



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

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

**TEMA:**

---

**“OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS MÚLTIPLES (DOE/MSR) DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA SINTÉTICA (VIDRIO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”.**

---

**Autor:** Santiago Wladimir Chuquitarco Taco

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

**AMBATO – ECUADOR**

**Enero - 2022**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS MÚLTIPLES (DOE/MSR) DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HIBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA SINTÉTICA (VIDRIO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”**, elaborado por el Sr. Santiago Wladimir Chuquitarco Taco, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 0550310577, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

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

Ambato, enero 2022

---

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

**TUTOR**

## **AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

Yo, **Santiago Wladimir Chuquitarco Taco** con C.I. **0550310577**, declaro que las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS MÚLTIPLES (DOE/MSR) DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HIBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA SINTÉTICA (VIDRIO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad, como autor del proyecto a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2022



.....  
**Santiago Wladimir Chuquitarco Taco**

**C.I. 0550310577**

**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, enero 2022



.....  
**Santiago Wladimir Chuquitarco Taco**

**C.I. 0550310577**

**AUTOR**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Santiago Wladimir Chuquitarco Taco de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo El tema: **“OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS MÚLTIPLES (DOE/MSR) DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HIBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA SINTÉTICA (VIDRIO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”**.

Ambato, enero 2022

Para constancia firman:

---

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

**Miembro Calificador**

---

**Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacís**

**Miembro Calificador**

## **DEDICATORIA**

*Este arduo esfuerzo va dedicado a Dios por haberme permitido mantenerme en pie de lucha durante todo este transcurso de mi carrera universitaria, por haberme dado sus bendiciones y haber escuchado mis peticiones.*

*A mi madre María Zoila por darme su apoyo incondicional durante toda esta travesía, por haberme comprendido y ayudado en los momentos que siempre lo he necesitado, por sus consejos, por sus enseñanzas y sobre todo por creer en mí.*

*A mis hermanos Mauricio, Vinicio, Wilmer, Marcelo y Mariela por ser las personas que han sabido comprenderme y darme su apoyo incondicional en tan duro proceso, por sus palabras de aliento, su cariño y por tener un corazón noble y bondadoso.*

*A mi padre a pesar de varias situaciones me ha extendido su mano para poder cumplir con el objetivo que me propuse desde que empecé el camino de mi carrera.*

*Santiago W. Chuquitarco Taco*

## AGRADECIMIENTO

*En primera instancia agradezco a DIOS por proteger mis pasos y cuidar de mí en todo momento, a la VIRGENCITA DE AGUA SANTA por la salud y sus bendiciones que me ha dado en el camino así el profesionalismo personal en mi carrera.*

*A mi Madre María Zoila por haberme inculcado sus consejos, por el cariño que me ha dado, por la confianza brindada en mí, por el apoyo moral y sobre todo por estar pendiente de mí durante todas las noches de desvelo en esta travesía de mi carrera, por demostrarme también con el esfuerzo propio se logra cumplir los objetivos anhelados. A mi padre por depositar su confianza en mí al lograr este objetivo de vida.*

*A mis hermanos Mauricio y Vinicio por haberme dado el apoyo moral, por confiar en mí durante esta larga travesía, a Wilmer, Marcelo y Mariela por demostrarme que la familia es el pilar para superar los obstáculos de la vida pese a diferentes inconvenientes que se presente en cada paso que se dé al progreso personal.*

*Al Ing. Mg. Juan Paredes, por haber depositado su confianza en mí para el desarrollo de la presente investigación, por brindarme sus conocimientos, por el profesionalismo demostrado y por su paciencia para culminar la misma.*

*A la facultad de Ingeniería Civil y Mecánica en especial a la Carrera de Ingeniería Mecánica por haberse convertido en mi segundo hogar, a los docentes de la carrera por impartir sus conocimientos en las aulas y laboratorios para llegar al objetivo planteado desde el inicio de la travesía.*

*Al Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoria en exclusivo al Teniente Coronel Cristian Arias por permitirnos hacer uso de sus instalaciones en el CIDFAE por medio de ello elaborar el trabajo investigativo.*

*Y como no a los amigos que formaron parte de esta dura travesía, por el compañerismo demostrado, por los gratos momentos y por la comprensión brindada durante todo el proceso de estudio, recordarles que juntos se logran grandes cosas.*

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA .....	i
CERTIFICACIÓN .....	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO .....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT .....	xix
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes Investigativos .....	1
1.2. Fundamentación teórica.....	3
1.2.1. Ciencia e ingeniería de los materiales.....	3
1.2.2. Materiales compuestos.....	4
1.2.3. Sectores comunes de la aplicación de los materiales compuestos.....	5
1.2.4. Clasificación tradicional de los materiales compuestos .....	6
1.2.5. Tipos de matriz y refuerzo de materiales compuestos.....	6
1.2.6. Tipo de fibras inorgánicas y sus propiedades .....	8
1.2.7. Tipo de fibras sintéticas y propiedades.....	11
1.2.8. Fibras naturales en Ecuador.....	12
1.2.9. Orientación de las fibras .....	14
1.2.10. Tejidos de las fibras .....	15
1.2.11. Matriz polimerica en los materiales compuestos .....	15
1.2.12. Clasificación de las resinas termoestables .....	16
1.2.13. Regla de las mezclas en materiales compuestos con fibras .....	18
1.2.14. Diseño de experimentos (DOE).....	22
1.2.15. Metodología de superficie de respuesta (MSR).....	23
1.2.16. Supuestos paramétricos.....	25

1.2.17. Tratamientos de datos .....	26
1.2.18. Función de deseabilidad en la optimización de respuestas .....	26
1.2.19. Ensayos de materiales .....	27
1.2.20. Ensayos mecánicos de tracción – flexión - impacto .....	27
1.3.  Objetivos.....	29
1.3.1. Objetivo General.....	29
1.3.2. Objetivos específicos .....	29
CAPITULO II .....	30
2.  METODOLOGÍA .....	30
2.1.  Diagrama de flujo del trabajo experimental .....	30
2.2.  Materiales .....	32
2.3.  Métodos .....	33
2.4.  Hipótesis .....	39
2.4.1. Variable independiente .....	39
2.4.2. Variable dependiente .....	39
2.5.  Operacionalización de variables.....	40
2.6.  Procedimiento.....	42
2.6.1. Adquisición de la materia prima.....	42
2.6.2. Determinación de propiedades físicas de la fibra natural (Chambira).....	42
2.6.3. Determinación de propiedades físicas de la fibra sintética (vidrio).....	43
2.6.4. Cortes de tejido de fibras naturales 0° y 45° .....	45
2.6.5. Determinación de densidad del material compuesto .....	46
2.6.6. Conformado de probetas.....	50
2.6.7. Curado de probetas .....	53
2.6.8. Corte de probetas de tracción, flexión e impacto bajo la normativa ASTM .....	53
2.6.9. Elaboración de ensayos mecánicos.....	58
CAPITULO III .....	62
3.  RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	62
3.1.  Interpretación y tabulación de resultados de los ensayos mecánicos .....	62
3.1.2. Resultados de ensayos a tracción.....	63
3.1.3. Resultados de ensayos a Flexión .....	93
3.1.4. Resultados de ensayos en Impacto.....	123

3.1.5. Síntesis de datos obtenidos en tracción flexión e impacto.....	145
3.2.    Análisis de resultados .....	148
3.2.1. Comprobación de supuestos en los datos de Tracción .....	149
3.2.2. Aplicación de diseño de experimentos MSR y análisis en tracción .....	158
3.2.3. Comprobación de supuestos en los datos de Flexión .....	170
3.2.4. Aplicación de diseño de experimentos MSR y análisis en Flexión .....	182
3.2.5. Comprobación de supuestos en los datos de Impacto.....	194
3.2.6. Aplicación de diseño de experimentos MSR y análisis en Impacto .....	200
3.2.7. Optimización simultanea de repuestas de las propiedades mecánicas ...	203
3.3.    Verificación de hipótesis .....	206
CAPÍTULO IV .....	208
4.    CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	208
4.1.    Conclusiones.....	208
4.2.    Recomendaciones .....	209
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	210
ANEXOS.....	214

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Propiedades de los tipos de fibra de vidrio. ....	9
Tabla 1.2. Fibras de vidrio para el compuesto hibrido.....	9
Tabla 1.3. Propiedades de los tipos de fibra de carbono.....	11
Tabla 1.4. Propiedades de los tipos de fibra de aramida.....	12
Tabla 1.5. Clasificación de las fibras vegetales según su extracción.....	13
Tabla 2.1. Materiales de aplicación en el conformado del material compuesto. ....	32
Tabla 2.2. Factores de control del estudio experimental.....	35
Tabla 2.3. Variables de salida deseables de ensayos. ....	35
Tabla 2.4. Combinaciones del diseño experimental.....	36
Tabla 2.5. Diseño de superficies mediante box-behnken.....	37
Tabla 2.6. Variable independiente. ....	40
Tabla 2.7. Variable dependiente.....	41
Tabla 2.8. Densidad de la fibra natural de chambira tejida.....	43
Tabla 2.9. Densidad de la fibra sintética (vidrio).....	44
Tabla 2.10. Densidad de la matriz y refuerzo. ....	44
Tabla 2.11. Proceso de corte del tejido de fibra natural.....	45
Tabla 2.12. Denominación y abreviaturas de fibras.....	46
Tabla 2.13. Peso de refuerzo y cantidad de peso en resina de los caos de estudio. ...	46
Tabla 2.14. Calculo de fracciones volumétricas del refuerzo y matriz.....	47
Tabla 2.15. Fracción volumétrica caso extra del refuerzo de fv y resina epoxi.....	48
Tabla 2.16. Codificación de caso de estudio en muestras para ensayos mecánicos. .	49
Tabla 2.17. Proceso de conformad del material hibrido. ....	50
Tabla 2.18. Dimensiones de corte de probetas en tracción - flexión - impacto. ....	53
Tabla 2.19 proceso de corte y clasificación de probetas para ensayos mecánicos. ...	55
Tabla 2.20. Densidad promedio de las muestras de tracción. ....	57
Tabla 2.21. Densidad promedio de las muestras de flexión.....	57
Tabla 2.22. Densidad promedio de las muestras de impacto. ....	57
Tabla 2.23. Densidad medida del material compuesto de fch y fv. ....	58
Tabla 3.1. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 1.....	63
Tabla 3.2. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 2.....	65

Tabla 3.3. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 3.....	67
Tabla 3.4. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 4.....	69
Tabla 3.5. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 5.....	71
Tabla 3.6. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 6.....	73
Tabla 3.7. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 7.....	75
Tabla 3.8. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 8.....	77
Tabla 3.9. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 9.....	79
Tabla 3.10. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 10.....	81
Tabla 3.11. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 11.....	83
Tabla 3.12. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 12.....	85
Tabla 3.13. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 13.....	87
Tabla 3.14. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 14.....	89
Tabla 3.15. Resultados de ensayo mecánico a tracción - caso 15.....	91
Tabla 3.16. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 1. ....	93
Tabla 3.17 resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 2.....	95
Tabla 3.18. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 3. ....	97
Tabla 3.19. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 4. ....	99
Tabla 3.20. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 5. ....	101
Tabla 3.21. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 6. ....	103
Tabla 3.22. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 7. ....	105
Tabla 3.23. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 8. ....	107
Tabla 3.24. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 9. ....	109
Tabla 3.25. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 10. ....	111
Tabla 3.26. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 11. ....	113
Tabla 3.27. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 12. ....	115
Tabla 3.28. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 13. ....	117
Tabla 3.29. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 14. ....	119
Tabla 3.30. Resultados de ensayo mecánico a flexión - caso 15. ....	121
Tabla 3.31. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 1.....	123
Tabla 3.32. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 2.....	124
Tabla 3.33. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 3.....	126
Tabla 3.34. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 4.....	127
Tabla 3.35. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 5.....	129

Tabla 3.36. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 6.....	130
Tabla 3.37. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 7.....	132
Tabla 3.38. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 8.....	133
Tabla 3.39. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 9.....	135
Tabla 3.40. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 10.....	136
Tabla 3.41. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 11.....	138
Tabla 3.42. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 12.....	139
Tabla 3.43. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 13.....	141
Tabla 3.44. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 14.....	142
Tabla 3.45. Resultados de ensayo mecánico en impacto - caso 15.....	144
Tabla 3.46. Síntesis de resultados de las propiedades mecánicas en tracción .....	145
Tabla 3.47. Prueba de normalidad - esfuerzo máximo (mpa).....	149
Tabla 3. 48 prueba igualdad de varianzas del esfuerzo máximo – tracción.....	150
Tabla 3.49. Transformación de datos box cox - esfuerzo máximo. ....	152
Tabla 3.50. Prueba de normalidad en datos transformados por box cox - esfuerzo máximo. ....	152
Tabla 3.51. Igualdad de varianza en datos transformados por box cox - esfuerzo máximo. ....	153
Tabla 3.52. Prueba de normalidad del módulo de elasticidad – tracción.....	155
Tabla 3.53. Prueba igualdad de varianzas del módulo de elasticidad – tracción. ....	156
Tabla 3.54. Prueba igualdad de varianzas – % de elongación. ....	157
Tabla 3.55. Análisis de varianza en el esfuerzo máximo en tracción. ....	159
Tabla 3.56. Optimización de respuesta en el esf. Máx. Tracción .....	162
Tabla 3.57. Análisis de varianza en el módulo de elasticidad - tracción. ....	163
Tabla 3.58. Optimización de respuesta del módulo de elasticidad tracción. ....	166
Tabla 3.59. Análisis de varianza del porcentaje de elongación (%) en tracción.....	167
Tabla 3.60. Optimización de respuesta del % de elongación en tracción. ....	170
Tabla 3.61. Prueba de normalidad del esfuerzo máximo - flexión. ....	171
Tabla 3.62. Prueba igualdad de varianzas del esfuerzo máximo – flexión.....	172
Tabla 3.63. Transformación de datos por box cox del esfuerzo máximo - flexión..	173
Tabla 3.64. Prueba de normalidad en datos transformados por box cox - esfuerzo máximo de flexión. ....	173

Tabla 3.65. Igualdad de varianza en datos transformados por box cox - esfuerzo máximo de flexión. ....	174
Tabla 3.66. Prueba igualdad de varianzas del módulo de elasticidad - flexión. ....	176
Tabla 3.67. Transformación de datos box cox del módulo de elasticidad - flexión.	178
Tabla 3.68. Igualdad de varianza en datos transformados por box cox del módulo de elasticidad - flexión.....	179
Tabla 3.69. Prueba de normalidad – deflexión máxima (mm).....	180
Tabla 3.70. Prueba igualdad de varianzas – deflexión máxima (mm). ....	181
Tabla 3.71. Análisis de varianza en el esfuerzo máximo – flexión.....	183
Tabla 3.72. Optimización de respuesta en el esf. Máx. Flexión. ....	186
Tabla 3.73. Análisis de varianza en el módulo de elasticidad en flexión. ....	187
Tabla 3.74. Optimización de respuesta del módulo de elasticidad - flexión.....	190
Tabla 3.75. Análisis de varianza – deflexión máxima. ....	191
Tabla 3.76. Optimización de respuesta deflexión. ....	194
Tabla 3.77. Prueba de normalidad – energía media de fallo (j). ....	194
Tabla 3.78. Prueba igualdad de varianzas – energía media de fallo (j). ....	195
Tabla 3.79. Transformación de datos box cox – energía media de fallo (j).....	197
Tabla 3.80. Prueba de normalidad en datos transformados por box cox - energía media de fallo (j).....	198
Tabla 3.81. Igualdad de varianza en datos transformados por box cox - energía media de fallo (j).....	199
Tabla 3.82. Análisis de varianza – energía media de fallo.....	201
Tabla 3.83. Optimización de respuesta – energía media de fallo.....	203
Tabla 3.84. Optimización de respuesta – material híbrido.....	205
Tabla 3.85. Análisis de varianza de la deseabilidad global de las propiedades mecánicas.....	206

