diferencia de significancia que se presenta en los parámetros analizados, nos da a entender que al haber realizado es estudio de este análisis mediante el método de superficies de respuesta DOE-MSR, permitió optimizar las propiedades mecánicas del material compuesto con resina epoxi, fibra natural (chambira) y fibra sintética (vidrio).

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Mediante el uso del software de análisis estadístico Minitab, utilizando el método de superficies de respuesta (MSR) y aplicando el diseño de Box Behnken, el cual involucra directamente 3 factores como son las orientaciones del tejido que están entre (-45,0,45) grados respectivamente, y la temperatura de curado para 60°C, 90°C y 120°C, arrojando un total de 3 réplicas por cada corrida, en este caso se realizaron 15 corridas, dándonos un valor final de 45 corridas para el diseño.
- Mediante el método de infusión de resina al vacío se consiguió obtener el respectivo conformado del material compuesto, logrando sacar el exceso de resina que se adhiere a otros materiales que interactúan en el proceso como es el caso de la manta de absorción (Breather) y el Pell Ply recíprocamente este proceso ayudo a que se dé una mejor cohesión entre los refuerzos de fibra de vidrio y chambira que interactúan en el proceso.
- Por medio de la respectiva normativa utilizada para los ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto de acuerdo a las normas ASTM D3039/D3039M-17, ASTM D7264/D7264M-21 y ASTM D5628-18, en la figura 4 (códigos de falla de prueba de tracción/modos típicos), figura 6 (código de identificación de falla de tres partes de la prueba de flexión) y en el ítem 14.1.10 (tipos de fallas de muestras para impacto) correspondientemente, ayudó a identificar el tipo de fallo presentes en las 135 probetas ensayadas.
- La optimización se logró realizar gracias al software Minitab, obteniendo una deseabilidad global de 0.5173 y en la optimización de respuesta del material compuesto nos da como resultado un esfuerzo máximo de tracción igual a 121,8 MPa, esfuerzo máximo de flexión es de 115,8 MPa, Modulo de elasticidad en tracción es de 5150 MPa, Modulo de elasticidad en flexión es de 8699 MPa, la energía media de fallo es de 4,517 J y con una deflexión de 10,470 mm.
- Se pudo concluir que mediante el uso de la ecuación 2.1, logramos obtener la cantidad de resina necesaria en base al peso de los refuerzos utilizados, de esta

forma aseguramos que exista una distribución uniforme y también disminuya el tiempo que tarda en completarse el proceso que normalmente se demora 6 horas por cada 3 probetas, y dejándola secar hasta el siguiente día para poder desmoldarla.

4.2. Recomendaciones

- Se recomienda realizar una investigación detallada acerca del conformado de materiales mediante infusión de resina al vacío previa antes de proceder a realizar este procedimiento, además hay que considerar ciertas partes como el pegado entre la cinta de butilo y la bolsa de vacío, es esta parte se debe sellar bien para que no existan fugas de aire y exista una mejor cohesión entre los materiales y la resina se distribuya en toda el área de manera uniforme.
- Realizar la respectiva codificación del material e irlo escribiendo en cada una de las probetas para evitarse la confusión al momento de realizar los ensayos mecánicos y obtener datos erróneos que no correspondan al caso de estudio analizado.
- Al momento de poner las muestras en el horno se debe tener en cuenta que el tiempo de curado no exceda las 2 horas ya que estas pueden quemarse y al momento de ensayarlas no arrojarlos los resultados deseados, además debemos colocar una plancha de acero debajo y encima de las muestras para que estas mantengan una forma plana y no se pandeen, ya que esto ayudara mucho al cortar el material.
- Se recomienda indagar acerca de la utilización del software Minitab, así como también familiarizarse con la metodología del análisis del diseño de superficies de respuesta, para proceder con el objetivo de esta investigación, la cual consiste en la optimización de las propiedades mecánicas como son tracción, flexión e impacto del material compuesto.
- Se debe realizar el pedido de los materiales a utilizar con un tiempo de anticipación porque se demoran en llegar debido a que algunos de estos se los traen de otro país.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. A. R. W. J. Moraa, “Biocompuesto de fibra natural de palma cumare (*Astrocaryum chambira*) y resina bioepoxy , aplicaciones industriales Cumare palm natural fiber biocomposite (*Astrocaryum chambira*) and bioepoxy resin , industrial applications,” *Rev. Asoc. Española Mater. Compuestos*, vol. 1, pp. 1–7, 2017, [Online]. Available: <https://revista.aemac.org/materiales-compuestos>.
- [2] Ing. Aeronáutico Ángel Renato Pozo Morales, “MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRAS NATURALES,” Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2019.
- [3] HÉCTOR GUILLERMO VILLACÍS SALAZAR, “OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS HÍBRIDOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN ,” PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO , Jul. 2011. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4036/1/CD-3802.pdf> (accessed Nov. 23, 2022).
- [4] UNIVERSIDAD YACHAY TECH, “Materiales – Yachay Tech,” CARRERA DE MATERIALES. <https://www.yachaytech.edu.ec/academia-carrera/materiales/> (accessed Nov. 23, 2022).
- [5] Dra. Sandra M. Mendoza, “Materiales avanzados y Nanotecnología,” 2019. [https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/12194/mod_resource/content/0/Unidad 5 - materiales compuestos - 2019.pdf](https://frrq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/12194/mod_resource/content/0/Unidad%205%20-%20materiales%20compuestos%20-%202019.pdf) (accessed Mar. 08, 2022).
- [6] Lázaro Pino Rivero, “(PDF) Materiales Compuestos,” Mar. 2011. https://www.researchgate.net/publication/259293115_Materiales_Compuestos (accessed Mar. 08, 2022).
- [7] Ing. Cristian Bottero, Ing. Gastón Bonet, and Ing. Marco Fontana, “Estructuras de Materiales Compuestos,” Departamento de Aeronautica. [http://aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Clase 1 - Introduccion.pdf](http://aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Clase%201%20-%20Introduccion.pdf) (accessed Mar. 08, 2022).

- [8] Daxiel Ramírez Rosas, “(PDF) Estudio preliminar de un material compuesto de matriz termoplástica con adición particulada en caracterización,” Tesis de diploma en opción al título de: Ingeniero en Metalurgia y Materiales , 2015. https://www.researchgate.net/publication/308168006_Estudio_preliminar_de_un_material_compuesto_de_matriz_termoplastica_con_adicion_particulada_en_caracterizacion (accessed Mar. 08, 2022).
- [9] Joel Frax, “MATERIALES- DISEÑO MECÁNICA.” <http://joelfrax.com/materiales/materiales.html> (accessed Mar. 08, 2022).
- [10] Cabrera Raul F., “Capitulo 4. materiales compuestos,” Sep. 13, 2011. <https://es.slideshare.net/raecabrera/capitulo-4-materiales-compuestos-9247042> (accessed Mar. 08, 2022).
- [11] AIMPLAS, “Tipos de materiales compuestos,” Nov. 2019. <https://www.aimplas.es/blog/tipos-de-materiales-compuestos/> (accessed Mar. 08, 2022).
- [12] Sergio Alejandro Morales Ortuño, “Fibra de vidrio, pruebas y aplicaciones,” ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA , 2008. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/4698/129.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed Nov. 23, 2022).
- [13] G. W. MCs. Lebrão, “Fibra De Carbono, presente y futuro de un material revolucionario,” Igarss 2014, no. 1, pp. 1–5, 2014, doi: 10.1007/s13398-014-0173-7.2.
- [14] David Bueno Sáenz and Daniel Bravo Murillo, “(PDF) Ciencia de los materiales LA FIBRA DE CARBONO | Jhon Antony De Copas - Academia.edu,” Grado en Ingeniería mecánica. https://www.academia.edu/8081948/Ciencia_de_los_materiales_LA_FIBRA_DE_CARBONO (accessed Nov. 24, 2022).
- [15] chulavistadigital, “Fibras artificiales y fibras sintéticas | Indumentariaymoda.com en Latinoamérica,” 2008. <https://diseniodeindumentaria2.wordpress.com/2008/04/29/fibras-artificiales->

y-fibras-sinteticas/ (accessed Nov. 24, 2022).