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Composición de un material compuesto.....	4
Figura 1.2. Clasificación de material compuesto según el tipo de refuerzo. ....	5
Figura 1.3. Aplicación de materiales compuestos en los sectores de la industria.....	5
Figura 1.4. Clasificación de materiales tradicionales.....	6
Figura 1.5. Múltiples escalas del compuesto laminar en el análisis mecánico. ....	8
Figura 1.6. Clasificación de las fibras naturales según su naturaleza. ....	12
Figura 1.7. Orientación para capas en la elaboración de materiales híbridos. ....	14
Figura 1.8. Vista de un tejido plano por urdiembre. ....	15
Figura 1.9. Matriz y su combinación con los refuerzos. ....	16
Figura 1.10. Reacción de las resinas epoxi del tipo glicidiléter.....	17
Figura 1.11. Proceso de curado en relación al tiempo y temperatura. ....	18
Figura 1.12. Curado y ramificación de la matriz termoestable. ....	18
Figura 1.13. Proceso de vacío de aire de la parte interior del molde. ....	21
Figura 1.14. Técnica por infusión de resina. ....	22
Figura 1.15. Diseño de box-behnken con tres factores. ....	25
Figura 1.16. Optimización de dos o más variables mediante el diseño central compuesto. ....	25
Figura 1.17. Ensayo mecánico destructivo a tracción.....	28
Figura 1.18. Ensayo mecánico destructivo a flexión. ....	28
Figura 2.1. Diagrama de procesos del trabajo experimental. ....	31
Figura 2.2. Tejido de fibra natural (astrocaryum chambira). ....	42
Figura 2.3. Medición de volumen en mililitros (ml) y peso en gramos (g). ....	43
Figura 2.4. Curado de probetas en temperaturas de 60 °c, 90 °c y 120 °c.....	53
Figura 2.5. Diseño de probetas en tracción - flexión - impacto. ....	54
Figura 2.6. Distribución de muestras en dimensión general de cada caso. ....	54
Figura 2.7. Máquina universal de ensayos de tracción waw600b.....	58
Figura 2.8. Ensayo de flexión en tres puntos simplemente apoyada. ....	60
Figura 2.9. Máquina para pruebas de impacto. ....	61
Figura 3.1. Flujograma de análisis de resultados. ....	148
Figura 3.2. Prueba independencia de residuos del esfuerzo máximo – tracción.....	151

Figura 3.3. Valor optimo lambda ( $\lambda$ ) – esfuerzo máximo en tracción.....	151
Figura 3.4. Prueba independencia de residuos con datos transformados - esfuerzo máximo .....	154
Figura 3.5. Prueba independencia de residuos – modulo de elasticidad (mpa) .....	156
Figura 3.6. Análisis de residuos del porcentaje de elongación. ....	157
Figura 3.7. Prueba independencia de residuos – % de elongación. ....	158
Figura 3.8. Análisis diagrama de pareto en el esfuerzo máximo de tracción (sut). .	159
Figura 3.9. Efectos principales del esfuerzo máximo - tracción.....	160
Figura 3.10. Interacciones de orientación 1, orientación 2 y temperatura. ....	161
Figura 3.11. Grafica de superficie de la propiedad mecánica - esf. Máx. Tracción. 162	
Figura 3.12. Análisis diagrama de pareto en el esfuerzo máximo de tracción (sut). 163	
Figura 3.13. Efectos principales del módulo de elasticidad - tracción.....	165
Figura 3.14. Interacciones de orient.1, orient.2 y temperatura del módulo de elasticidad – tracción.....	165
Figura 3.15. Grafica de superficie de la propiedad mecánica – modulo de elasticidad en tracción.....	166
Figura 3.16. Análisis diagrama de pareto en el esfuerzo máximo de tracción (sut). 167	
Figura 3.17. Efectos principales del % de elongación - tracción.....	169
Figura 3.18. Interacción del % de elongación - tracción.....	169
Figura 3.19. Grafica de superficie de la propiedad mecánica - % de elongación en tracción.....	170
Figura 3.20. Prueba independencia de residuos del esfuerzo máximo - flexión.....	172
Figura 3.21. Prueba independencia de residuos con datos transformados - esfuerzo máximo de flexión. ....	175
Figura 3.22. Análisis de residuos del módulo de elasticidad - flexión. ....	176
Figura 3.23. Prueba independencia de residuos del módulo de elasticidad - flexión (mpa).....	177
Figura 3.24. Valor optimo lambda ( $\lambda$ ) – modulo de elasticidad en flexión. ....	178
Figura 3.25. Análisis de residuos del módulo de elasticidad – flexión.....	179
Figura 3.26. Prueba independencia de residuos con datos transformados -módulo de elasticidad. ....	180
Figura 3.27. Prueba independencia de residuos – deflexión máxima (mm). ....	182
Figura 3.28. Análisis diagrama de pareto en el esfuerzo máximo - flexión.....	183

Figura 3.29. Efectos principales del esfuerzo máximo en flexión. ....	184
Figura 3.30. Interacciones del esfuerzo máximo en flexión. ....	185
Figura 3.31. Grafica de superficie de la propiedad mecánica - esf. Máx. Flexión. .	185
Figura 3.32. Análisis diagrama de pareto en el esfuerzo máximo - flexión.....	186
Figura 3.33. Efectos principales del módulo de elasticidad - flexión. ....	188
Figura 3.34. Interacción del módulo de elasticidad - flexión.....	189
Figura 3.35. Grafica de superficie de la propiedad mecánica – modulo de elasticidad en tracción.....	189
Figura 3.36. Análisis diagrama de pareto en el esfuerzo máximo - flexión.....	190
Figura 3.37. Efectos principales – deflexión máxima.....	192
Figura 3.38. Interacción de la propiedad mecánica – deflexión máxima.....	193
Figura 3.39. Grafica de superficie de la propiedad mecánica – deflexión.....	193
Figura 3.40. Prueba independencia de residuos – energía media de fallo (j).....	196
Figura 3.41. Valor optimo lambda ( $\lambda$ ) – modulo de elasticidad en flexión. ....	197
Figura 3.42. Prueba independencia de residuos con datos transformados - energía media de fallo (j).....	199
Figura 3.43. Análisis diagrama de pareto – energía media de fallo. ....	200
Figura 3.44. Efectos principales de la energía media de fallo. ....	202
Figura 3.45. Interacciones de factores de la energía media de fallo. ....	202
Figura 3.46. Grafica de superficie de la propiedad mecánica – energía media de fallo. .....	203
Figura 3.47. Deseabilidad optima de las propiedades mecánicas del material hibrido. .....	204

## RESUMEN

El trabajo experimental se elaboró en base al análisis de resultados de las propiedades mecánicas del material híbrido con refuerzos de fibra de chambira y vidrio con matriz de resina epoxi, conformado por estratificación al vacío, curado en diferentes temperaturas y sometido por corte laser con CO<sub>2</sub> de las muestras.

El uso de la Metodología de superficies de Respuesta con el diseño de Box-Behnken permitió el ingreso de tres factores continuos con sus niveles respectivamente son: Orientación 1, Orientación 2 de la fibra entre -45, 0 y 45 grados y Temperatura de curado con 60, 90 y 120 grados centígrados. En el diseño se especificó el número de tratamientos a ser obtenidos para posterior a ello se elaboró los ensayos mecánicos de cada muestra, los datos obtenidos se organizaron y se validaron con el cumplimiento de los supuestos paramétricos teniendo la plena confiabilidad en los análisis de las propiedades mecánicas.

Con los resultados obtenidos se determinó la configuración óptima de las propiedades mecánicas los cuales se presentan en los factores con la orientación 1 a 28,68 grados, orientación 2 a 1,36 grados y a una temperatura de curado de 120 grados centígrados. Estos valores se dieron por medio del análisis de varianza ANOVA el mismo que posee significancia y confiabilidad en sus datos, por consiguiente, el modelo del Diseño de Superficie DOE/MSR explica hasta el 99,6 por ciento de su variabilidad de las propiedades de esa manera la deseabilidad global posee el valor de 0,6373.

**Palabras Claves:** Fibra de vidrio, Fibra de Chambira, Box-Behnken, Deseabilidad, Optimización.

## ABSTRACT

The experimental work was carried out based on analysis of the results of mechanical properties of the hybrid material with reinforcements of chambira fiber and glass with epoxy resin matrix, formed by vacuum stratification, cured in different temperatures and subjected by laser cutting with CO<sub>2</sub> of the samples.

The use of Response Surface Methodology with Box-Behnken design allowed the entry of three continuous factors with their levels respectively are: Orientation 1, Orientation 2 of the fiber between -45, 0 and 45 degrees and Curing temperature with 60, 90 and 120 degrees Celsius. In the design, the number of treatments to be obtained was specified so that the mechanical tests of each sample were elaborated, the data obtained were organized and validated with the fulfillment of the parametric assumptions having full reliability in analysis of the mechanical properties.

With the results obtained, the optimal configuration of the mechanical properties was determined, which are presented in factors with the orientation 1 to 28.68 degrees, orientation 2 to 1.36 degrees and at a curing temperature of 120 degrees Celsius. These values were given by means of the analysis of variance ANOVA the same that has significance and reliability in its data, therefore, the model of the Surface Design DOE / MSR explains up to 99.6 percent of its variability of the properties in that way the global desirability has the value of 0.6373.

**Keywords:** Fiberglass, Chambira Fiber, Box-Behnken, Desirability, Optimization.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes Investigativos

Dentro del presente trabajo experimental se citan fuentes de investigación que corroboran con la información necesaria para el respectivo desarrollo del estudio.

De acuerdo a la investigación elaborada por R. Vilarim, H. Voltz, A. Filho, M. Milagre y C. Carvalho, de la revista de materiales compuesto, con el tema: “HYBRID COMPOSITES WITH GLASS FIBER AN NATURAL FIBERS OF SISAL, COIR AND LUFFA SPONGE” donde se obtiene el material híbrido y el comportamiento de los compuestos de fibras naturales y de fibras sintéticas, llegando así a obtener el mejor comportamiento mecánico en el compuesto de la fibra de sisal/vidrio con la ventaja de utilizar materiales derivados de la biomasa, las pruebas de tracción y flexión se elaboró en el presente orden: sisal/vidrio, bonote/vidrio y luffa/vidrio, en el análisis de fractura en las pruebas de tracción y flexión el proceso de fractura se localizó sin daños en regiones alejadas a las fractura, el módulo de flexión de todos los compuestos híbridos es mayor que el del material de fibra de vidrio. [1]

En la investigación elaborada por A. Tamayo Duque, Facultad de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, con el tema: “OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADOS CON FIBRA DE CABUYA MEDIANTE ESTRATIFICACIÓN” determina que al aumentar la fracción volumétrica de refuerzo dentro de la matriz, se obtiene las mejores propiedades del material compuesto ya que al existir la adecuada cantidad de refuerzo, las fibras absorben parte de la carga, minimizando el efecto que la fuerza aplicada tiene en la matriz además establece al comparar diferentes refuerzos de hilo y tejido orientado a 0° y 45° se tiene un aumento de esfuerzo máximo a tracción y rigidez en todas las configuraciones. [2]

De acuerdo a la investigación elaborada por J. Tobar, L. Cañas y L. Tristancho, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, bajo el tema: “ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA RESINA POLIÉSTER REFORZADA CON FIBRA DE BAMBÚ, COMO MATERIAL

SUSTITUTO DE LA FIBRA DE VIDRIO” determinan que las muestras elaboradas con concentraciones de masa de poliéster reforzado con fibras de vidrio de 10.11, 14.77 y 19.19 % y de fibras de bambú de 11.07, 13.53 y 16.23 %, presentaron un aumento del módulo de elasticidad proporcional a la cantidad de fibra utilizada en cada compuesto, el compuesto con mejores resultados a la resistencia ultima a tensión fueron los compuestos de poliéster reforzado con fibra de vidrio con 19.19 % en masa. A su vez la tendencia observada obedece el aumento de la resistencia con el aumento del porcentaje de refuerzo. [3]

De acuerdo al trabajo investigativo realizado por M. Atteaa, A. Dulaimy, A. Sammarraie y A. Fares, de la Revista AIMS Materials Science, bajo el tema: “EFFECT OF FIBERGLASS FORMON THE TENSILE AND VENDING CHARACTERISTIC OF EPOXI COMPOSITE MATERIAL” ha elaborado la búsqueda centrada en la características de tracción y flexión de un material compuesto reforzado por diversas formas de fibra de vidrio, con orientaciones de 0 – 90° y alternamente en las distintas combinaciones, realizado mediante un proceso manual con una relación de peso del 10%, llegando a obtener las propiedades mecánicas del compuesto de tres muestras en fibra gruesa, fibra fina y fibra aleatoria, basadas en diferentes formas y espesores, por lo que el refuerzo de fibra de vidrio mejora la resistencia ultima y la rigidez mientras reduce la ductilidad, al elaborar el compuesto con una fibra fina esta mejora significativamente todas las propiedades en el caso optimo la resistencia, rigidez y ductilidad. [4]

En el trabajo elaborado por A. Ramon Fernández, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, bajo el tema: “Aplicación de técnicas de modelado para la optimización de la energía generada en pilas de combustible microbianas” ha evaluado el efecto de tres parámetros de operación como son el área del ánodo, el espesor de la membrana y la resistencia externa sobre la energía producida por el sistema, donde los análisis estadísticos sirven para comprender el impacto de las diferentes variables en la generación de energía, en este caso se planteó el diseño de Box Behnken de tres niveles para cada uno de los factores involucrados permitiendo modelar la curvatura en la superficie de respuesta mediante la adición de términos cuadráticos mediante los ensayos experimentales se llegó a obtener el resultado de la potencia en micro watts. Estos diseños se traducen en un importante ahorro de tiempo y establece los parámetros óptimos de funcionamiento que maximizan la obtención de energía. [5]

En la investigación elaborada por H. Erazo, Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICA A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DEL MATERIAL HIBRIDO CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ EN MATRIZ POLIMÉRICA DE RESINA POLIÉSTER, PARA DETERMINAR LA MEJOR CONFIGURACIÓN” el cual determina un diseño experimental que tiene por interés analizar la deseabilidad, la configuración y el tipo de secado, con cada uno de sus niveles contribuyendo a la importancia de cada uno de esos factores a las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto, en función de deseabilidad determina la condición óptima en el que se aprovechan al máximo las propiedades mecánicas del material híbrido, esto cuando se emplea: 20% de fibra de vidrio, 7.75% de fibra de abacá dispuesta a 45° tejida con 2.25% de fibra de algodón a 135° en matriz polimérica de resina poliéster y secada al horno. [6]

De acuerdo a la investigación realizada por M. Kanda y H. Akil, Escuela de Ingeniería de Materiales y Recursos Minerales, Universidad Malaysia, conferencia internacional RAMM, bajo el tema: “APPLICATION OF DESIGN OF EXPERIMENT (DOE) FOR PARAMETERS OPTIMIZATION IN COMPRESSION MOULDING FOR FLAX REINFORCED BIOCOMPOSITES” en el trabajo se estudiaron tres variables independientes del proceso, temperatura, tiempo y presión de moldeo, se optimizaron los parámetros de conformado en caliente utilizando la Metodología de Superficie de Respuesta (RSM) para mejorar las propiedades mecánicas de los compuestos de lino / PLA, a través del enfoque de Box Behnken, se estableció un conjunto de experimentos basados en varias combinaciones, los datos ANOVA mostraron que las variables se ven afectados significativamente por la fuerza de impacto, al efectuar la temperatura de moldeo de 200 °C, tiempo de moldeo 3 min. y presión de 30 bar logrando una resistencia máxima al impacto de 48,902 KJ/m<sup>2</sup>. [7]

## **1.2. Fundamentación teórica**

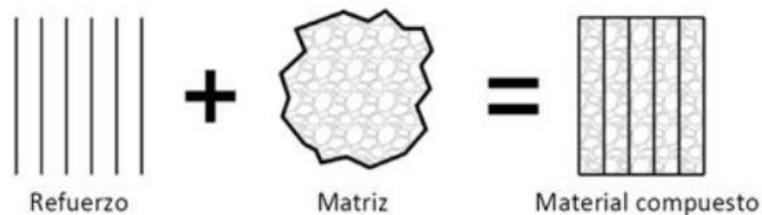
### **1.2.1. Ciencia e ingeniería de los materiales**

La ingeniería en materiales engloba una amplia gama de estudios que imparten las características y propiedades de los materiales existentes en el mundo, donde esta ciencia es un campo interdisciplinario que se ocupa de crear nuevos materiales y mejorar los materiales ya conocidos, mediante el desarrollo de un conocimiento de las relaciones entre la microestructura, composición, síntesis y procesamiento, de acuerdo a ello la

composición nos indica la constitución química de un material, la estructura nos describe el arreglo atómico visto con distintos grados de detalle, la síntesis y procesamiento de los materiales corresponde a la producción de los componentes. Una de las funciones más importantes de los científicos e ingenieros en materiales es establecer las relaciones entre las propiedades y el funcionamiento de un material o dispositivo, así como la microestructura, la composición y la forma en que el material se sintetizó y se procesó. [8]

### 1.2.2. Materiales compuestos

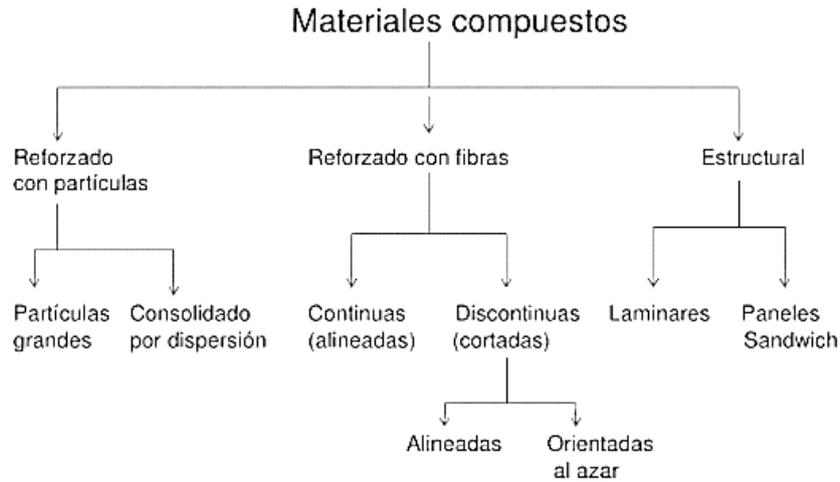
Es todo sistema o combinación de materiales constituidos a partir de una mezcla insoluble entre sí de dos o más componentes, que da lugar a un nuevo material con propiedades y características específicas, diferente de los componentes individuales de la combinación del material. [9]



**Figura 1.1.** Composición de un material compuesto.

**Fuente:** [8]

Los compuestos son hechos de dos materiales: la estructura conocido como refuerzo y la base que se conoce como matriz. El refuerzo es el elemento que mejora las características mecánicas del compuesto, como es la resistencia, rigidez, disminución de peso y mejora el accionar a temperaturas elevadas. La matriz cumple la función de precisar las propiedades del material transfiriendo las cargas al refuerzo, la matriz destacada en el compuesto se conoce como resina poliéster y resina epoxi.

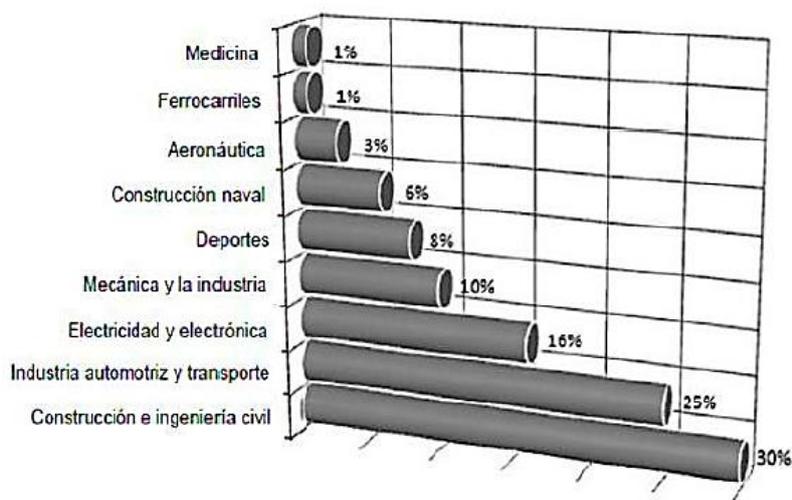


**Figura 1.2.** Clasificación de material compuesto según el tipo de refuerzo.

**Fuente:** [8]

### 1.2.3. Sectores comunes de la aplicación de los materiales compuestos

Los procesos del uso de los materiales compuestos se han visto en gran crecimiento desde la década de los años ochenta, hasta la actualidad, tal es la innovación y mejora en sus propiedades para aumentar su resistencia sin poseer un peso excesivo, con ello obtener el desempeño al máximo ubicándolos en competición con los materiales existentes como los plásticos, aluminio y el acero. En el ámbito de la economía buscan tener mayor relevancia en producción de grandes volúmenes un claro sector se da en la industria automotriz por la fabricación de partes internas y externas de un automóvil. En la figura 1.3 se observa el porcentaje de utilidad de los materiales compuestos que se usan en los diferentes sectores de la industria. [10]



**Figura 1.3.** Aplicación de materiales compuestos en los sectores de la industria.

**Fuente:** [10]

### 1.2.4. Clasificación tradicional de los materiales compuestos

Es primordial conocer la clasificación de los materiales tradicionales para comprender y entender la forma efectiva de combinación entre ciertos materiales, a base de ellos formar el material híbrido, los materiales se clasifican en seis grupos, como se presenta en la figura 1.4 de la clasificación pertinente. [10]



Figura 1.4. Clasificación de materiales tradicionales.

Fuente: [10]

La clasificación expuesta de los materiales tradicionales menciona los diferentes materiales que se pueden combinar para formar un material híbrido, es decir un material híbrido se da a base de dos o más materiales, estos pueden ser de origen natural o de origen sintético, los mismo que al combinarse mejoran sus propiedades entre si dando origen a un material con posesión a grandes características físicas y químicas.

### 1.2.5. Tipos de matriz y refuerzo de materiales compuestos

Los tipos de materiales compuestos se clasifican acorde al tipo de matriz y respectivamente a la forma que tiene el refuerzo.

#### A) Clasificación según el tipo de matriz del material compuesto

- Materiales compuestos de matriz metálica o MMC (Metal – Matrix Composite)  
Son utilizados por presentar buenas características ante la corrosión en sus formas aleadas, altos puntos de fusión, dureza y ductilidad, los MMC son destinados aplicaciones de corte y desgaste (carburos cementados, aceros reforzados con carburos), se destinan a su vez al uso estructural para industrias como la aeronáutica o automovilística.

- Materiales compuestos de matriz polimérica o PMC

Son de fácil fabricación no poseen grandes propiedades mecánicas y tienen poca estabilidad térmica, la reducción del comportamiento visco-elástico es crítico a la hora de utilizarlo en las industrias, existen varios tipos de matrices poliméricas:

1. Polímero termoplástico
  2. Polímero elastómero
  3. Polímero termoestable
- Material compuesto de matriz cerámica o CMC (Ceramic Matrix Composite)

Se caracterizan por su elevado punto de fusión, resistencia a la corrosión y abrasión, la manera de agregar refuerzos en este tipo de matrices es a partir del material cerámico en polvo, lo cual se aplica técnicas de presión a alta temperatura, donde las fibras de refuerzo se policristalina en la matriz, las matrices más usadas son la alúmina ( $Al_2O_3$ ), carburo de silicio (SiC) y nitruro de silicio ( $Si_3N_4$ ). [10] [11]

## **B) Clasificación según el tipo de refuerzo**

- Materiales compuestos reforzados con partículas

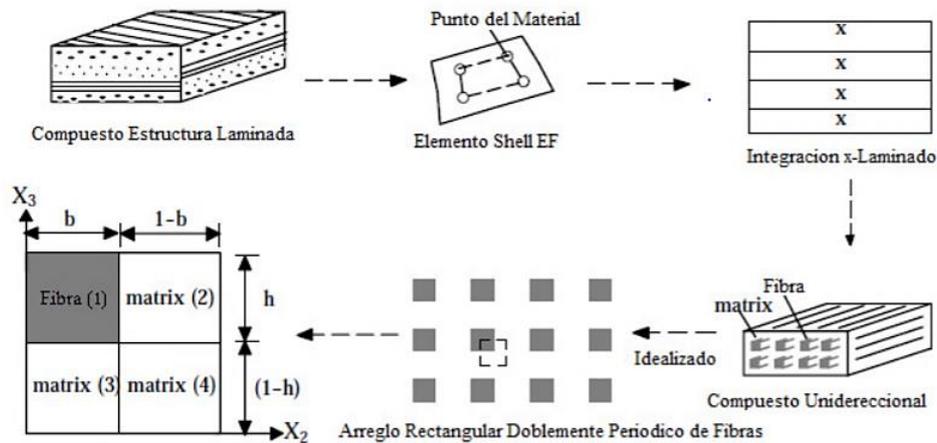
Se subdividen en refuerzos con partículas grandes y consolidados por dispersión, el compuesto con partículas grandes es comúnmente conocido como el hormigón, ya que las partículas son de arena o grava en una matriz cerámica compuesta por silicatos y aluminatos hidratados, tienen propiedades poco usuales y no mejoran la resistencia mecánica, en cuanto a los compuestos consolidados por dispersión poseen partículas de 10 250 nm de diámetro, por lo general son óxidos metálicos, y se introducen en la matriz con métodos distintos a la transformaciones de faces empleadas en el desarrollo de aleaciones. [12]

- Materiales compuestos reforzados con fibras

El fin del refuerzo de estos compuestos es mejorar la resistencia a la fátiga, mejorar la rigidez y aumentar la relación de resistencia – peso, el material de la matriz transmite la fuerza a las fibras lo cual estas soportan la fuerza aplicada, la fibra de vidrio en una matriz polimérica genera un material para ser utilizado en el transporte y en la industria aeroespacial. [12]

- Materiales compuestos reforzados con láminas de distintos materiales

El laminado de compuesto reforzado se diseña en base a la selección de los materiales de la fibra y la matriz, el diseño de materiales compuestos va en función de las relaciones que se puedan determinar entre las propiedades de la fibra y la matriz y las propiedades del compuesto laminado final. [13]



**Figura 1.5.** Múltiples escalas del compuesto laminar en el análisis mecánico.

**Fuente:** [13]

### 1.2.6. Tipo de fibras inorgánicas y sus propiedades

El refuerzo aporta al material compuesto propiedades de dureza, resistencia y rigidez por lo particular se presentan en forma de fibras, son de indoles de diferente naturaleza, los materiales compuestos son diseñados y elaborados con el fin de alcanzar elevada rigidez y resistencia, las características se presentan por el módulo de elasticidad/densidad y resistencia a la tracción/densidad.

#### Fibra de vidrio

Estas fibras son fabricadas a partir de Sílice ( $\text{SiO}_2$ ), fundido en altas en altas temperaturas con fosfatos y boratos, principalmente es una sustancia amorfa, aunque se encuentre en unidades moleculares desordenadas, que poseen suficiente cohesión y presentan la adecuada rigidez mecánica, la flexibilidad y la resistencia de las fibras aumentan según el diámetro disminuye. [14]

La fibra de vidrio es conocida por conceder buena resistencia mecánica, posee excelente aislamiento eléctrico, estabilidad dimensional, compatibilidad con diversas matrices, los diferentes tipos de fibras comercializadas y utilizadas en la conformación de materiales compuestos corresponden al tipo, A, C, D, E y R, se diferencia por su composición como es del tipo E el vidrio tradicional y R conocido por su alta resistencia. [15]

#### Tipos de fibras de vidrio

- a. **Tipo A (Alcalino):** Es uno de los menos resistentes y no presenta un excelente módulo de elasticidad. Tiene excelente resistencia al ataque por soluciones químicas y acidas por el elevado contenido de porcentaje de alcálisis.
- b. **Tipo C (Corrosivo):** Caracterizado por presentar elevada resistencia a la tracción y una elevada resistencia a la corrosión química, es utilizado en los sectores alimenticios.
- c. **Tipo D (Dieléctrico):** Conocido por poseer propiedades dieléctricas y es utilizado en el área de las telecomunicaciones.
- d. **Tipo AR (Álcali resistente):** es utilizado frecuentemente en combinación con el cemento u hormigón, ya que posee un elevado contenido de circonio y brinda una resistencia a los álcalis.
- e. **Tipo S:** Es conocido por poseer un elevado módulo de Young y posee una gran resistencia a la temperatura, el costo es superior al tipo E.
- f. **Tipo B (Boro):** Contiene las mejores propiedades eléctricas y una elevada ductilidad por el porcentaje de borosilicato que posee en su estructura y de bajo contenido en porcentaje de calcio. [15]

Tabla 1.1. Propiedades de los tipos de fibra de vidrio.

Tipo	Tipo A	Tipo E	Tipo S	Tipo R
Díámetro de hilo ( $\mu m$ )	5 - 13	10 - 20	10	10
Densidad ( $Kg/ m^3$ )	2500	2580	2480	2590
Módulo de elasticidad (GPa)	69	72,5	86	85
Resistencia a la tracción (GPa)	3,1	3,4	4,59	3,4 – 4,4
Coefficiente de expansión térmica ( $10^{-6}/^{\circ}K$ )	8,6	5	5,1	5

Fuente: [16]

A escala industrial las fibras de vidrio tienen formas más características que son utilizados en los materiales compuestos, como se puede detallar en la tabla 1.1 según la descripción presente.

Tabla 1.2. Fibras de vidrio para el compuesto híbrido.

Denominación	Formas
Hilos cortados	Fibras pequeñas
Tejidos	Unidireccional – Orientado – Equilibrado

<b>MAT</b>	Preparación superficial de hilos cortados e hilos continuos
<b>Roving</b>	Fibras en bobina
<b>Varios</b>	Fibras molidas en polvo

Fuente: [15]

### **Fibra de carbono**

Es un material elaborado para aplicaciones en estructuras que se encuentran sometidos a cargas cíclicas o fatiga, este material es el único por poseer propiedades mecánicas que son sensibles en la aplicación de las cargas cíclicas. Poseen alta resistencia mecánica y elevada rigidez, su densidad es inferior por lo cual esto implica que las propiedades mecánicas específicas o por unidad de peso son extraordinariamente altas.