- [16] M. Olivares Santiago and C. Galán Marín, “LOS COMPOSITOS: CARACTERÍSTICAS y APLICACIONES EN LA EDIFICACIÓN,” Dpto. Construcciones Arquitectónicas 1. Escuela T. Superior de Arquitectura de la Universidad de Sevilla. <https://core.ac.uk/download/pdf/237016278.pdf> (accessed Nov. 24, 2022).
- [17] Héctor Sarrión Sos, “Propiedades y aplicaciones de los polímeros sintéticos en la construcción,” UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA Escuela Técnica Superior de Arquitectura, 2017. https://m.riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/116197/memoria_21013004.pdf?sequence=1&isAllowed=y (accessed Nov. 24, 2022).
- [18] JUAN CARLOS PÁEZ MOSCOSO, “OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIPROPILENO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN ,” Jun. 2007. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/352/1/CD-0762.pdf> (accessed Dec. 21, 2022).
- [19] C. M. Copara Llumiquinga, “Proyecto de Investigación previo a la obtención del Título de Ingeniera en Procesos y Diseño de Modas,” “Aprovechamiento de las fibras de alpaca y oveja para accesorios de moda para mujeres de 20 a 35 años, 2017. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/26915/1/Proyecto_Capora_Llumiquinga_Clelia_Marisol.pdf (accessed Dec. 22, 2022).
- [20] Franco Stupenengo, Ministerio de Educación., Instituto Nacional de Educación Tecnológica., Saavedra 789. C1229ACE., Ciudad Autónoma de Buenos Aires., and República Argentina., “Materiales y materias primas,” Capítulo 10- Materiales compuestos, 2011. <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf> (accessed Dec. 22, 2022).
- [21] Pablo Andrés Bravo Carrasco, “Elaboración de un material compuesto y caracterización de sus propiedades mecánicas, para la posible fabricación de auto partes,” Instituto Politécnico Nacional -Tesis para la obtención del grado de Ingeniero en Sistemas Automotrices, 2015.

- [https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18586/Tesis_Pablo A. Bravo Carrasco.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/18586/Tesis_Pablo_A_Bravo_Carrasco.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (accessed Dec. 22, 2022).
- [22] Maria del Carmen Manchego, “Tipos de Resinas y Sus Aplicaciones | PDF | Aislamiento térmico | Resistor,” Nov. 10, 2010. <https://es.scribd.com/doc/41793278/Tipos-de-Resinas-y-Sus-Aplicaciones> (accessed Mar. 09, 2022).
- [23] TAMAYO AGUILAR ALEX IVAN, “PREPARACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADOS CON NANOTUBOS DE TITANATO Y SU CARACTERIZACIÓN MECÁNICA Y TÉRMICA,” ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL-TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO, Apr. 2020. https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20856/1/CD_10377.pdf (accessed Mar. 09, 2022).
- [24] R. Solís, M. Salazar, P. González, R. Ochoa, and M. Javier, “La Manufactura Aditiva y los Materiales Compuestos en el Diseño de Prótesis Transtibiales de Uso Deportivo,” Accessed: Dec. 23, 2022. [Online]. Available: [http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/6344/Rosel RECIT Volumen_1_1_27_43.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://cathi.uacj.mx/bitstream/handle/20.500.11961/6344/Rosel_RECIT_Volumen_1_1_27_43.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- [25] UNIVERSIDAD DE MALAGA, “CONFORMADO DE MATERIALES COMPUESTOS Introducción,” 2018, Accessed: Dec. 22, 2022. [Online]. Available: <https://xdoc.mx/documents/conformado-de-materiales-compuestos-5d7fedd95f62e#>.
- [26] Mikell Groover, Fundamentos de la Manufactura Modern. .
- [27] A. M. Carranco Herrera, “Diseño E Implementación De Un Proceso Automatizado Para Curado De Materiales Compuestos,” Rev. Ciencias Segur. y Def., vol. 6, no. 4, p. 19, 2021, doi: 10.24133/rcsd.vol06.n04.2021.04.
- [28] Javier Arruti R. jarruti@uc.edu.ve, “La técnica de bolsa de vacío en cámara de vacío para la fabricación de materiales compuestos de matriz epoxi.,” Rev. Ing. UC. - Cent. Investig. en Mater. Fac. Ing. Univ. Carabobo, Venez., vol. 23, pp.

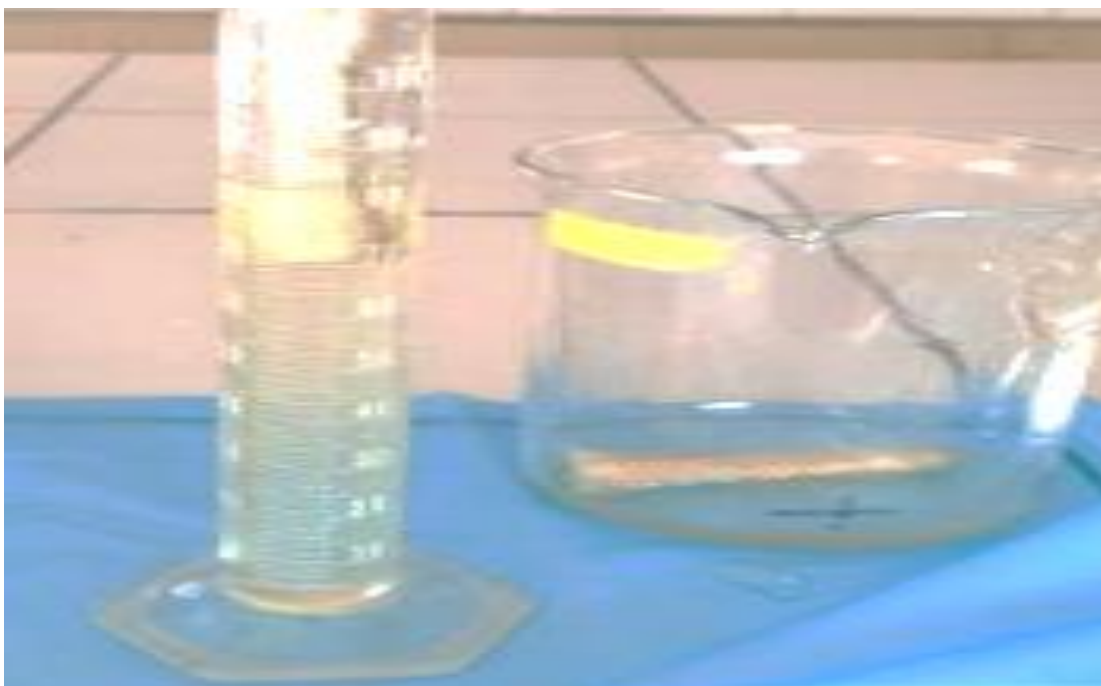
- 22–29, 2015, Accessed: Dec. 23, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/707/70745478004/html/>.
- [29] M. V. GARZÓN PAZMIÑO and F. X. VACA SIERRA, “Departamento de ciencias de la energía y mecánica,” ESPE-UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS, 2019.
- [30] Humberto Gutiérrez Pulido, *Análisis y diseño de experimentos*, Segunda. .
- [31] P. M. Tanco Rainusso, *Metodología para la aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) en la industria*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Navarra, 2008.
- [32] INEC, “PRUEBAS DE SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA EN ENCUESTAS DE HOGARES,” 2019, Accessed: Dec. 23, 2022. [Online]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Multiproposito/201812_Pruebas_de_significancia_estadistica_hogares_Multiproposito.pdf.
- [33] B. R. S. Chuquiana, “Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Maestría En Mecánica,” 2018.
- [34] J. C. L. Milla, “Caracterizacion de un material compuesto de fibra de coco y matriz.pdf,” *Sci. Res.*, vol. 3, no. 2528–8083, pp. 7–11, 2018.
- [35] AEROPOXI, “PR2032 Bulletin w-4 Hardeners,” PR2032 Laminating Resin Compos. Parts, 2008, Accessed: Dec. 27, 2022. [Online]. Available: www.aeropoxy.com.

ANEXOS

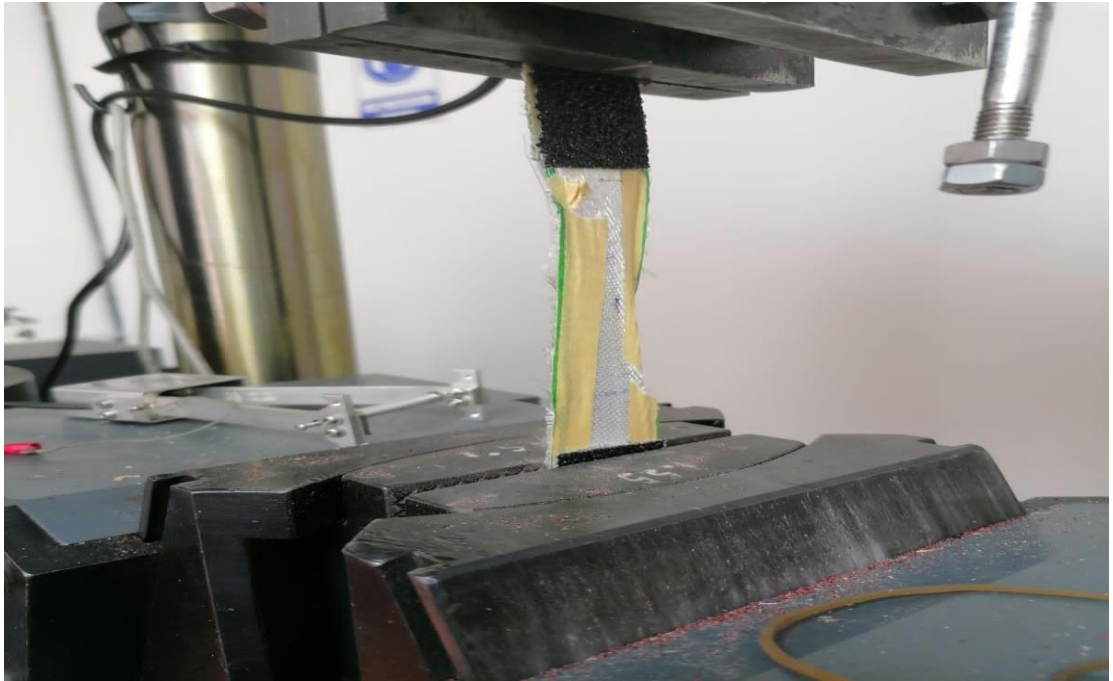
ANEXO 1



ANEXO 2



ANEXO 3



ANEXO 4



ANEXO 5



★ ★ ★

NEW HARDENER

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts

★

DESCRIPTION

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

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

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

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

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

PRODUCT SPECIFICATIONS

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

HANDLING and CURING

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

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

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 ⁽¹⁾	45,350 psi	9828 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % ⁽¹⁾	1.91 %	1.90 %	1.96 %	0.91 %	1.31 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile modulus, psi ⁽¹⁾	2,800,000 psi	418,525 psi	2,620,000 psi	8,170,000 psi	3,770,000 psi	2,647,520 psi	2,520,000 psi	D638
Flexural Strength, psi ⁽¹⁾	68,167 psi	16,827 psi	62,285 psi	96,541 psi	34,524 psi	65,461 psi	66,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi ⁽¹⁾	2,770,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,500,000 psi	2,639,766 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., T _g	194°F	196°F				194°F	194°F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.3 x 10 ⁻⁶ in./in./°F				4.14 x 10 ⁻⁶ in./in./°F	4.15 x 10 ⁻⁶ in./in./°F	D696

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

PACKAGING WEIGHTS



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

SAFETY and HANDLING

PTM&WAEROPOXY epoxy products are made from raw materials carefully chosen to minimize or even eliminate toxic chemicals, and therefore offer the user high performance products with minimum hazard potential when properly used. Generally, the PTM&WAEROPOXY 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, faceshield 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 areas uncluttered and clean as possible, and clean up any minor spills immediately to prevent accidental skin contact at a later time. Keep tools clean and properly stored. Dispose of trash and empty containers properly. Do not use any of these types of products until Material Safety Data Sheets have been read and understood.

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



PTM&W Industries, Inc.

10640 S. Painter Avenue Santa Fe Springs, CA 90670-4092

562-946-4511 800-421-1518 FAX: 562-941-4773

Visit Us At: www.aeropoxy.com Send Questions To: info@aeropoxy.com



HexForce™ 7781
Fiber Glass Fabric

Product Data

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

IMPORTANT

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

FOR FURTHER INFORMATION, PLEASE CONTACT US



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

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

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: D3039/D3039M – 17

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

1. Scope

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

D883 Terminology Relating to Plastics

D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins

D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials

D3878 Terminology for Composite Materials

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

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

E111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus

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

E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature

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

E251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

E1012 Practice for Verification of Testing Frame and Specimen Alignment Under Tensile and Compressive Axial Force Application

E1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

²For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

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

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

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

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

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

3.3 Symbols:

A—average cross-sectional area of a coupon.

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

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

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

E—modulus of elasticity in the test direction.

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

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

h—coupon thickness.

L_g—extensometer gage length.

L_{min}—minimum required bonded tab length.

n—number of coupons per sample population.

P—force carried by test coupon.

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

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

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

w—coupon width.

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

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

δ —extensional displacement.

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

ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

σ —normal stress.

ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

4.1 A thin flat strip of material having a constant rectangular cross section is mounted in the grips of a mechanical testing machine and monotonically loaded in tension while recording the force. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum force carried before failure. If the coupon strain is monitored with strain or displacement transducers then the stress-strain response of the material can be determined, from which the ultimate tensile strain, tensile modulus of elasticity, Poisson's ratio, and transition strain can be derived.

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

7.1 *Micrometers and Calipers*—A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in] nominal diameter ball interface shall be

used to measure the specimen thickness when at least one surface is irregular (such as the bag-side of a laminate). A micrometer with a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 in.] nominal diameter ball interface or with a flat anvil interface shall be used to measure the specimen thickness when both surfaces are smooth (such as tooled surfaces). A micrometer or caliper, with a flat anvil interface, shall be used to measure the width of the specimen. The accuracy of the instruments shall be suitable for reading to within 1 % of the sample dimensions. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.0025 mm [± 0.0001 in.] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.025 mm [± 0.001 in.] is adequate for width measurement.

7.2 Testing Machine—The testing machine shall be in conformance with Practices E4 and shall satisfy the following requirements:

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

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

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

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

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

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

7.2.5 System Alignment—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment

during tensile testing. In addition to Practice E1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

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

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

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1 and Eq 2 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon. Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

7.2.5.4 Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process

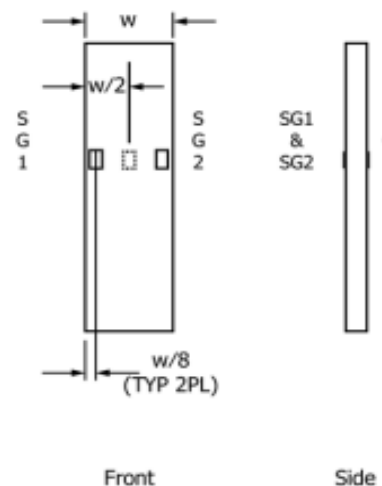


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation force range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels ($>1000 \mu\epsilon$). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

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

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

where:

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

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

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

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].³ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the

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

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

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

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

⁴Tuttle, 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
Coupon Requirements:	
shape	constant rectangular cross-section
minimum length	gripping + 2 times width + gage length as needed ^A
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
Tab Requirements (if used):	
tab material	as needed
fiber orientation (composite tabs)	as needed
tab thickness	as needed
tab thickness variation between tabs	$\pm 1\%$ tab thickness
tab bevel angle	5 to 90°, inclusive
tab step at bevel to specimen	feathered without damaging specimen

^A See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

8.2.2 Specific Recommendations:

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

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

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

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

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

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

8.2.2.4 Friction Tabs—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the force into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see Note 2) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used must be able to withstand significant compressive forces. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]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:

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

where:

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

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

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

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

8.3 Specimen Preparation:

8.3.1 Panel Fabrication—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

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

8.3.3 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D2584. The void content equations of Test Methods D2734 are applicable to both Test Method D2584 and the matrix digestion procedures.

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

9. Calibration

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

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D5229/D5229M; however, if the test requestor does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, no conditioning is required and the test specimens may be tested as prepared.