Las fibras de carbono tienen un costo elevado, ya que las propiedades son diversas a las fibras de vidrio, se debe considerar que las fibras de carbono son menos resistentes al roce y al impacto de una baja energía. Este tipo de material es fabricado en base al polímero poliacrilonitrilo (PAN), bajo un proceso de calentamiento. Las fibras de carbono se clasifican en HM, HR y estándar. [17]

### **Tipos de fibra de carbono**

**Fibra de alta resistencia (HR):** Este tipo de fibra se carboniza a temperaturas que proporcionan una elevada resistencia a la tracción, donde los valores pueden llegar a superar hasta los 300 GPa.

**Fibra de carbono estándar:** Tiene como nombre también Fibra de carbono tipo (III), debido a su tratamiento se da en temperaturas menores que las de tipo HR, la resistencia de este material es buena sin embargo la rigidez es menor que los demás tipos de fibras.

**Fibra de alto modulo (HM):** El tratamiento de esta fibra requiere una elevada temperatura para adquirir el módulo de elasticidad elevado y su rigidez, no presenta alargamientos a la rotura y el costo es relativamente elevado. [17]

Tabla 1.3. Propiedades de los tipos de fibra de carbono.

<b>Tipo</b>	<b>Alta resistencia (HR)</b>	<b>Estándar (Tipo III)</b>	<b>Alto modulo (HM)</b>
Diámetro de hilo ( $\mu m$ )	8	7 - 8	7
Densidad ( $Kg/ m^3$ )	1740 - 1760	1820	1810 – 1870
Módulo de elasticidad (GPa)	230	290	390
Resistencia a la tracción (GPa)	2,6 - 5	3,1	2,1 – 2,7
Elongación a la rotura (%)	2	1,1	0,7

Fuente: [17]

### 1.2.7. Tipo de fibras sintéticas y propiedades

#### Fibra de aramida

La fibra de aramida es una de las fibras utilizada en aplicaciones estructurales, por la gran resistencia a soportar las cargas axiales, son utilizadas para aplicaciones de impacto y balística, en aplicaciones industriales por su alta tenacidad, resistencia al calor y por su bajo peso. La estabilidad térmica de estas fibras puede alcanzar hasta los 500 °C en un tiempo prolongando, en 200 °C la estabilidad térmica es más prolongada por lo que esto permite ser utilizado en aplicaciones como ropa para los soldadores, manipulación de objetos cortantes debido a si alta resistencia a la rasgadura. [18]

#### Tipo de fibra de aramida

- Fibra de aramida de bajo modulo (LM): El módulo de elasticidad es de 70 GPa
- Fibra de aramida de alto modulo (HM): posee un módulo de elasticidad de 130 GPa

Las fibras comerciales de aramida también se pueden especificar en la siguiente descripción por lo que es claro especificar el módulo de Young, para la aplicación de materiales compuestos en la industria.

- Fibra de Kevlar RI: Se aplica en la industria de los neumáticos.
- Fibra de Kevlar 29: Es comúnmente usado en prendas de vestir, cuerdas, cables, paracaídas esto gracias a su elevada resistencia.
- Fibra de Kevlar 49: Tiene propiedades superiores que la fibra de Kevlar 29 las prestaciones son elevadas, como a su vez la relatividad entre sus propiedades mecánicas. [16]

Tabla 1.4. Propiedades de los tipos de fibra de aramida.

Tipo	Kevlar 29	Kevlar 49
Diámetro de hilo ( $\mu m$ )	12	12
Densidad ( $Kg/ m^3$ )	1440	1450
Módulo de elasticidad (GPa)	230	290
Resistencia a la tracción (GPa)	1,92	2,94 – 3,6
Elongación a la rotura (%)	4	2,8

Fuente: [16]

### 1.2.8. Fibras naturales en Ecuador

Los estudios elaborados en diversas investigaciones de materiales compuestos, se han desarrollado mediante el uso de las fibras naturales que existen en el país, siendo cada una de ellas un material más que permite conformar el refuerzo y mejoras los resultados en las propiedades mecánicas que se busca obtener en la composición del nuevo material, sin embargo, existen diversas variedades de fibras naturales en las regiones del Ecuador lo que permite tener acceso sin necesidad de realizar importaciones de otros países, las fibras naturales cada vez más tienen mayor influencia a nivel mundial.

Las fibras naturales son conocidas por el origen del que proceden, es decir no requieren de un mayor tratamiento o proceso industrializado para la obtención de las misma, aun así, las fibras se encuentran clasificados por tres grandes grupos que abarcan varios tipos de fibras y se pueden obtener de los recursos de la naturaleza, a continuación, en la figura se presenta la clasificación general de los grupos de fibras naturales.

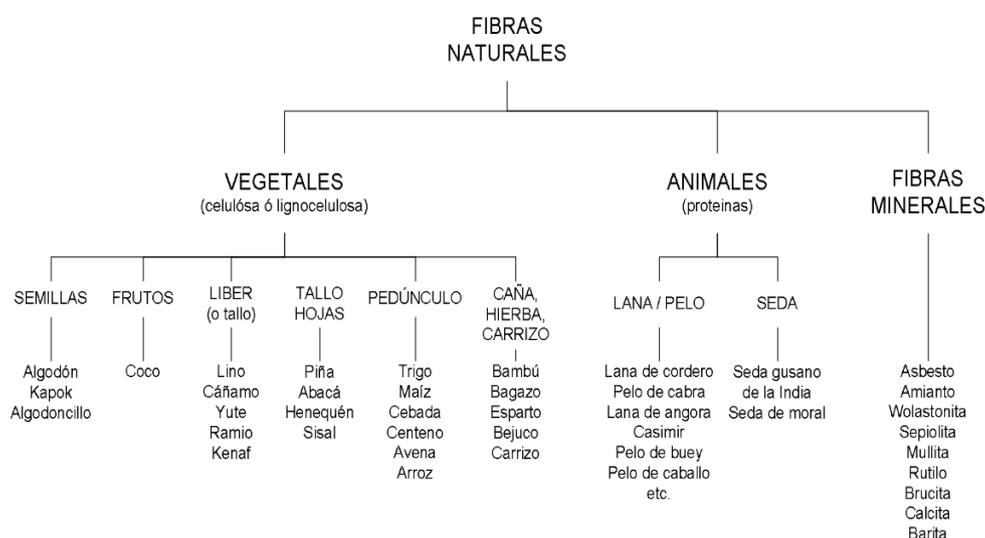


Figura 1.6. Clasificación de las fibras naturales según su naturaleza.

Fuente: [19]

La estructura de estas fibras es unidimensionales, delgadas o largas, se utilizan para la elaboración de tejidos, las fibras como tal se encuentran en su estado natural y requieren de mínimas adecuaciones para utilizarlos como material de textil. [20]

### **Fibras naturales de origen vegetal**

Como lo describe, [19] las fibras de origen vegetal se conocen por ser materiales fibrosos que se extraen de la planta, pueden ser plantas anuales o plantas arbóreas madereras, ya que se encuentran en las hojas, troncos fruto o de la misma semilla, cada una de ellas se los clasifican por el conocido fajo. Estas fibras son conocidas también como lignocelulósicas por su forma celulosa o lignina que pose su estructura, en la siguiente tabla se clasifican acorde se extra la fibra de la planta.

Tabla 1.5. Clasificación de las fibras vegetales según su extracción.

<b>Tipo de Fibras</b>	<b>Nombre</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Zona geográfica</b>	<b>Nombre botánico</b>
<b>Fibras de los troncos</b>	Lino	1,5	Zonas templadas	Linum
	Cáñamo	1,4	Zonas templadas	Cannabis sativa
	Yute	1,3	Zonas tropicales	Corchorus
<b>Fibras de las hojas</b>	Abacá	1,3	Trópico de ecuador	Musas textiles
	Sisal	1,5	Zonas secas	Agave cabuya negra
	Chambira	1,24	Zonas tropicales	Astrocaryum Chambira
<b>Fibras de semillas o frutos</b>	Algodón	1,5	Zonas semihúmedas	Gossypium incanum
	Coco	1,2	Zonas semihúmedas	Cocos nucífera

Fuente: [19]

### **Fibras naturales de origen animal**

Estas fibras son de origen animal, usados en la industria textil, por sus filamentos que sirven para la obtención de telas, la producción de este tipo de telas se estratifica de los filamentos proteínicos seda, lanas, pieles en la producción de productos textiles y beyones. [21]

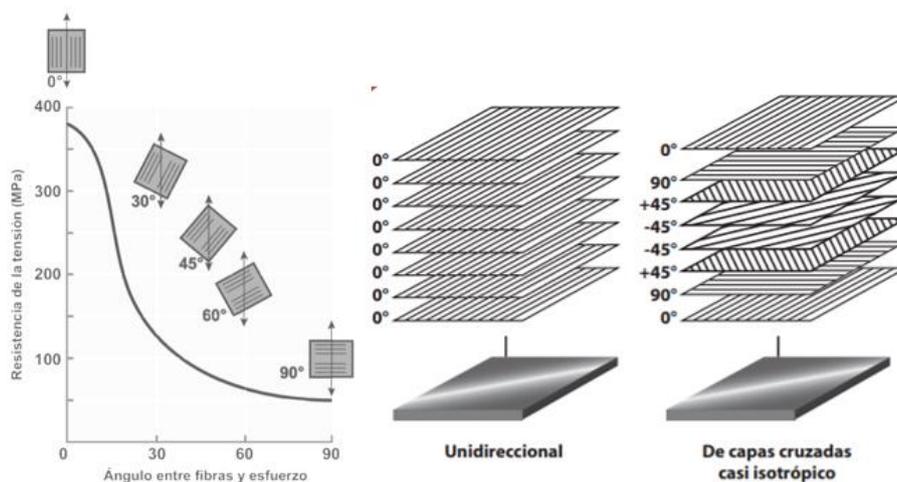
Lana: Su producción se da de los animales domésticos tales como la oveja, la alpaca, la vicuña, el camello o la llama de los andes, la concepción de la lana puede darse de la siguiente manera:

- Lana virgen
- Lana rica en virgen
- Lana clorada
- Lana peinada
- Lana cardada

Seda: Procedente de glándulas sedosas, es natural por la proveniencia de los gusanos de seda, se lo extrae de los capullos de los gusanos una vez que la seda líquida se seca dando la forma endurecida del capullo, se lo procesa y se obtiene un hilo continuo de una elevada fuerza, el diámetro de cada hilera varia entre 10 a 13 micras, es una de las fibras con mayor absorción, y baja conductividad eléctrica. [20] [21]

### 1.2.9. Orientación de las fibras

La orientación de las fibras de refuerzo permite obtener beneficios en las propiedades de los materiales, siendo este un factor importante en la conformación del material, las configuraciones unidireccionales con fibras largas y continuas generan propiedades anisotrópicas, resistencia y rigidez paralelamente a las fibras con direcciones a la carga de aplicación, el refuerzo puede ingresar a la matriz en direcciones paralelas o perpendiculares por medio de capas ( $0^\circ$ ,  $\pm 45^\circ$ ,  $90^\circ$ ), generando así refuerzos en diversas direcciones, en la figura 1.7 se presenta el ángulo de orientación y la resistencia a la tracción acorde a la orientación en las fibras. [12]



**Figura 1.7.** Orientación para capas en la elaboración de materiales híbridos.

**Fuente:** [12]

### 1.2.10. Tejidos de las fibras

En el presente párrafo se describe las armaduras frecuentemente utilizados como refuerzo de las resinas en la conformación de los materiales compuestos los tejidos son empleados para las fibras naturales, la estructura del tejido se da en forma genérica, en donde se le hace hileras a la fibra natural donde se presenta en cuerpo fino y alargado produciendo las características de flexibilidad y resistencia en forma individual, las hileras se pueden disponer en diferentes entrecruzamientos para dar lugar al tejido que se ven conformados por los siguientes elementos:

- Trama: Es el conjunto de hilos que van en sentido transversal al tejido.
- Urdimbre: Son el conjunto de hilos que se disponen de manera longitudinal al tejido.
- Cruzamiento: Conocido por ser el paso de cada hilo mediante la trama por encima o por la trama por debajo de cada hilo de la urdimbre.
- Armadura: Conocido también con el nombre de ligamento ya que se distribuye por los hilos del tejido, proporcionando saltos y cogidos por todo el tejido. [22]

#### Tejido plano o tafetán

La estructura de este tejido es conformada por medio de un hilo de trama que se cruza alternativamente por debajo y por encima del hilo de la urdimbre, el más frecuente utilizado en la mayor parte de artesanías es el que se presenta en la figura 1.8, siendo este el más característico del resto de tejidos.0

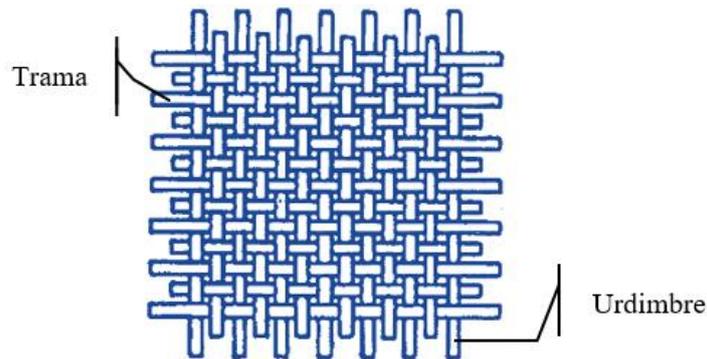


Figura 1.8. Vista de un tejido plano por urdimbre.

Fuente: [22]

### 1.2.11. Matriz polimerica en los materiales compuestos

Cumple la función de unir los elementos del refuerzo, combinando así la parte polimérica, conjuntamente con las fibras sintéticas y las fibras naturales, entre las funciones que cumple la matriz polimérica se puede describir las siguientes:

- Difunden los esfuerzos a las fibras por medio de la interfaz de fibra a fibra y matriz.

- Aseguran a las fibras de los esfuerzos de compresión.
- Combina las fibras de refuerzo mediante fuerzas adhesivas.
- Protegen a las fibras de agentes externos, como el ataque químico, la humedad etc. [9]

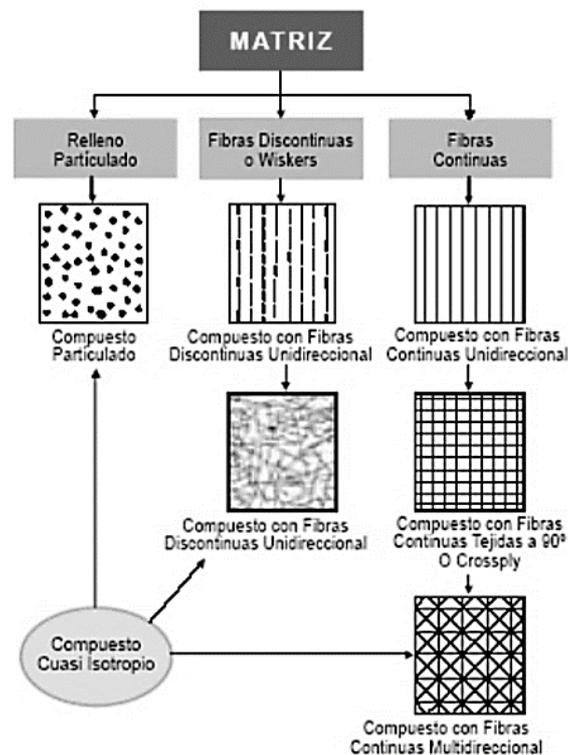


Figura 1.9. Matriz y su combinación con los refuerzos.