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

NOTE 6—The term moisture, as used in Test Method D5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

- DRAWING NOTES:**
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
 2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

NO DECIMAL	.X	.XX
± 3	± 1	± .3
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN ± .5°.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

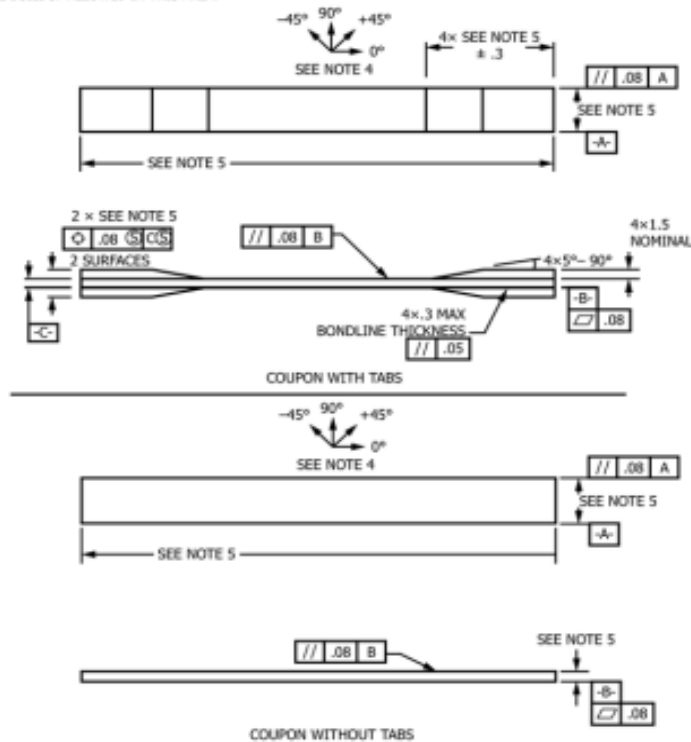


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

II. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

11.2.2 Following final specimen machining, measure the specimen. The thickness and width shall be measured at three places in the gage section and report the averages of the thickness and width for the calculation of area to the accuracy in 7.1. Determine the specimen area as $A = w \times h$. Record the average area in units of mm² (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 \perp WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64V (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO \perp , OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

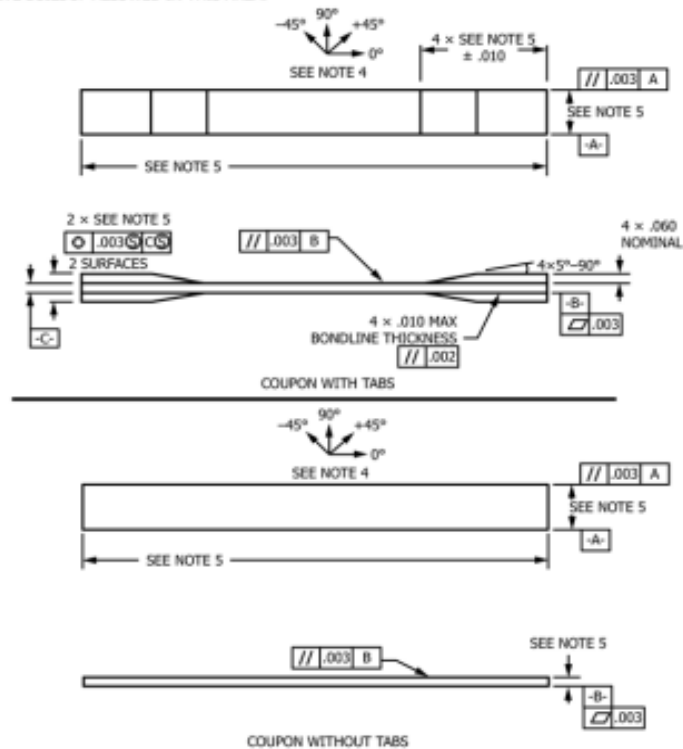


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

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

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

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

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

alistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded. In the case where there is no fluid exposure control, the percentage moisture loss of the specimen prior to test completion may be estimated by placing a conditioned traveler coupon of known weight within the test chamber at the same time as the specimen is placed in the chamber. Upon completion of the test, the traveler coupon is removed from the chamber, weighed, and the percentage weight calculated and reported.

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

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

NOTE 10—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of emery cloth (suggested grit of 80 to 180) between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

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

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 4, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the percent bending is no more than 3%. When bending is greater than 3% averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (4)$$

where:

- ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
- ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
- B_y = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the force to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record force versus crosshead displacement (and force versus strain, if extensometers are utilized) continuously or at frequent regular intervals. For this test method, a sampling rate of 2 to 3 data recordings per second, and a target minimum of 100 data points per test are recom-

mended. If a transition region or initial ply failures are noted, record the force, strain, and mode of damage at such points. Record the method used to determine the initial failure (visual, acoustic emission, etc.). If the specimen is to be failed, record the maximum force, the failure force, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 11—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes force versus head displacement data and force versus time data.

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

12. Validation

12.1 Values for ultimate properties shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious flaw, unless such flaw constitutes a variable being studied. Retests shall be performed for any specimen on which values are not calculated.

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

13. Calculation

13.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 5 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 6.

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

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

where:

- F^u = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^{max} = maximum force before failure, N [lbf];
- σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
- P_i = force at i th data point, N [lbf]; and
- A = average cross-sectional area from 11.2.2, mm² [in.²].

13.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 7 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (7)$$

where:

- ϵ_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;
- δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
- L_g = extensometer gage length, mm [in.].

13.3 *Tensile Modulus of Elasticity*:

NOTE 12—To minimize potential effects of bending it is recommended

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 ^B	3000	2000

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

^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50% of ultimate is recommended.

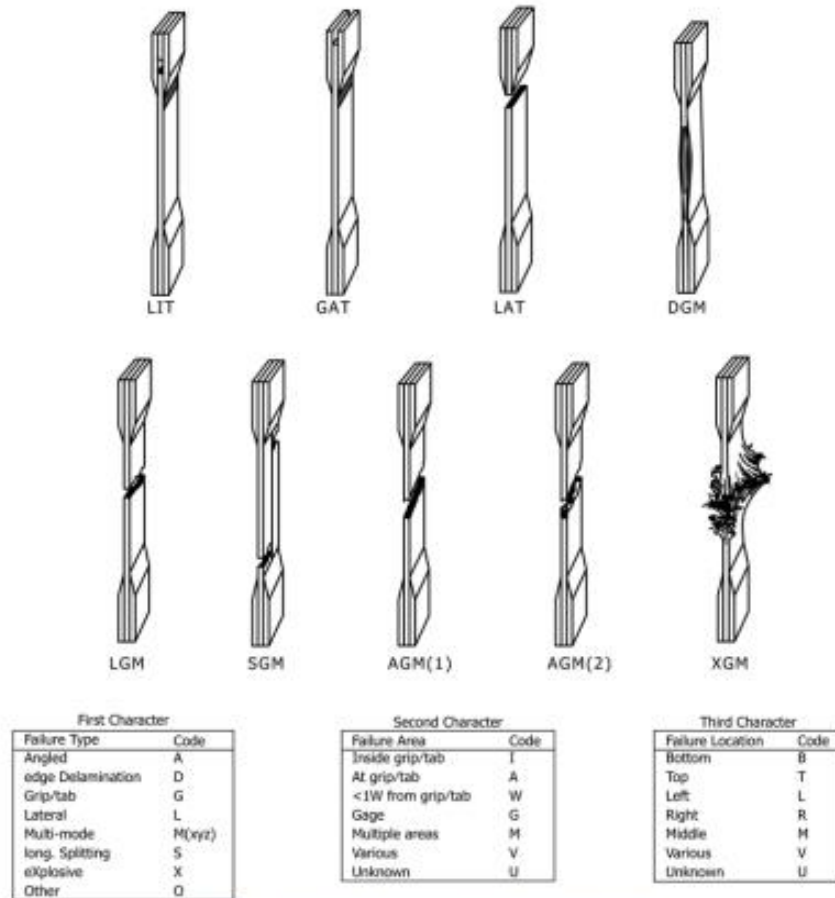


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

13.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 8. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

13.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

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

where:

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

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

Note 13—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

13.4 Poisson's Ratio:

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

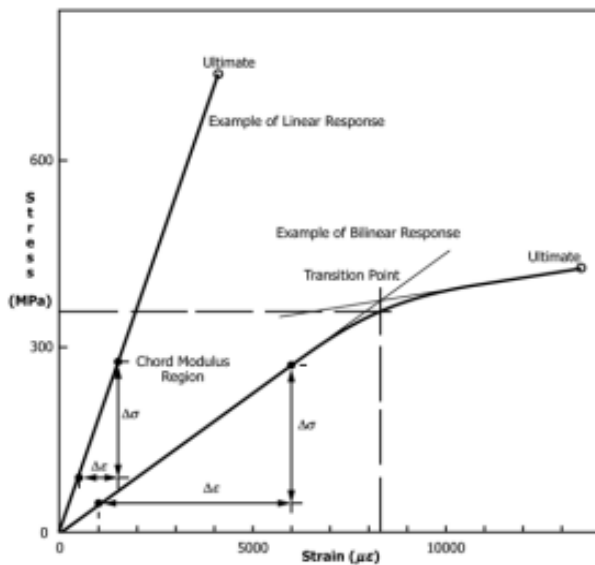


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

13.4.1 *Poisson's Ratio By Chord Method*—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied force), ϵ_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied force), ϵ_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 9 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

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

where:

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

13.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

13.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longi-

tudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

13.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

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

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

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

where:

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

14. Report

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

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

14.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

14.1.15 Dimensions of each test specimen.

14.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Speed of testing.