Fuente: [12]

### 1.2.12. Clasificación de las resinas termoestables

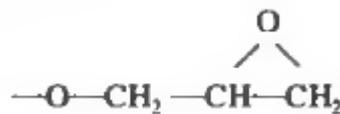
#### Resinas termoestables

Se presenta inicialmente en estado líquido viscoso, mediante la reacción irreversible se transforma en gel llegando así a su estado sólido mediante la influencia de calor, luz o bien con los agentes fotoquímicos y agentes químicos que actúan como combinadamente lo que se activan las cadenas poliméricas aumentando su peso molecular a esta reacción se conoce como el proceso de curado. [23]

#### Clasificación de las resinas comerciales

- **Resinas epoxi:** Es una resina poliéster contiene mayor contexto epoxídico, lo que le permite ser una de las resinas más utilizadas en materiales compuestos de alta calidad, posee altas propiedades físicas y mecánicas que las resinas de vinilester y poliéster.
- **Resinas poliéster:** Son utilizadas a nivel mundial como matrices termoestables para embarcaciones, se caracteriza por poseer una baja temperatura de transición vítrea y por la gran variedad existente en el mundo.

- **Resinas vinilester:** utilizados para la fabricación de materiales compuestos resistentes a los ataques químicos, es caracterizado por poseer excelentes propiedades físico – químicas en el proceso de curado.
- **Resinas poliimida:** Es utilizado principalmente para el campo de las fuerzas armadas, posee excelente resistencia a las altas temperaturas considerable hasta los 250 °C, para ser moldeado se utiliza una temperatura de 300 °C y la temperatura del postcurado es de 400 °C.
- **Resinas fenólicas:** Son utilizadas para requerimientos facultativos frente a las altas temperaturas, poseen características eléctricas, resistencia a los agentes químicos y resistencia al choque. [9] [23]



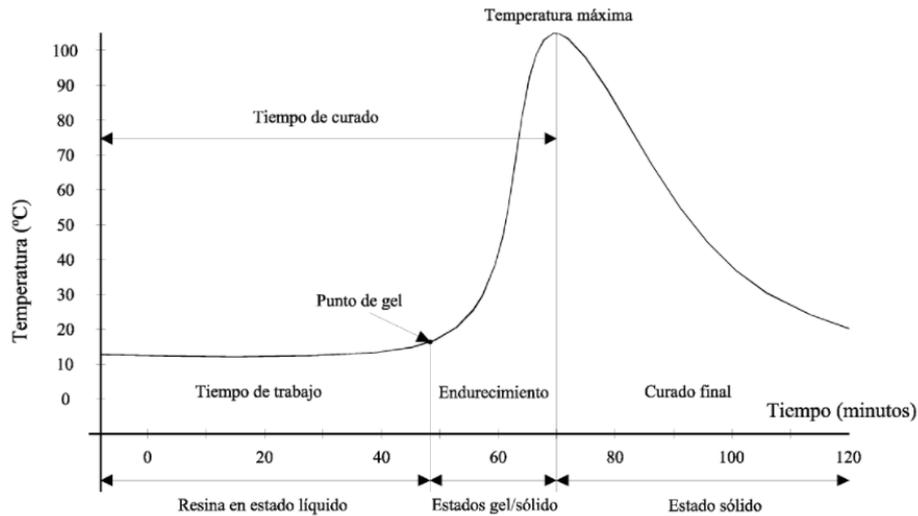
**Figura 1.10.** Reacción de las resinas epoxi del tipo glicidiléter.

**Fuente:** [24]

### **Proceso de curado de las resinas termoestables**

Como lo describe [23], las diferentes etapas que debe cumplir el proceso del curado de la resina se dan por la unión de los monómeros, para formar los dímeros formando así cadenas poliméricas que se ramifican y se endurecen a paso del tiempo de secado llegando así a su estado sólido.

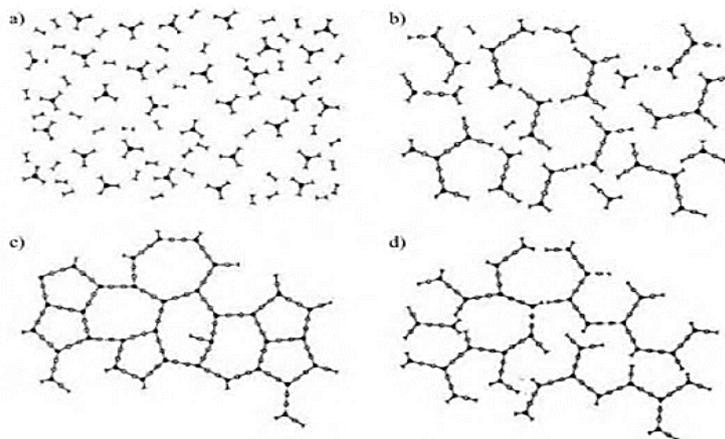
Para alcanzar el estado sólido de las resinas se emplean varias sustancias, como el catalizador o el acelerador que sirven como agentes activadores de los monómeros de las resinas, alcanzando así el endurecimiento de la resina y aumentando su viscosidad, llegando así a imposibilitar la impregnación de los refuerzos en la parte interna de la matriz, una vez que alcanza el punto de gel las moléculas generan calor de forma exotérmica llegando a endurecer la resina, en la figura 1.11 se observa el proceso de curado en relación al tiempo y temperatura que adquiere al reaccionar con los aceleradores de la mezcla. [9]



**Figura 1.11.** Proceso de curado en relación al tiempo y temperatura.

**Fuente:** [9]

El proceso de curado es complejo debido al cambio que se obtienen en las diferentes etapas de gelificación y vitrificación. La reacción ente los reactivos prepolímero y el agente de reticulación, formando cadenas lineales que darán lugar a las cadenas ramificadas y llegar así a las estructuras ramificadas, en la figura 1.12 se presenta el curado termoestable a) monómero y el agente de reticulación, b) ramificación y crecimiento de las cadenas, c) estructura gelificada incompleta, d) estructura del curado termoestable. [24]



**Figura 1.12.** Curado y ramificación de la matriz termoestable.

**Fuente:** [24]

### 1.2.13. Regla de las mezclas en materiales compuestos con fibras

Por lo general un material compuesto es aquel que se encuentra formado por fibras rectas y largas situados en la parte interna de una matriz que mantiene las fibras unidas y distribuye los esfuerzos, las fibras soportan las cargas aplicadas mientras que por otro lado la matriz es tolerante al daño de los golpes y del comportamiento de la fatiga.

La secuencia de orientación y apilación es de suma importancia ya que se puede conseguir un sin número de comportamientos radicalmente como la diferencia en las resistencias del material, rigidez, tolerancia al daño, estabilidad dimensional o de laminación. La elaboración de la geometría del material compuesto debe realizarse de manera iterativa permitiendo así conocer cuál será el comportamiento ortótropo de los materiales compuestos para sacar el mejor rendimiento en los análisis de las propiedades mecánicas del material, la única desventaja que lleva la fabricación de los materiales compuestos es el costo, la diferencia en todo ello es que presenta las siguientes características una vez fabricado el material. [25]

### **Características de los materiales compuestos**

- Elevada resistencia a la fatiga
- Alta rigidez en su estructura
- Posee la mejor relación en resistencia/peso
- Resiste temperaturas elevadas
- Posee un elevado módulo de Young

Al hablar del material compuesto es necesario conocer el método de cálculo que se requiere para obtener la densidad total del material es decir la densidad del material reforzado con fibra por lo que se describe las ecuaciones pertinentes para conocer el camino del respectivo cálculo. [25]

### **Regla de la mezcla**

Se presenta la fórmula del cálculo para la densidad del material compuesto ( $\rho_c$ ) en la ecuación 1.1

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec. 1.1}$$

De acuerdo a la ecuación se conoce que ( $f_m$ ) es la fracción volumétrica de la matriz y ( $\rho_m$ ) es la densidad de la matriz, también se describe que  $f_f$  es la fracción volumétrica de la fibra y  $\rho_f$  es la densidad de la fibra del material compuesto, en la ecuación 1.1 se deduce que:

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec. 1.2}$$

La conductividad térmica y eléctrica se predice mediante la regla en el caso que las fibras sean continuas y unidireccionales, dando así con exactitud los balances de la ecuación. Se presenta la fórmula de cálculo para la conductividad térmica del compuesto ( $K_c$ ) en la ecuación 1.3

$$K_c = f_m K_m + f_f K_f \quad \text{Ec. 1.3}$$

En el caso de la conductividad térmica ( $\sigma_c$ ) se presenta la fórmula de cálculo en la ecuación 1.4

$$\sigma_c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f \quad \text{Ec. 1.4}$$

### **Proceso de molde abierto**

Estos procesos son relacionados con la forma más habitual del conformado del material lo cual se utilizan varias técnicas y métodos como se describen a continuación:

- Método de contacto manual
- Técnica de proyección
- Técnica de la bolsa de vacío
- Técnica por autoclave
- Enrollamiento de filamento [26]

### **Conformado de materiales compuestos**

El uso de las tecnologías cada vez se encuentran en mejoras constantes es por ello como lo describe [27] se disponen de diversos procesos en la conformación de los materiales compuestos de matriz polimérica, dentro de ellas se encuentra el moldeo por contacto, por vacío, moldes por vía líquida y los autoclaves que permiten obtener partes de gran calidad en relación de fibra/resina con contenidos disminuidos en porosidad, el proceso comúnmente usado por el bajo costo se presenta por la bolsa de vacío (BV) en donde se aplica la presión atmosférica para llevar a cabo el laminado conforme aumenta la presión de vacío con la extracción del aire en la parte interna del sistema.

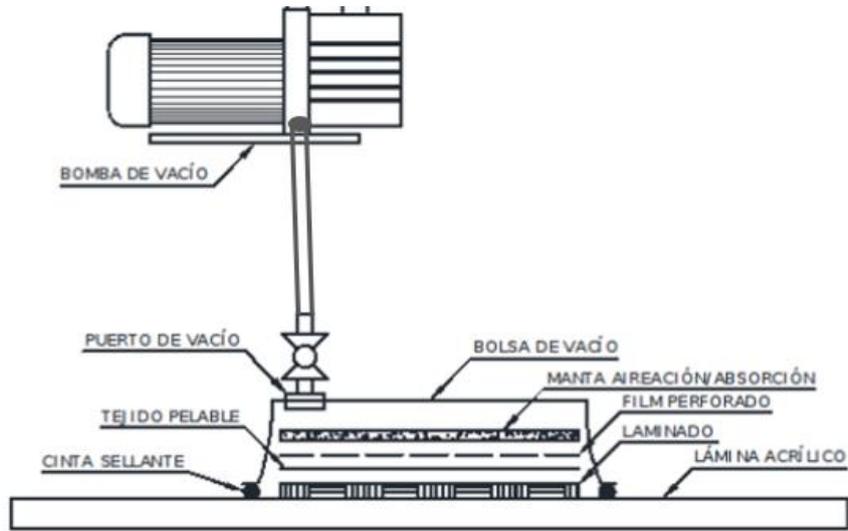
### **Técnica de manufactura de materiales compuestos**

La característica más común es combinar el tipo de refuerzo con la matriz y su agente de curado es por ello que se debe elegir el proceso más adecuado para elaborar el conformado del material compuesto en donde se consideran los siguientes parámetros:

- Tamaño del elemento
- Forma y geometría del elemento
- Tipo de fibra (refuerzo) y resina (matriz)
- Características mecánicas que se requieren obtener
- Acabado superficial
- Número de elementos a fabricar
- Costo de manufactura [28]

### **Técnica de la bolsa de vacío (BV)**

En la aplicación del (BV) se utilizan varios recursos que permiten llevar a cabo la práctica del método el cual consiste del film perforado, manta de absorción y la bolsa de vacío el cual se fija con una cinta sellante.



**Figura 1.13.** Proceso de vacío de aire de la parte interior del molde.

Fuente: [27]

### Implementos de la técnica del vacío

**Ventosa:** Es el elemento que se conecta con la manguera al interior del laminado, consta de una placa de cierre y una arandela de estanquidad, se posiciona en zonas que los fallos queden ocultos.

**Manguera:** Este elemento se conecta con el equipo de vacío conjuntamente con la ventosa permitiendo así el paso del aire a ser extraído de la bolsa de vacío.

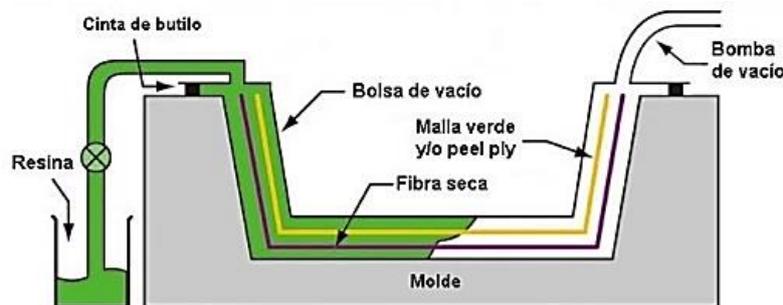
**Vacuómetro:** Este elemento permite controlar los niveles de vacío del interior de la bolsa, puede ser medido en bares o en milímetros de mercurio. [17]

En la figura 1.9 se demuestra el ejemplo de la técnica de vacío, generalmente esta técnica permite que las fibras de refuerzo se vayan adhiriendo correctamente a las impregnación de cada capa del molde que se está conformando como material compuesto, ante la aplicación la bolsa de vacío se encuentra en el estado equilibrado a presión atmosférica, la bomba de vacío extrae todo el aire desde el interior de la bolsa, esto permite que la bolsa se compacte y presida con el material compuesto. [27]

### Técnica por infusión

El proceso de conformado por transferencia de resina es conocido también por LCM-RIFT, el cual permite conocer las etapas a seguir para la fabricación de compuestos por resina termoestable con sus respectivos refuerzos, básicamente los más conocidos en este

tipo de conformado son las fibras de vidrio y carbono. Las principales etapas del proceso se detallan en la figura 1.14 el cual da seguimiento paso a paso del conformado del material compuesto, diseño, preparación, llenado, curado y postcurado, desmolde e inspección de calidad. [29]



**Figura 1.14.** Técnica por infusión de resina.

**Fuente:** [28]

### **Proceso de molde cerrado**

Es conocido por ser el proceso de fabricación de piezas de alta calidad, superando a las demandas del proceso por molde abierto, lo cual se denota en los acabados ingenieriles en la superficie del elemento fabricado por este tipo de tecnología, se describen algunos métodos que forman parte del respectivo proceso. [26]

- Pultrusión
- Moldeo por compresión de semielaborados
- Moldeo por transferencia de resina

### **1.2.14. Diseño de experimentos (DOE)**

El diseño de experimentos permite determinar que pruebas se deben realizar y de qué manera se deben elaborar para que los datos analizados brinden evidencias objetivas que permitan contestar cada una de las interrogantes planteadas, este tipo de diseño permite analizar varios experimentos que se presenta como un problema típico en cada investigación:

- Permite caracterizar y conocer nuevos materiales
- Ayuda en el diseño y rediseño de procesos o nuevos productos
- Mejorar el tiempo en ciclos de procesos
- Permite determinar diversos factores de un proceso que intervienen en el impacto de un producto final
- Permite comparar uno o dos materiales que presente mejores características para así ser elegido uno con los requerimientos más adecuados. [30]

### **Variabes, factores y niveles**

**VARIABLES DE RESPUESTA:** Mediante estas variables se conoce los resultados de cada prueba experimental, es decir se mide el desempeño de un proceso, logrando mejorar las variables de respuesta.

**Factores:** Existe el proceso de factores controlables, no controlables y factores estudiados, en donde los factores controlables nos indica que variables de proceso se pueden fijar en un nivel, por otro lado, los factores no controlables son variables que no se pueden controlar durante la operación del proceso y los factores estudiados son las variables que se investigan de acuerdo a los factores controlables y no controlables que influyen en las variables de respuesta.

**Niveles:** Son la combinación de diferentes valores que se otorgan por medio de niveles para el estudio del experimento, se le conoce como punto de diseño o tratamiento. [30]

### **1.2.15. Metodología de superficie de respuesta (MSR)**

De acuerdo a varias investigaciones realizadas el MSR nos permite determinar la relación entre respuesta y factores de entrada, el propósito marca en optimizar la respuestas y entender el mecanismo de funcionalidad, ya que se elaboran investigaciones de manera eficiente en cada factor inicial mediante el uso de experimentos de primer orden, seguido un segundo orden esto permite tener aproximaciones en la relación de superficie de repuesta con un ajuste óptimo del modelo en la regresión de segundo orden, estos pueden incluir a Diseño Central Compuesto (DCC) y el Diseño de Box-Behnken el cual tienen como objetivos principales los siguientes:

- Encontrar los mejores valores de respuesta en los factores experimentales.
- Cuantificar la relación entre valores de una o más variables medibles en el conjunto de factores experimentales que se encuentren en la respuesta. [31]

Esta metodología es una colección de estadística y métodos matemáticos que permiten el modelado y análisis de los problemas que se presentan en el campo de la ingeniería, en esta misma metodología se cuantifican los parámetros controlables de entrada y la respuesta de la superficie, en ello se presenta el presente procedimiento para obtener los resultados óptimos en la aplicación del respectivo método

- Diseño de experimentos para medición de respuesta de interés.
- Desarrollo del modelo matemático de segundo orden de MSR
- Encontrar el conjunto óptimo de los parámetros experimentales [32]

La naturaleza secuencial del MSR sigue el proceso que involucra a la respuesta y depende de los factores de entrada conocidos como variables de entrada o de proceso expresados

con  $X_1, X_2, \dots, X_k$ . La relación se presenta en la ecuación 1.5 donde se detalla que  $f$  es la función de la respuesta real y  $\varepsilon$  es un error que representa las fuentes de variabilidad con media de cero.

$$y = f(X_1, X_2, \dots, X_k) + \varepsilon \quad \text{Ec. 1.5}$$

El diseño y el modelado se consideran al mismo tiempo ya que de ello depende la respuesta esperada, el modelo puede ser de primer o segundo orden, de tal manera que el aspecto utilizado se presenta mediante el análisis de regresión lineal múltiple que se presenta con sus elementos básicos como el los parámetros de modelado, modelado ajustado, significancia del modelado. Prueba de falta de ajuste, residuos y coeficiente de determinación, de acuerdo al esquema del MSR se presentan las etapas fundamentales como es el cribado, búsqueda de primer orden o búsqueda de segundo orden, en la figura 1.12 se detalla el proceso que se debe considerar en la aplicación de la metodología de superficie de respuesta.

### **Diseño de primer orden**

Son utilizados para determinar los mejores tratamientos en términos de aumentar o disminuir el valor de respuesta, es posible dar mayores arreglos con repeticiones al centro para detectar la presencia de la curvatura o la falta de ajuste del modelo, al utilizar los diseños de primer orden se presencia el comportamiento característico de calidad, entre los diseños de primer orden más utilizados se encuentra el diseño factorial  $2^k$ , diseño factorial fraccionario, diseño de Plackett-Burman y los arreglos ortogonales AO ( $2^k$ ), el modelo de primer orden se presenta en la ecuación 1.6 de acuerdo al experimento. [33]

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad \text{Ec. 1.6}$$

### **Diseño de segundo orden**

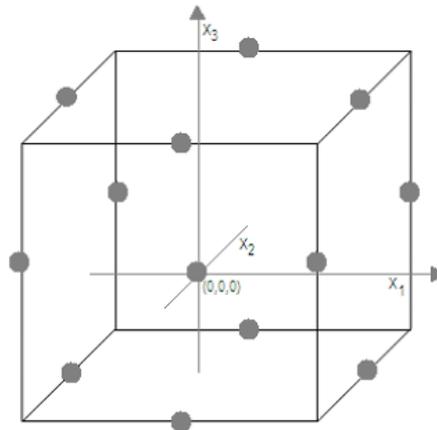
El diseño nos permite analizar los efectos cuadráticos, utilizado para explorar regiones que poseen estructuras complejas o también para hallar el punto óptimo que se halla en la región experimental, estos diseños deben poseer como mínimo tres factores y contener diseños ortogonales permitiendo así sean rotables en cada propiedad y llegar a estimular la varianza de respuesta en el diseño, el modelo se presenta en la ecuación 1.7 con el orden de estudio. [33]

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \text{Ec. 1.7}$$

### **Diseño de Box-Behnken**

Este diseño es la representación de diseños factoriales de dos niveles con bloques de diseño incompletos, el diseño de Box-Behnken tiene la posibilidad de presentar

combinaciones de tres factores lo que permite realizar la estimación de un modelo de segundo orden con pocas corridas, en la figura 1.15 se presenta la combinación de los tres factores en el diseño de Box-Behnken. [33]

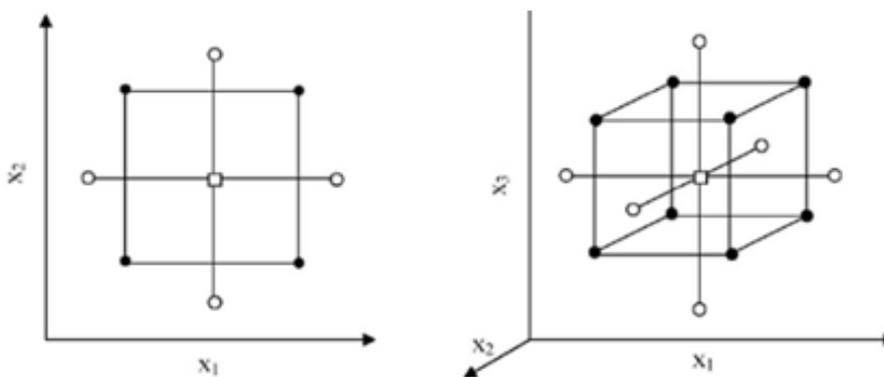


**Figura 1.15.** Diseño de Box-Behnken con tres factores.

**Fuente:** [33]

### Diseño central compuesto

Es uno de los métodos más adecuados para la implementación de una superficie cuadrática ayudando a optimizar los parámetros con un número mínimo de experimentos a su vez este diseño consta de un diseño factorial completo y un diseño factorial fraccionado, en la figura 1.16 se muestra el compuesto central de diseños para la optimización de dos o más variables. [32]



**Figura 1.16.** Optimización de dos o más variables mediante el Diseño Central Compuesto.

**Fuente:** [32]

### 1.2.16. Supuestos paramétricos

Al elaborar un trabajo tipo experimental o investigativo se consideran básicamente las pruebas paramétricas donde se aplican criterios al cumplimiento de los diversos supuestos que se consideran a tomar en el modelo experimental, eso implica considerar un tratamiento adecuado mediante la distribución normal, igualdad en varianzas y

respectivamente la independencia de los residuos una vez elaborado el número de corridas experimentales en cada supuesto. [30]

### **Pruebas estadísticas y valor de significancia**

**Hipótesis:** Se conoce como hipótesis estadística a la afirmación de valores de los parámetros de un proceso que se requieren probar, en base a información obtenida de cierta población. [30] Se pueden describir dos hipótesis en la hipótesis estadística como es:

**Hipótesis nula ( $H_0$ ):** Establece la igualdad entre las medias, varianzas y los coeficientes de correlación, generando los datos mediante procesos aleatorios.

**Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):** Permite al usuario demostrar una fuerte evidencia contra  $H_0$  lo que permite rechazar y en el caso de no presentar una fuerte evidencia no se rechaza a la hipótesis nula.

**Selección de pruebas estadísticas:** Al dictaminar una prueba estadística es necesario conocer el nivel de significancia ( $\alpha$ ) el cual indica la posibilidad de riesgo en rechazar  $H_0$  en el estudio experimental, los valores de significancia se dan entre 0.05 o 0.01. Por otra parte, en la prueba estadística se considera el valor  $-p$  lo que nos indica la probabilidad de obtener los datos estadísticos de la prueba.

En el criterio de aceptación de la hipótesis nula se considera el valor  $-p$  del 5% lo que indica que existe una posibilidad mínima en 20 de rechazar lo permite establecer lo siguiente:

Si  $P \leq \alpha$  aceptamos  $H_1$

Si  $P \geq \alpha$  aceptamos  $H_0$

#### **1.2.17. Tratamientos de datos**

De acuerdo a la verificación de los supuestos paramétricos, en el caso de no inducir o llegar al valor indicado del análisis del  $p$  – valor, se elabora el tratamiento o transformación de datos mediante Box-Cox de tal forma los respectivos valores de transformación se estabilizan y cumplen con los supuestos paramétricos de análisis.

#### **1.2.18. Función de deseabilidad en la optimización de respuestas**

Es conocido por brindar soluciones a las repuestas múltiples en función del espacio de factores que se consideran en la deseabilidad global (DG) lo que permite convertir un problema de optimización multivariado, en un problema de optimización univariado, para ello se considera un valor de deseabilidad individual  $d_i(x)$  con e intervalo de 0 – 1, ante ello es proporcional a las respuestas que se requieren por la deseabilidad global, si  $d_i =$

(0) el valor es no deseado y si  $d_i = (1)$  el valor es deseado en correspondencia a la respuesta, en el caso de obtener valores  $(DG) = 0$  todo el proceso no será aceptado, en donde la función DG se expresa de la siguiente manera: [30]

$$DG = \sqrt[n]{d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n} = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_n)^{1/n} \quad \text{Ec. 1.8}$$

### 1.2.19. Ensayos de materiales

Los ensayos en los materiales tienen como fin hallar las propiedades de los materiales, la clasificación de ensayos se puede describir a continuación:

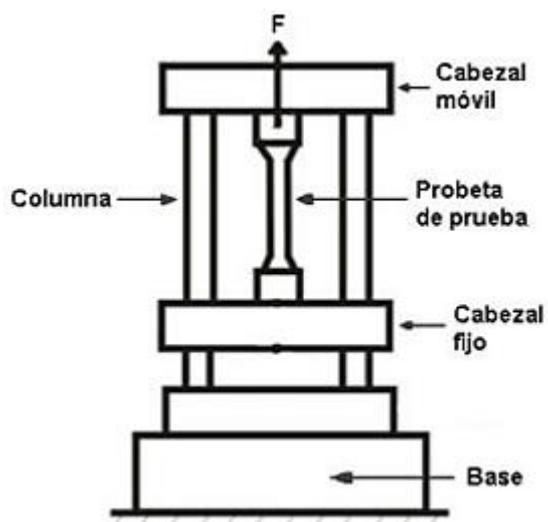
- Ensayos científicos
- Ensayos de control-verificación
- Ensayos de campo
- Ensayos de laboratorio
- Ensayos destructivos
- Ensayos no destructivos

En materiales compuestos para hallar las propiedades mecánicas se elaboran los ensayos destructivos respectivamente, cada proceso que se elabora se basa en normas que permiten comparar resultados de ensayos obtenidos en diferentes laboratorios, permiten la obtención de productos más uniformes y en reducidos costos, a continuación, se describen la normativa que permiten elaborar los ensayos en los materiales: [34]

- ASTM: Es una norma creada por la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (American Society for Testing Materials).
- UNE: Una Norma Española abarca un conjunto de normas tecnológicas creadas por los comités técnicos de normalización.
- ISO: Organización Internacional de Normalización (International Organization for Standardization) [35]

### 1.2.20. Ensayos mecánicos de tracción – flexión - impacto

**Tracción:** Es un ensayo mecánico destructivo el cual permite determinar las diferentes propiedades de los materiales las cuales pueden ser, resistencia, fluencia, ductilidad, etc. La normativa que permite evaluar este ensayo se da mediante la ASTM D3039, el cual brinda las respectivas especificaciones para realizar las probetas de ensayo en el análisis de materiales.

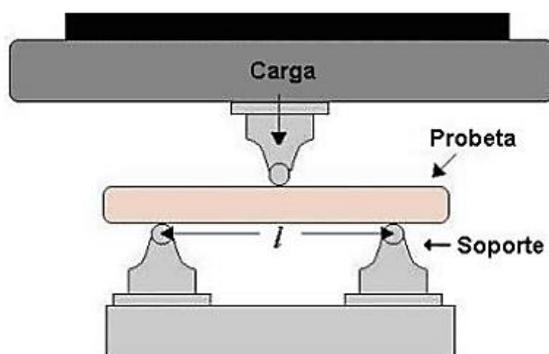


**Figura 1.17.** Ensayo mecánico destructivo a tracción.

Fuente: [28]

De acuerdo a la normativa ASTM D3039 para ensayos en materiales compuestos especifica el diseño de las respectivas probetas, lo cual permite ser diseñado de la mejor manera logrando aplicar la mejor fuerza en la muestra y previniendo las fallas prematuras en el respectivo ensayo a tracción.

**Flexión:** Es característico por promover esfuerzos de tracción y compresión de manera simultánea, el ensayo se ejecuta mediante una maquina universal y la normativa que respalda el ensayo es la ASTM D7264.



**Figura 1.18.** Ensayo mecánico destructivo a Flexión.

Fuente: [28]

**Impacto:** Permite determinar la capacidad de soporte de un material a cargas aplicadas de manera instantánea con la caída de una masa a cierta altura que impacta sobre la probeta, la normativa de respaldo en los análisis se basa en la ASTM D5628. [34]

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

- Optimizar las respuestas de las propiedades mecánicas del material compuesto de matriz epoxi reforzada con fibra sintética (vidrio) y fibra natural (chambira) mediante el uso de la metodología de superficie de respuesta (MSR).