14.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

14.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

14.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

14.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

14.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure force was less than the maximum force before failure.

14.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

14.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.

14.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias⁵

15.1 Precision:

15.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D3039/D3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

15.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of force application and displacement/strain measurement, speed of force application, alignment of test specimen with applied force, parallelism of the grips, grip pressure, and type of force control (displacement, strain, or force).

15.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

15.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D3039/D3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

15.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

15.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

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

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	s	\bar{x}	S_p	S_H	S/\bar{x} , %	S_H/\bar{x} , %
Strength, lbf							
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.⁶ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 4 are defined as:

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

15.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_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

⁶International 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/



Designation: D5628 – 18

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

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

1. Scope^a

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

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

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

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D883 Terminology Relating to Plastics

D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics

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

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

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

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

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

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

2.2 ISO Standards:³

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

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

3. Terminology

3.1 Definitions:

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

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

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

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

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

3.2.5 *tup*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tup) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁴ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different tup and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method is to be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC is to be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

⁴The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter tup used in Geometry FB minimizes problems with tup penetration and sticking in failed specimens of some ductile materials.

5.4 The test conditions of Geometry FC are the same as those of Test Method A of Test Method D1709. They have been used in specifications for extruded sheeting. A limitation of this geometry is that considerable material is required.

5.5 The test conditions of Geometry FD are the same as for Test Method D3763.

5.6 The test conditions of Geometry FE are the same as for ISO 6603-1.

5.7 Because of the nature of impact testing, the selection of a test method and tup must be somewhat arbitrary. Although a choice of tup geometries is available, knowledge of the final or intended end-use application shall be considered.

5.8 Clamping of the test specimen will improve the precision of the data. Therefore, clamping is recommended. However, with rigid specimens, valid determinations can be made without clamping. Unclamped specimens tend to exhibit greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference the specification of the material being tested. Table 1 of Classification System D4000 lists the ASTM materials standards that currently exist. Any test specimens preparation, conditioning, dimensions, or testing parameters or combination thereof covered in the relevant ASTM materials specification shall take precedence over those mentioned in this test method. If there are no relevant ASTM material specifications, then the default conditions apply.

6. Interferences

6.1 Falling-mass-impact-test results are dependent on the geometry of both the falling mass and the support. Thus, impact tests are used only to obtain relative rankings of materials. Impact values cannot be considered absolute unless the geometry of the test equipment and specimen conform to the end-use requirement. Data obtained by different procedures within this test method, or with different geometries, cannot, in general, be compared directly with each other. However, the relative ranking of materials is expected to be the same between two test methods if the mode of failure and the impact velocities are the same.

6.1.1 Falling-mass-impact types of tests are not suitable for predicting the relative ranking of materials at impact velocities differing greatly from those imposed by these test methods.

6.2 As cracks usually start at the surface opposite the one that is struck, the results can be greatly influenced by the quality of the surface of test specimens. Therefore, the composition of this surface layer, its smoothness or texture, levels of and type of texture, and the degree of orientation introduced during the formation of the specimen (such as during injection molding) are very important variables. Flaws in this surface will also affect results.

6.3 Impact properties of plastic materials can be very sensitive to temperature. This test can be carried out at any

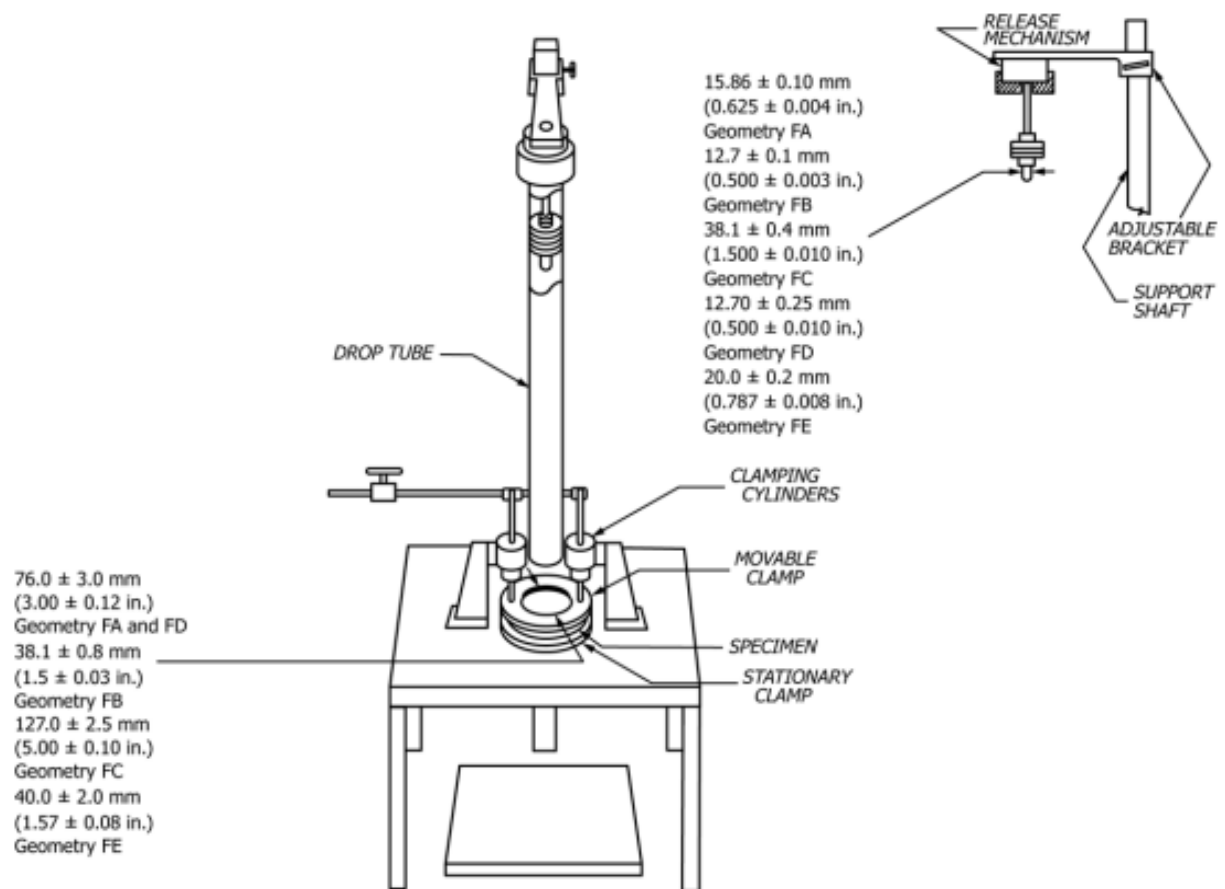


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

7. Apparatus

7.1 Testing Machine—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 Specimen Clamp—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp constructed as shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter shall be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter shall be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter shall be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp constructed as shown in Fig. 4 is required. The inside diameter shall be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp shall be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius shall be 1 mm (0.04 in.).

7.1.1.1 Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

7.1.2 *Tip Support*, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

NOTE 3—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 Tip:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10-mm (0.625 ± 0.004-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

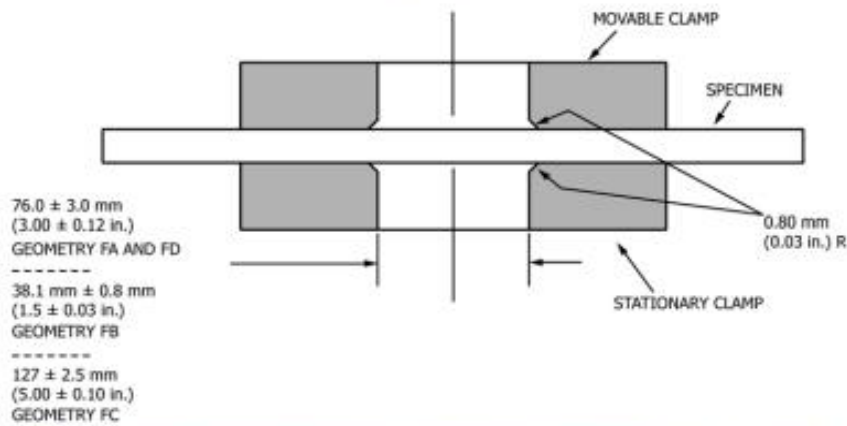


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

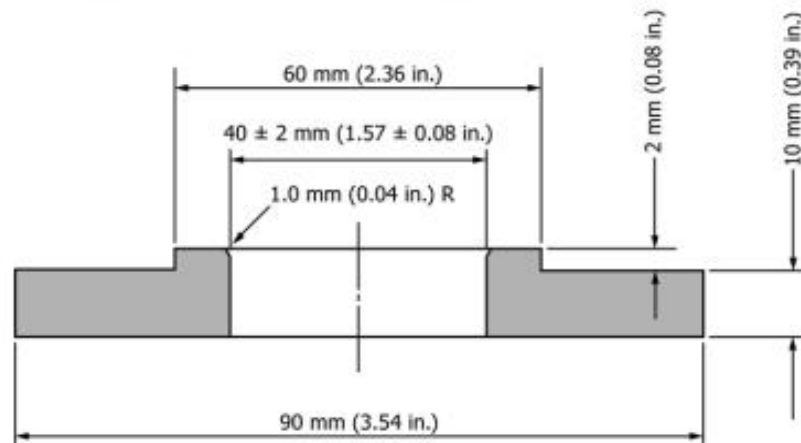


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tip and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tip Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 ± 0.10 (0.625 ± 0.004)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FB	12.7 ± 0.1 (0.500 ± 0.003)	38.1 ± 0.8 (1.5 ± 0.03)
FC	38.1 ± 0.4 (1.5 ± 0.010)	127.0 ± 2.5 (5.00 ± 0.10)
FD	12.70 ± 0.25 (0.500 ± 0.010)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FE	20.0 ± 0.2 (0.787 ± 0.008)	40.0 ± 2.0 (1.57 ± 0.08)

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25-mm (0.500 ± 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2-mm (0.787 ± 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

7.4 *Micrometer*—Apparatus for measuring the width and thickness of the test specimen shall comply with the requirements of Test Methods D5947.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of ±1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section 14.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5 % from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5 % are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with

ISO 6603-1 the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens shall be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective shall not be tested for specification purposes. Production parts, however, shall be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

Note 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618, for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System D6779) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50 % RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for

no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method D618.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in 10.3.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in 11.1.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is sufficient to measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area shall be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force shall be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 \pm 0.3 in.) from the surface of the specimen.

12.8 Adjust the total mass of the tup or the height of the tup, or both, to that amount expected to cause half the specimens to fail.

Note 5—If failures cannot be produced with the maximum available missile mass, the drop height can be increased. The test temperature could be reduced by (a) use of an ice-water mixture, or (b) by air-conditioned environment to provide one of the temperatures given in 3.3 of Test Methods D618. Conversely, if the unloaded tup causes failures when dropped 0.660 m, the drop height can be decreased. A moderate change in dart velocity will not usually affect the mean-failure energy appreciably. Refer to 5.1.

12.9 Release the tup. Be sure that it hits the center of the specimen. If the tup bounces, catch it to prevent multiple impact damage to the specimen's surface (see 8.1.2).

12.10 Remove the specimen and examine it to determine whether or not it has failed. Permanent deformation alone is not considered failure, but note the extent of such deformation (depth, area). For some polymers, for example, glass-reinforced polyester, incipient cracking is difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, confirms the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification, or a definition agreed upon by supplier and user, shall take precedence over the definition stated in 3.2.1.

12.11 If the first specimen fails, remove one increment of mass from the tup while keeping the drop height constant, or decrease the drop height while keeping the mass constant (see 12.12). If the first specimen does not fail, add one increment of mass to the tup or increase the drop height one increment, as above. Then test the second specimen.

12.12 In this manner, select the impact height or mass for each test from the results observed with the specimen just previously tested. Test each specimen only once.

12.13 For best results, the mass or height increment used shall be equivalent to s , the estimated standard deviation of the test for that sample. An increment of 0.5 to 2 times s is satisfactory (see section 13.4).

Note 6—An increment of 10% of the estimated mean-failure mass or mean-failure height has been found to be acceptable in most instances.

12.14 Keep a running plot of the data, as shown in Appendix X1. Use one symbol, such as X, to indicate a failure and a different symbol, such as O, to indicate a non-failure at each mass or height level.

12.15 For any specimen that gives a break behavior that appears to be an outlier, the conditions of that impact shall be examined. The specimen shall be discarded only if a unique cause for the anomaly is found, such as an internal flaw visible in the broken specimen. Note that break behavior can vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

13.1 *Mean-Failure Mass*—If a constant-height procedure was used, calculate the mean-failure mass from the test data obtained, as follows:

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- w = mean-failure mass, kg,
- h = mean-failure height, mm,
- d_w = increment of tup weight, kg,
- d_h = increment of tup height, mm,
- N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- w_o = smallest mass at which an event occurred, kg
- h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_i n_i$,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
- n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
- $w_i = w_o + id_w$, and
- $h_i = h_o + id_h$.

In calculating w or h , the negative sign is used when the events are failures. The positive sign is used when the events are non-failures. Refer to the example in Appendix X1.

13.3 *Mean-Failure Energy*—Compute the mean-failure energy as follows: $MFE = hwf$

where:

- MFE = mean-failure energy, J,

- h = mean-failure height or constant height as applicable, mm
- w = mean-failure mass or constant mass as applicable, kg, and
- f = factor for conversion to joules.
- Use $f = 9.80665 \times 10^{-3}$ if $h = \text{mm}$ and $w = \text{kg}$.

13.4 *Estimated Standard Deviation of the Sample*—If desired for record purposes, the estimated standard deviation of the sample for either variable mass or variable height can be calculated as follows:

$$s_w = 1.62d_w [B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad \text{or} \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h [B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

- s_w = estimated standard deviation, mass, kg
- s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=1}^n i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is < 0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_w = Gs_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h = Gs_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

- s_h = estimated standard deviation of the mean height, mm,
- s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg, and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of G at other levels of s/d , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_h \cdot w \cdot f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w \cdot h \cdot f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

- S_{MFE} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^A	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^A	11.8	14.9	42.2

^A Data generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$.

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The repeatability standard deviation has been determined as shown in Tables 3 and 4. Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR.D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, J	Values Expressed as a Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
 r = 2.83 V_r .

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

15.2 Attempts to develop a full precision and bias statement for this test method have not been successful. For this reason, data on precision and bias cannot be given. Because this test method does not contain a round-robin-based numerical precision and bias statement, it shall not be used as a referee test method in case of dispute. It is recommended that anyone wishing to participate in the development of precision and bias data contact the Chairman, Subcommittee D20.00 (Section 20.00.00), ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.”