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

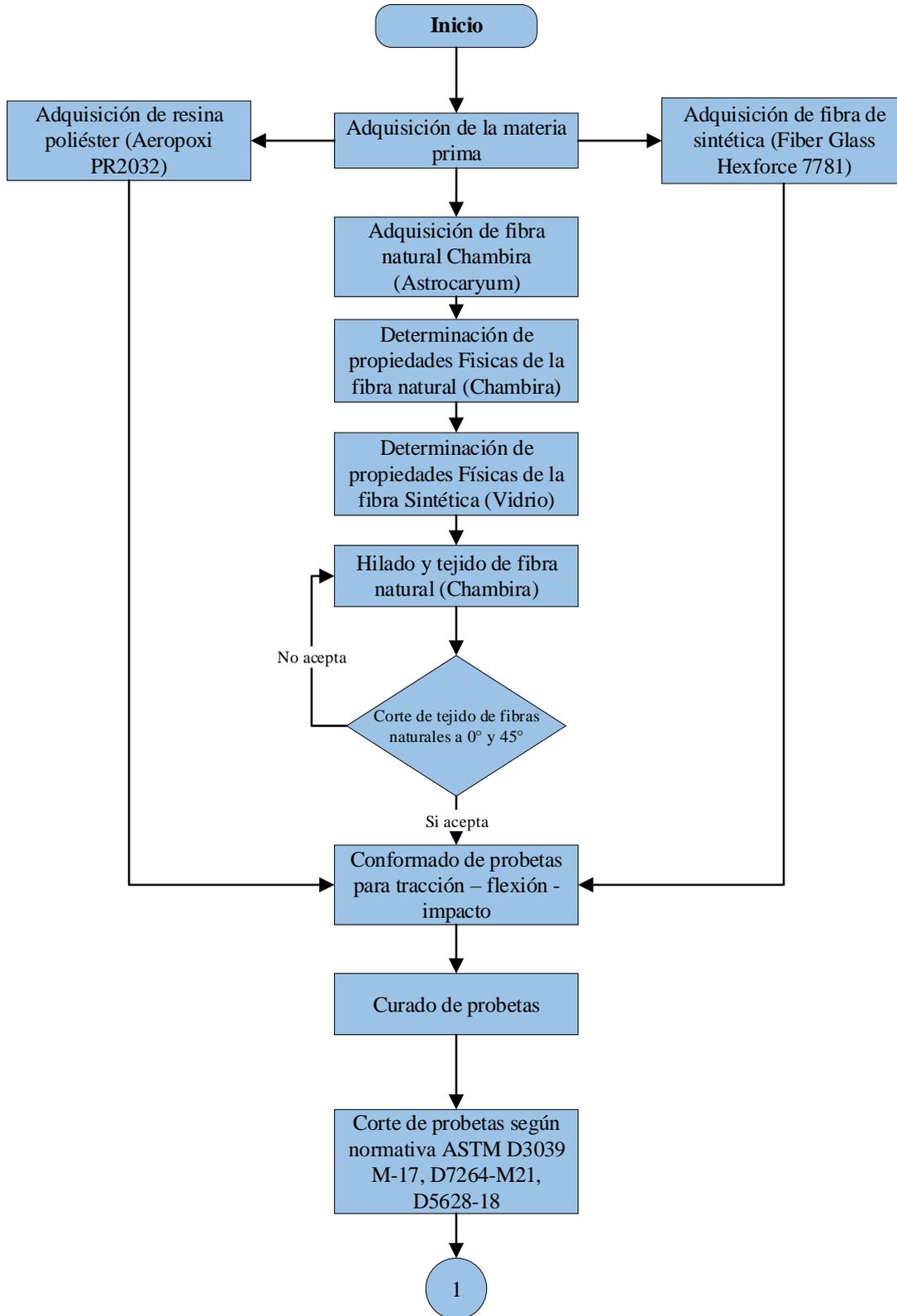
- Determinar los parámetros de conformado del material compuesto (factores y niveles) temperatura de curado y orientación del refuerzo de la fibra de chambira.
- Emplear un diseño de experimentos bajo la Metodología de Superficie de Respuesta para obtener la mejor configuración de casos y encontrar las propiedades mecánicas.
- Determinar las propiedades mecánicas del material compuesto acorde a los ensayos de tracción, flexión y impacto, mediante la normativa ASTM D3039, ASTM D7264 y ASTM D5628.
- Determinar la optimización de las respuestas de las propiedades mecánicas bajo MSR (función de deseabilidad, coeficiente de determinación, p-valor, graficas de optimización).

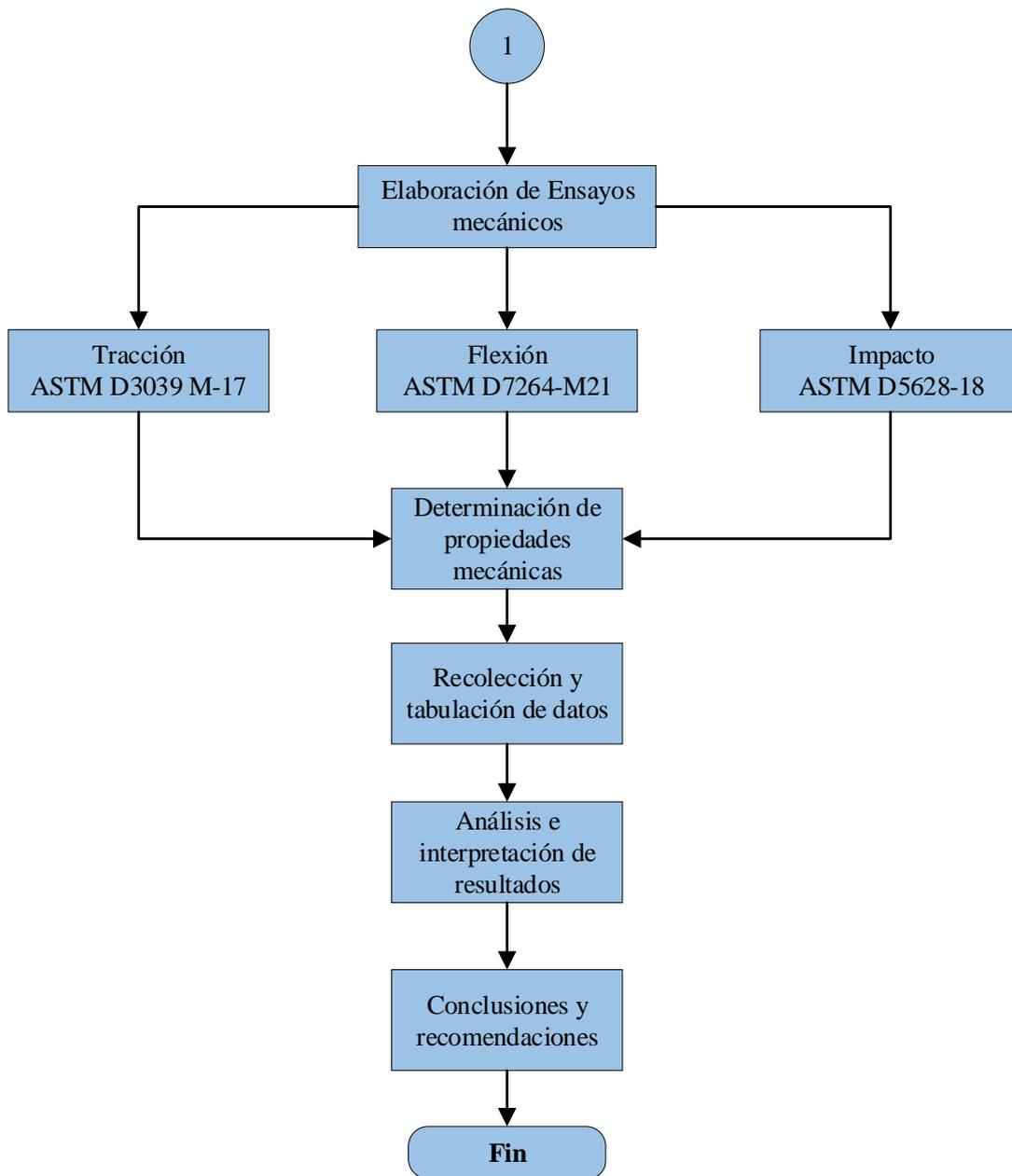
## CAPITULO II

### 2. METODOLOGÍA

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

Se detalla el flujograma a seguir en el respectivo trabajo experimental.





**Figura 2.1.** Diagrama de procesos del trabajo experimental.

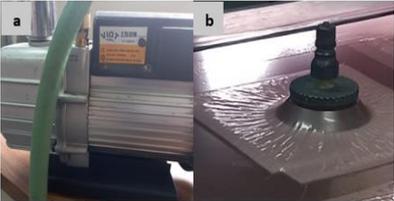
**Fuente:** [Autor]

## 2.2. Materiales

Son los recursos físicos que permitirán elaborar la investigación experimental y el conformado de los casos de estudio para el análisis de datos.

Tabla 2.1. Materiales de aplicación en el conformado del material compuesto.

Denominación	Determinación	Ilustración
Resina epoxi	<p>Marca: AEROPOXI PR2032</p> <p>Endurecedor: Epoxy Hardener PH3630</p> <p>Densidad (<math>\rho</math>): 1,16 g/cm<sup>3</sup>.</p>	
Tejido de fibra de Chambira	<p>La fibra se encuentra en las provincias de Napo y Pastaza en el centro de los pobladores indígenas, sirve para elaborar artesanías y vestimenta para los pobladores.</p>	
Fibra de vidrio	<p>Marca: Fiber Glass HexForce 7781</p> <p>Material susceptible para el uso en el conformado de material</p>	
Cinta de butilo	<p>Butilo AN-3 actúa como sellador en el proceso de la bolsa de vacío</p>	
Elementos de absorción telas y películas	<p>Breather: Tela absorbente que se utiliza para sorber la resina excedente</p>	

	Peel ply: De uso desmoldante, no se adhiere al tener contacto con la resina.	
	Baggin film: película plástica que contribuye al proceso de vacío.	
Balanza digital	Marca: CAMRY, permite realizar las relaciones en peso con el material de refuerzo y la matriz	
Bomba de vacío	Modelo: VIOT VPES3 Potencia: ¼ HP Succión: 2,75 ft <sup>3</sup> /min Voltaje: 110V / 60Hz	
Elementos de seguridad personal	Permiten evitar enfermedades catastróficas el uso del mandil, guantes de látex, mascarilla.	

### 2.3.Métodos

#### Nivel o tipo de investigación

##### ➤ Exploratorio

Mediante este método se conocerán los parámetros iniciales de conformado del material híbrido de matriz de resina epoxi y refuerzos de fibra de vidrio y fibra tejida de chambira, de tal manera se analizarán los factores de entrada como la orientación

de la fibra tejida de chambira, la temperatura de curado y las fracciones volumétricas para las combinaciones de las respectivas configuraciones de las probetas.

➤ **Descriptivo**

Se utiliza el método descriptivo para indicar las distintas combinaciones que se efectuarán en la conformación de las respectivas probetas y se pueda determinar las propiedades mecánicas en los ensayos de tracción, flexión y impacto.

➤ **Bibliográfico**

Se utiliza este método para la recolección de información de libros, normas, artículos científicos y diversas fuentes de información que permitan obtener una gama amplia de información en base a los hallazgos de la caracterización de propiedades mecánicas de los materiales compuestos y se del respectivo sustento en los diversos factores a ser analizados.

➤ **Experimental**

Con la aplicación de este método se conllevará la observación del conjunto de datos que se obtendrá de cada ensayo destructivo aplicado en los distintos casos y combinaciones de las probetas, de tal manera que permitirá medir la variable independiente del diseño experimental.

## **Metodología**

### **Diseño de experimentos**

En el presente estudio se emplea la metodología de diseño de superficies, el cual permite desarrollar y generar modelos que describan la variable de respuesta en determinada región experimental, básicamente se engloba el diseño de superficie mediante un modelo ortogonal permitiendo así aumentar la eficiencia en la obtención de los datos deseados por el investigador, a su vez este método permite tratar factores que influyen directamente en el estudio como es la orientación de las capas del material compuesto y la temperatura, en base a estos factores se puede desarrollar los casos y combinaciones pertinentes dentro del trabajo investigativo. Al utilizar la metodología de diseño de superficie el investigador se encuentra en plena obligación elaborar el diseño, modelo y optimización.

Para el respectivo diseño experimental se consideran tres factores y dos niveles respectivamente para cada uno, en los cuales se detalla de manera específica en la tabla 2.1, de manera que cumple con el requerimiento para el respectivo estudio.

Tabla 2.2. Factores de control del estudio experimental.

<b>Factores controlables</b>				
<b>Denominación</b>	<b>Niveles</b>			<b>Unidad</b>
Orientación 1 (Fibra Natural)	-45	0	45	Grados (Inclinación)
Orientación 2 (Fibra Natural)	-45	0	45	Grados (Inclinación)
Temperatura de curado al horno	60	90	120	°C (Grados Centígrados)

Fuente: [Autor]

Mediante los factores de control se procede a detallar las variables de salida que se desean obtener, por lo cual la población de probetas se da en base a una rigurosa combinación de materiales tales son; dos capas de fibra natural (Chambira) en diferentes orientaciones tal es el caso del factor controlable y una capa de fibra sintética (Vidrio), dando un total de tres capas para el refuerzo que es combinado con la matriz de Resina epoxi de la marca AEROPOXI, en base al MSR el conjunto de probetas se obtiene bajo el proceso de moldeo por vacío, influyendo en ello los factores y niveles de la respectiva investigación.

Tabla 2.3. Variables de salida deseables de ensayos.

<b>Variables de salida</b>	
Tracción	Esfuerzo máximo a la tracción, módulo de elasticidad, % de elongación.
Flexión	Esfuerzo máximo a la flexión, módulo de elasticidad, deflexión máxima.
Impacto	Energía de fallo

Fuente: [Autor]

Dentro del trabajo experimental se aplica el Diseño de Experimentos, para obtener el diseño de Superficie de Respuesta de Box-Behnken, el cual permite al investigador obtener de manera eficaz y eficiente el número de combinaciones conjuntamente con el respectivo factor de conformado del material compuesto. Los niveles se dan mediante el caso de combinación que se ejerce para cada muestra a ser elaborada

Tabla 2.4. Combinaciones del diseño experimental.

<b>Orden Estadístico</b>	<b>Orden Corrida</b>	<b>Tipo Puntos</b>	<b>Bloques</b>	<b>Orientación 1</b>	<b>Orientación 2</b>	<b>Temperatura</b>
37	1	2	1	-45	0	120
21	2	2	1	45	0	60
44	3	0	1	0	0	90
31	4	2	1	-45	-45	90
14	5	0	1	0	0	90
2	6	2	1	45	-45	90
13	7	0	1	0	0	90
17	8	2	1	45	-45	90
25	9	2	1	0	45	60
43	10	0	1	0	0	90
22	11	2	1	-45	0	120
36	12	2	1	45	0	60
29	13	0	1	0	0	90
7	14	2	1	-45	0	120
18	15	2	1	-45	45	90
20	16	2	1	-45	0	60
40	17	2	1	0	45	60
23	18	2	1	45	0	120
9	19	2	1	0	-45	60
16	20	2	1	-45	-45	90
28	21	0	1	0	0	90
33	22	2	1	-45	45	90
15	23	0	1	0	0	90
8	24	2	1	45	0	120
6	25	2	1	45	0	60
39	26	2	1	0	-45	60
38	27	2	1	45	0	120
19	28	2	1	45	45	90

24	29	2	1	0	-45	60
10	30	2	1	0	45	60
30	31	0	1	0	0	90
26	32	2	1	0	-45	120
3	33	2	1	-45	45	90
4	34	2	1	45	45	90
34	35	2	1	45	45	90
42	36	2	1	0	45	120
27	37	2	1	0	45	120
12	38	2	1	0	45	120
32	39	2	1	45	-45	90
11	40	2	1	0	-45	120
1	41	2	1	-45	-45	90
5	42	2	1	-45	0	60
35	43	2	1	-45	0	60
41	44	2	1	0	-45	120
45	45	0	1	0	0	90

Fuente: [Autor]

En la tabla 2.4, se presenta el número de caso de estudio, orientación de la primera capa de la fibra de vidrio, orientación de la segunda capa, el orden de capas y el número de réplicas que se obtendrán una vez obtenido el respectivo material híbrido.

Tabla 2.5. Diseño de Superficies mediante Box-Behnken.