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	j	n_j	$\hat{\mu}n_j$	$\hat{p}n_j$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X				X		X						4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X			4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O						O		O		0	5				
Totals																					9	11		9	6	8
																					(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)

$w_o = 7.00; N = N_o = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00(6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 1.620 (1.00) [((9 \cdot 6 - 6^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.065	1.06	1.055	1.05
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262-277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285-291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10-22 and 10-23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 10) that may impact the use of this standard. (May 1, 2018)

- (1) Revised Sections 5, 6, 7, 10 and 12 to remove permissive language.
- (2) Revised 7.4.
- (3) Revised Section 15 Precision and Bias to ASTM D4968-17 guidelines.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-632-9585 (phone), 610-632-9555 (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/



Designation: D7264/D7264M – 21

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

NOTE 1—Unlike Test Method 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:²

- D790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
 - D792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement
 - D883 Terminology Relating to Plastics
 - D2344/D2344M Test Method for Short-Beam Strength of Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates
 - D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins
 - D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics
 - D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials
 - D3878 Terminology for Composite Materials
 - D5229/D5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
 - D5687/D5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation
 - D6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
 - D6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials
 - E4 Practices for Force Verification of Testing Machines
 - E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
 - E122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With Specified Precision, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
 - E177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
 - E456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- #### 2.2 Other Documents:³
- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric

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

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

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

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

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

3. Terminology

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

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

4. Summary of Test Method

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

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

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

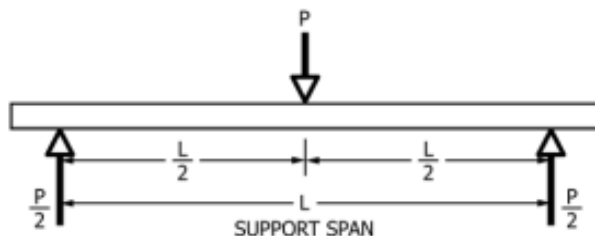


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

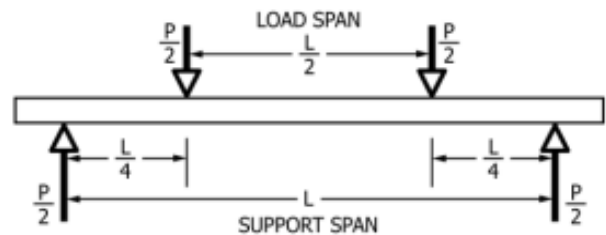


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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

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

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

5. Significance and Use

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

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

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

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

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

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

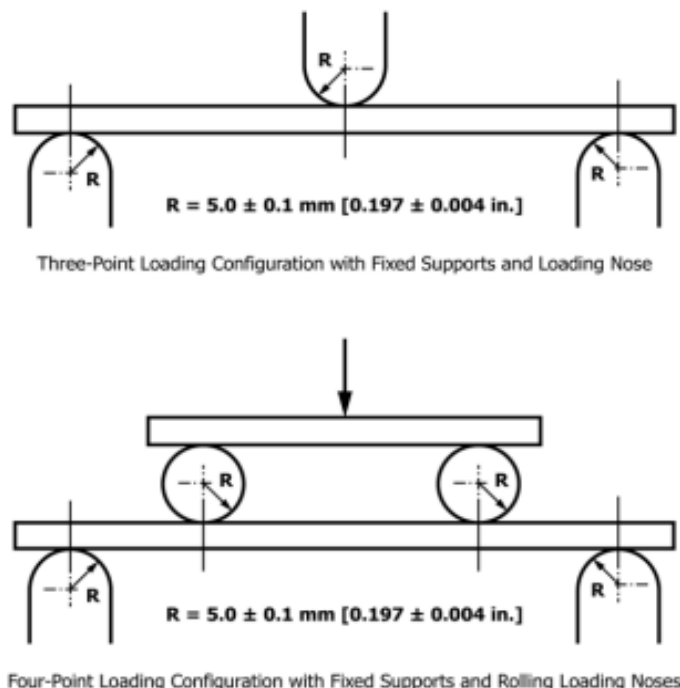


FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

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

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

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

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

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

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

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

8. Test Specimens

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

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

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

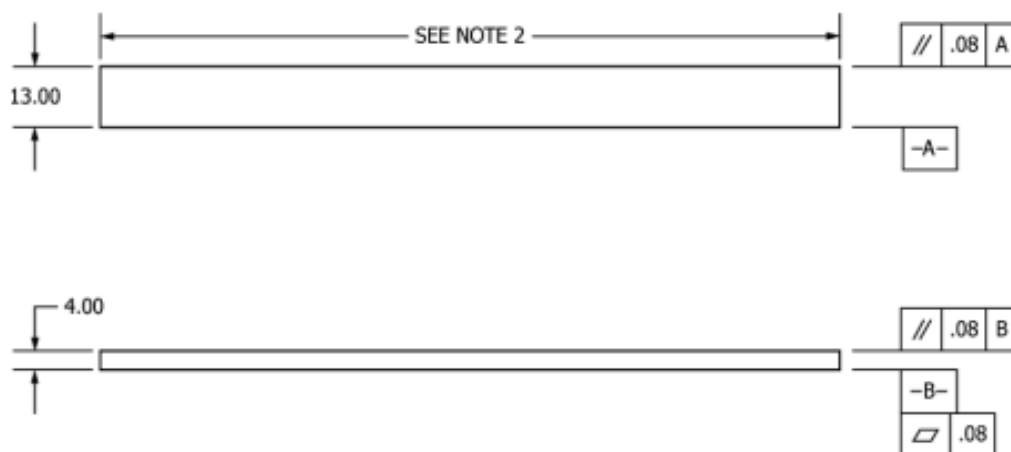


FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

DRAWING NOTES:

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

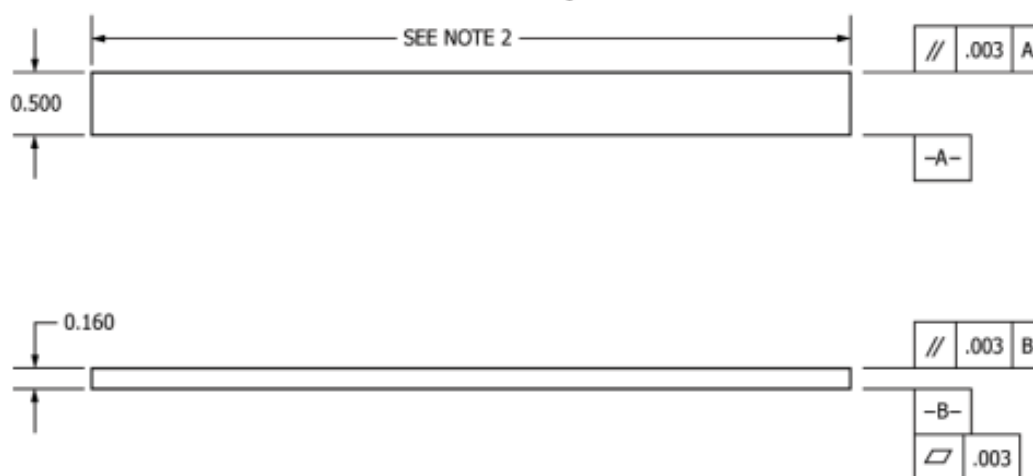


FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

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

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

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

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

8.3 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels as the test samples. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D2584. Void content may be evaluated from the equations of Test Method D2734 and is applicable to both Test Methods D2584 and D3171.

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

9. Number of Test Specimens

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

10. Conditioning

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

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

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

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

11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

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

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

where:

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

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

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
Interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

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

13.2 Maximum Flexural Stress, Procedure B—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress shall be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

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

where:

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

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

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

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

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

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

where:

- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

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

$$\epsilon = \frac{48\delta h}{11L^2} \quad (4)$$

⁴For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mait, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Material: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

where:

- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 Flexural Chord Modulus of Elasticity—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

Note 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 Flexural Secant Modulus of Elasticity—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 For Procedure A:

$$E_f^{secant} = \frac{L^2 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.],
- h = thickness of beam, mm [in.] and
- m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 For Procedure B:

⁵For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

$$E_f^{secant} = \frac{11L^3m}{64bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as defined for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported, although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it shall be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests, calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

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

$$CV = 100 \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

- \bar{x} = average value or sample mean,
- x_i = value of single measured or derived property,
- n = number of specimens,
- s_{n-1} = estimated standard deviation,
- CV = coefficient of variation in percentage.

14. Report

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

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

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity (E_f).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in

percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

16. Keywords

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. MEASURING AND SETTING SPAN

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

A1.2 Measurement of Span:

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

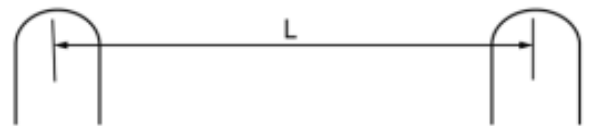


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

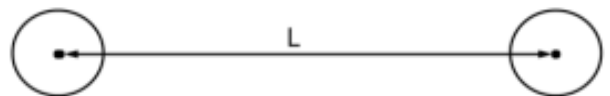


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

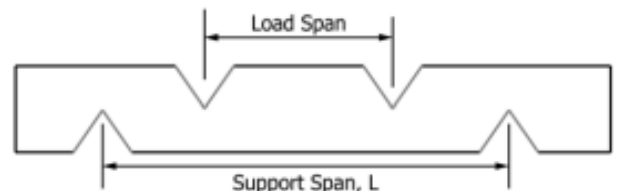


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be

determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

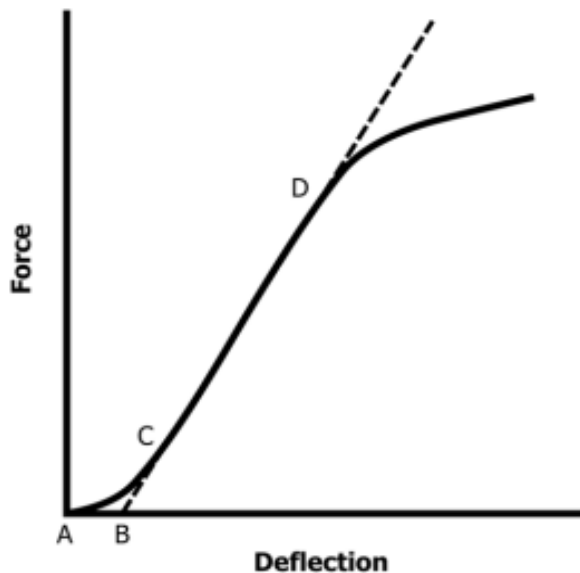


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

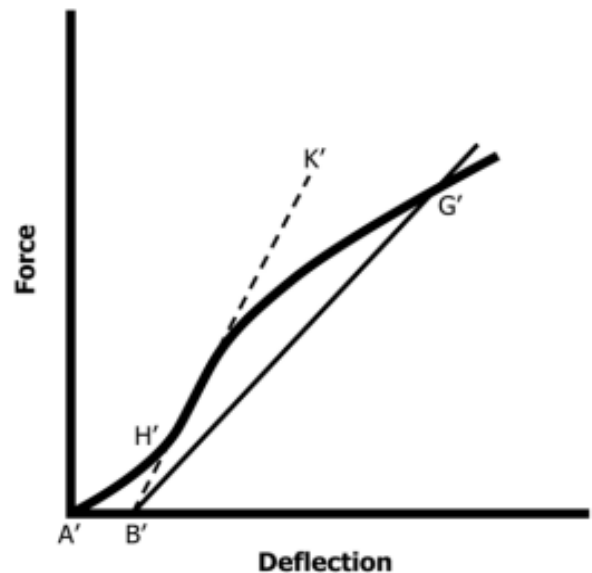


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

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

INFORME TÉCNICO

CTT-2022 - 171

Objetivo

- Establecer y mantener un método para evaluar la energía media de impacto en polímeros.

Alcance

Determinación de energía necesaria para el fallo de polímeros por impacto de dardo según las especificaciones señaladas en la norma ASTM D 5628-10.

ANTECEDENTES:

Con fecha 01 de Agosto de 2022, el Señor. Johnny Tipantasig egresado de la Universidad Técnica de Ambato domiciliado en la ciudad del Ambato, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, realizar ensayos de laboratorio para medir la energía media de impacto en muestras de material compuesto.

Se reciben 45 muestras o probetas, en 15 grupos de 3 probetas, bajo las designaciones:

- V-C1/0.-45/60-I
- V-C2/-45.0/60-I
- V-C3/45.0/60-I
- V-C4/0.45/60-I
- V-C5/-45.-45/90-I
- V-C6/45.-45/90-I
- V-C7/0.0/90-I
- V-C8/0.0/90-I
- V-C9/0.0/90-I
- V-C10/-45.45/90-I
- V-C11/45.45/90-I
- V-C12/0.-45/120-I
- V-C-13/-45.0/120-I
- V-C14/45.0/120-I
- V-C15/0.45/120-I

Con la numeración de 01 a 45 (Probetas para Ensayo de Impacto en Material Compuesto de Epoxi reforzado con fibra natural de chambira y sintética de vidrio); se realizó el ensayo de un total de 45 probetas, de dimensiones de 58 x 58 mm. Todas las probetas presentan superficies lisas.

PROCESO GENERAL:

- Determinación de número de especímenes para cada muestra.
- Mantener hermetizadas las muestras hasta el ensayo y marcarlas para su identificación.
- Preparación de la máquina de ensayos para la geometría preestablecida (FA, FB, FC, FD, FE) en este caso para el tipo FE dadas las dimensiones de la probeta.

Geometría	Diámetro de la Probeta mm	Probeta Cuadrada mm
FA	89	89
FB	51	51
FC	140	140
FD	89	89
FE	58	58

- Medición y registro del espesor de cada muestra, el cual se muestra en los resultados del ensayo.
- Realizar la prueba de impacto con probetas de calibración, fuera de los grupos mostrados anteriormente y localizamos el rango de falla del material.
- Se colocan las mordazas utilizando una fuerza que permita la inmovilidad de la probeta al momento del impacto.



- Colocar la masa a la altura preestablecida, según el método de prueba seleccionado.



- Se libera el dardo asegurándonos que golpee justo en el centro de la muestra, impidiendo cualquier rebote del dardo.
- Retirar la muestra y revisar si ha fallado o no. Considerando que una falla es cualquier grieta o ruptura generado por el impacto el cual pueda ser distinguido por el ojo humano bajo luz normal en condiciones normales.

Conclusiones

- Las probetas V-C1/0.-45/60-I tienen una energía de fallo de 4,051775 J.
- Las probetas V-C2/-45.0/60-I tienen una energía de fallo de 4,702178 J.
- Las probetas V-C3/45.0/60-I tienen una energía de fallo de 5,704711 J.
- Las probetas V-C4/0.45/60-I tienen una energía de fallo de 4,388700 J.
- Las probetas V-C5/-45.-45/90-I tienen una energía de fallo de 5,847329 J.
- Las probetas V-C6/45.-45/90-I tienen una energía de fallo de 6,061256 J.
- Las probetas V-C7/0.0/90-I tienen una energía de fallo de 7,130889 J.
- Las probetas V-C8/0.0/90-I tienen una energía de fallo de 6,417800 J.
- Las probetas V-C9/0.0/90-I tienen una energía de fallo de 5,989947 J.
- Las probetas V-C10/-45.45/90-I tienen una energía de fallo de 6,417800 J.
- Las probetas V-C11/45.45/90-I tienen una energía de fallo de 6,275182 J.
- Las probetas V-C12/0.-45/120-I tienen una energía de fallo de 5,348167 J.
- Las probetas V-C13/-45.0/120-I tienen una energía de fallo de 5,419476 J.
- Las probetas V-C14/45.0/120-I tienen una energía de fallo de 5,276858 J.
- Las probetas V-C15/0.45/120-I tienen una energía de fallo de 5,562093 J.
- Todas las probetas se las ensayó con el método de prueba FE y fueron impactadas con un dardo de 0,287 Kg.
 - En el grupo V-C1/0.-45/60-I, a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,2637 kg, según lo especificado por la normativa ASTM D5628-10.
 - En el grupo V-C2/-45.0/60-I, para la primera probeta a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,2637 kg. Mientras que para la segunda probeta a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,3521 kg y para la tercera probeta a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,4399 kg, según lo especificado por la normativa ASTM D5628-10.
 - En el grupo V-C3/45.0/60-I, a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,4399 kg, según lo especificado por la normativa ASTM D5628-10.

- En el grupo V-C4/0.45/60-I, para la primera y segunda probeta a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,3521 kg. Mientras que para la tercera probeta a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,4399 kg, según lo especificado por la normativa ASTM D5628-10.
- Los grupos V-C5/-45.-45/90-I; V-C6/45.-45/90-I; V-C7/0.0/90-I; V-C8/0.0/90-I; V-C9/0.0/90-I; V-C10/-45.45/90-I; V-C11/45.45/90-I; V-C12/0.-45/120-I; V-C-13/-45.0/120-I; V-C14/45.0/120-I; V-C15/0.45/120-I, a más del dardo de 0,287 kg se le adicionó un peso de 0,4399 kg, según lo especificado por la normativa ASTM D5628-10.



Firmado digitalmente por:
**JUAN DANIEL
 COQUINCHE
 ALVARADO**



Firmado digitalmente por:
**EDMUNDO SEBASTIAN
 VILLEGAS SUAREZ**

REALIZADO POR:
 Egdo. Juan Coquinche A.
LABORATORIO DE MATERIALES

SUPERVISADO POR:
 Ing. Sebastián Villegas S.
TÉCNICO DE LABORATORIO