<b>DISEÑO DOE / MSR</b>										
N° Caso	Orientación 1	Orientación 2	Temperatura	Orden de capas			N° de capas	Ensayo	N° de Replica	Total
				1	2	3				
1	0	-45	60	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
2	-45	0	60	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	

DISEÑO DOE / MSR										
N° Caso	Orientación 1	Orientación 2	Temperatura	Orden de capas			N° de capas	Ensayo	N° de Replica	Total
				1	2	3				
								Impacto	3	
3	45	0	60	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
4	0	45	60	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
5	-45	-45	90	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
6	45	-45	90	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
7	0	0	90	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
8	0	0	90	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
9	0	0	90	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
10	-45	45	90	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
11	45	45	90	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
12	0	-45	120	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
13	-45	0	120	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	

DISEÑO DOE / MSR										
N° Caso	Orientación 1	Orientación 2	Temperatura	Orden de capas			N° de capas	Ensayo	N° de Replica	Total
				1	2	3				
14	45	0	120	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	
15	0	45	120	FV	FCH	FCH	3	Tracción	3	9
								Flexión	3	
								Impacto	3	

Fuente: [Autor]

## 2.4. Hipótesis

La aplicación del análisis estadístico DOE – MSR en el material híbrido con refuerzos de fibra de vidrio, fibra de chambira y de matriz de resina epoxi permitirá la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

### 2.4.1. Variable independiente

Análisis estadístico DOE – MSR en el material híbrido con refuerzos de fibra de vidrio, fibra de chambira de matriz de resina epoxi.

### 2.4.2. Variable dependiente

Propiedades mecánicas

## 2.5.Operacionalización de variables

### Variable Independiente

Tabla 2.6. Variable Independiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e instrumentos
Material híbrido es aquel que se constituye por una matriz y refuerzos de fibras naturales y fibras sintéticas con propiedades diferentes, que permiten obtener mejores características con una serie de combinaciones.	Material Híbrido	Orientación de las fibras de chambira.	45	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación directa</li> <li>• Fichas de recolección de datos</li> <li>• Equipos de medición</li> <li>• Conformado al vacío de material compuesto</li> <li>• Normas ASTM               <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tracción ASTM D3039</li> <li>✓ Flexión ASTM D7264</li> <li>✓ Impacto ASTM D5628</li> </ul> </li> <li>• Bibliografía</li> </ul>
			0	
	-45			
		Temperatura de Curado	60 °C 90 °C 120 °C	
	Optimización	Diseño de experimentos	Superficie de Respuesta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Software estadístico</li> </ul>

Fuente: [Autor]

## Variable dependiente

Tabla 2.7. Variable Dependiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e instrumentos
Se les conoce como propiedades mecánicas a las características internas que posee el material, por lo cual el comportamiento se puede verificar mediante la aplicación de fuerzas externas.	Propiedades Mecánicas (Tracción, Flexión, Impacto)	Esfuerzo a la tracción	¿Cuál es la carga máxima de tracción?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación directa</li> <li>• Fichas de recolección de datos</li> <li>• Equipos de medición</li> <li>• Conformado al vacío de material compuesto</li> <li>• Normas ASTM                             <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tracción ASTM D3039</li> <li>✓ Flexión ASTM D7264</li> <li>✓ Impacto ASTM D5628</li> </ul> </li> <li>• Bibliografía</li> </ul>
		Módulo de elasticidad	¿Cuál será el módulo de elasticidad?	
		Esfuerzo a la flexión	¿Cuál es la carga máxima de flexión?	
		Módulo de flexión	¿Cuál es el módulo de flexión?	
		Resistencia al impacto	¿Cuál es la energía de impacto?	
	Optimización (DOE)	Valor - p	0 - 1	• Software estadístico
		Coef. Determinación	0 – 100%	

Fuente: [Autor]

## 2.6.Procedimiento

### 2.6.1. Adquisición de la materia prima

Los materiales descritos en la sección 2.2, son obtenidos de diversos lugares del Ecuador donde la procedencia de la fibra de chambira (*Astrocaryum Chambira*) se logró obtener en la provincia de Pastaza, en la ciudad de Shell – Ecuador, seguido a ello se procedió a elaborar el tejido de fibra de Chambira (*Astrocaryum*) por medio de un artesano cultural de la Provincia de Tungurahua, del canto Salasaka – Ecuador. Estos materiales son los refuerzos que se utilizan en el respectivo conformado a medida de ello se logró conseguir una longitud total de tres metros de tejido y 0,90 metros (m) de ancho de 8 cogollos de fibra natural de chambira los tejidos obtenidos se presenta en la figura 2.13, respectivamente elaborado el tejido de la fibra natural.



**Figura 2.2.** Tejido de fibra natural (*Astrocaryum chambira*).

**Fuente:** [Autor]

La fibra de vidrio HexForce 7781 (Fiber Glass Fabric), se obtuvo en la ciudad de Quito mediante los proveedores JEVSoluciones, a su vez se adquirió los elementos del proceso de vacío tales son, tela absorbente, manta de absorción, bolsa de vacío, cinta de vacío o butilo AN-3, los elementos contribuyen de manera eficiente en el desarrollo del respectivo conformado del material. La resina epoxi (AEROPOXI PR2032) se adquirió por medio del proveedor de SIMA-AUTOMOTRIZ ubicado en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua – Ecuador.

### 2.6.2. Determinación de propiedades físicas de la fibra natural (Chambira)

Es de suma importancia conocer una de las propiedades físicas más relevantes del respectivo trabajo investigativo, la densidad del material, se calcula mediante la relación entre la masa y el volumen, en este análisis se utiliza como masa la fibra natural de chambira, como fluido para el volumen se utiliza la resina AEROPOXI 2032 respectivamente, en la tabla 2.7, se demuestra a detalle el respectivo calculo, las unidades de la densidad son gramos/centímetro cubico ( $g/cm^3$ ).

Tabla 2.8. Densidad de la fibra natural de chambira tejida.

DENSIDAD DE FIBRA DE CHAMBIRA (TEJIDA)					
Muestra	Masa (g)	Volumen inicial (cm <sup>3</sup> )	Volumen final (cm <sup>3</sup> )	Promedio volumen (cm <sup>3</sup> )	Densidad experimental (g/cm <sup>3</sup> )
1	2,6642	80	81,90	1,90	1,4022
2	2,2951	80	81,85	1,82	1,2610
3	2,2504	90	92,00	2,00	1,1252
<b>Promedio de densidad</b>					<b>1,2628</b>

Fuente: [Autor]

Las pruebas elaboradas se desarrollaron mediante la medición de volumen, por medio de un vaso de precipitación para obtener el volumen inicial y una probeta graduada para obtener el volumen final, el peso se obtuvo mediante la aplicación de una balanza digital de marca MATEST. En la figura 2.14, se presenta el respectivo proceso para la obtención de la densidad experimental de la fibra natural de chambira.



Figura 2.3. Medición de volumen en mililitros (ml) y peso en gramos (g).

Fuente: [Autor]

### 2.6.3. Determinación de propiedades físicas de la fibra sintética (vidrio)

Para obtener la densidad de la fibra natural como de la sintética se aplicó la prueba de gravimetría, este método permite determinar la densidad de un material desconocido, por medio de mediciones físicas, de las cuales se obtienen valores reales lo que permiten al investigador hallar la propiedad física como es la densidad por la aplicación de la respectiva formula como es la relación de la masa y volumen, en la 2.8 se demuestra los valores obtenidos.

Tabla 2.9. Densidad de la fibra sintética (Vidrio).

<b>DENSIDAD DE LA FIBRA DE VIDRIO</b>					
<b>Muestra</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Volumen inicial (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen final (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Promedio volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad experimental (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>1</b>	2,9119	80	81,70	1,70	1,7128
<b>2</b>	2,6380	80	82,00	2,00	1,3190
<b>3</b>	2,7017	90	91,60	1,60	1,6885
<b>Promedio de densidad</b>					<b>1,5734</b>

Fuente: [Autor]

Cada una de las muestras se desarrollaron a temperatura ambiente, lo cual el tejido de la fibra natural y la fibra sintética obtuvieron la mojabilidad necesaria para sumergirse en el vaso de precipitación y de esa manera obtener la diferencia de volumen.

De tal forma cada una de las densidades halladas en esta sección se proceden a presentar en la tabla 2.9, de las cuales nos permiten elaborar el cálculo de la densidad del material compuesto en base a la fracción volumétrica, donde el material compuesto es el 100% de matriz y refuerzo.

Tabla 2.10. Densidad de la matriz y refuerzo.

<b>Densidades de los refuerzos y matriz</b>	
<b>Refuerzos</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Fibra de chambira (Astrocaryum)	1,2628
Fibra sintética de vidrio (HexForce 7781)	1,5734
<b>Promedio</b>	1,4176
<b>Matriz</b>	<b>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Resina Epoxi (AEROPOXI 2032)	1,1600

Fuente: [Autor]

## 2.6.4. Cortes de tejido de fibras naturales 0° y 45°

Tabla 2.11. Proceso de corte del tejido de fibra natural.

Ítem	Actividad	Detalle	Imagen
1	Marcado de superficie de corte a - 45°, 0° y 45°	Se elabora la medición respectiva de cada caso de estudio en la fibra natural, con la ayuda del flexómetro, marcador y regla se enmarca en dimensiones de 180 x 330 mm respectivamente.	
2	Pegado de cinta en superficie de la fibra	Con la ayuda de una cinta de masking de ancho de 2 cm se coloca en la superficie de la fibra para lograr mantener las fibras en el tejido sin ocasionar desligamiento en la misma.	
3	Corte de fibra natural	Una vez marcado y pegado la cinta en la respectiva superficie se procede a elaborar los diferentes cortes, obteniendo un total de 30 cortes en la fibra natural de chambira.	
4	Corte de fibra sintética	En los ítems 1,2 y 3 se menciona el proceso adecuado de corte, por ende, el proceso se repite para el corte de la fibra sintética con una sola orientación y no posee corte gradual obteniendo un total de quince cortes de la respectiva fibra de vidrio.	

Fuente: [Autor]

### 2.6.5. Determinación de densidad del material compuesto

Una vez obtenido los valores de las densidades de los refuerzos y de la matriz, se calcula el valor teórico de la densidad del material híbrido lo cual se utiliza la ecuación 1.1 el cual pertenece a la regla de las mezclas, de esa manera llegar a obtener el valor buscado de la densidad teórica del respectivo material. Con los valores obtenido en la tabla 2.8, obtenemos la densidad teórica del material del material.

La fracción volumétrica para el cálculo de densidad se desarrolla mediante el promedio total de los pesos en matriz y refuerzo de todos los casos de estudio, la cantidad del peso de la resina se calcula por medio de la siguiente formula:

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

Los términos que se describen en la siguiente tabla permiten entender el tipo de configuración y código en el cual van a ser elaborados cada caso

Tabla 2.12. Denominación y abreviaturas de fibras.

Denominación	Código
Fibra de vidrio	FV
Fibra de chambira	FCH
Orientación 0 - 0	SN

Fuente: [Autor]

Tabla 2.13. Peso de refuerzo y cantidad de peso en resina de los caos de estudio.

N° 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	SN	0	-45	60	35	17	40,94	92,94
2	FV	FCH	SN	-45	0	60	36	19	43,31	98,31
3	FV	FCH	SN	45	0	60	36	17	41,73	94,73
4	FV	FCH	SN	0	45	60	35	17	40,94	92,94
5	FV	FCH	SN	-45	-45	90	38	19	44,88	101,88
6	FV	FCH	SN	45	-45	90	36	18	42,52	96,52
7	FV	FCH	SN	0	0	90	38	20	45,67	103,67

N° Caso	Refuerozo 1	Refuerozo 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)					
8	FV	FCH	SN	0	0	90	38	22	47,24	107,24
9	FV	FCH	SN	0	0	90	36	18	42,52	96,52
10	FV	FCH	SN	-45	45	90	35	19	42,52	96,52
11	FV	FCH	SN	45	45	90	34	21	43,31	98,31
12	FV	FCH	SN	0	-45	120	35	18	41,73	94,73
13	FV	FCH	SN	-45	0	120	36	19	43,31	98,31
14	FV	FCH	SN	45	0	120	37	18	43,31	98,31
15	FV	FCH	SN	0	45	120	36	19	43,31	98,31
<b>Promedio total</b>							<b>36,07</b>	<b>18,73</b>	<b>43,15</b>	<b>97,95</b>

Fuente: [Autor]

El promedio de la cantidad de peso en masa para el refuerzo es de 54,80 gramos y la cantidad en peso para la matriz es 43,15 gramos, obtenido un total de 97,95 gramos para el conformado del material híbrido.

El cálculo de la fracción volumétrica para los refuerzos de fibra de vidrio (FV), fibra de chambira (FCH) y fracción volumétrica de la matriz (resina epoxi) se presenta en la tabla 2.10, tales valores son usados para obtener en porcentaje con el cual el material compuesto es conformado en todos los casos del respectivo trabajo experimental.

Tabla 2.14. Cálculo de fracciones volumétricas del refuerzo y matriz.

Cálculo de fracciones volumétricas – Material compuesto	
Denominación	Cantidad
Peso total del material compuesto (g)	97,95
Peso de refuerzo (g)	54,80
Peso de matriz (g)	43,15
Fracción volumétrica FV	$97,95 \text{ --- } 100 \%$ $18,73 \text{ --- } f_{f-FV}$ $f_{f-FV} = \frac{18,73 * 100\%}{97,95}$ $f_{f-FV} = 19,12 \%$ $f_{f-FV} = \mathbf{0,1912}$
Fracción volumétrica FCH	$97,95 \text{ --- } 100 \%$ $36,07 \text{ --- } f_{f-FCH}$

	$f_{f-FCH} = \frac{36,07 * 100\%}{97,95}$ $f_{f-FCH} = 36,82 \%$ $f_{f-FCH} = \mathbf{0,3682}$
Fracción volumetría de resina	$97,95 \text{ --- } 100 \%$ $43,15 \text{ --- } f_{R-epoxi}$ $f_{R-epoxi} = \frac{43,15 * 100\%}{97,95}$ $f_{R-epoxi} = 44,05 \%$ $f_{R-epoxi} = \mathbf{0,4405}$

Fuente: [Autor]

Densidad teórica del material compuesto en Fibra de Chambira y Fibra de Vidrio

$$\rho_c = f_{R-epoxi} * \rho_{R-epoxi} + f_{f-FCH} * \rho_{f-FCH} + f_{f-FV} * \rho_{f-FV}$$

$$\rho_c = (0,4405 * 1,1600 + 0,3682 * 1,2628 + 0,1912 * 1,5734) \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_c = \mathbf{1,2767} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

De acuerdo a la ecuación se conoce que ( $f_m$ ) es la fracción volumétrica de la matriz y ( $\rho_m$ ) es la densidad de la matriz, también se describe que  $f_f$  es la fracción volumétrica de la fibra y  $\rho_f$  es la densidad de la fibra del material compuesto.

Con respecto a la fibra sintética, se desarrolla un caso extra, el cual consiste en conformar el material compuestos con 3 capas de fibra de vidrio y resina epoxi el cálculo del material adicional se ejecuta mediante los siguientes valores obtenidos en fibra de vidrio 56,10 gramos de refuerzo, por medio de la ecuación 2.1, se calcula la cantidad de matriz (resina) a ser utilizado en el respectivo caso extra de análisis.

Tabla 2.15. Fracción volumétrica caso extra del refuerzo de FV y Resina epoxi.

Calculo cantidad de matriz	
<b>Peso del refuerzo – Fibra de vidrio (g)</b>	<b>56.10</b>
Cantidad de resina – Fibra de vidrio (g)	44.17
Total - Compuesto en Fibra de vidrio	100,27
Fracción volumétrica – Fibra de vidrio y Resina epoxi	
Fracción volumetría FV	$100,27 \text{ --- } 100 \%$ $56,10 \text{ --- } f_{f-FV}$ $f_{f-FV} = \frac{56,10 * 100\%}{100,27}$ $f_{f-FV} = 55,94 \%$ $f_{f-FV} = \mathbf{0,5594}$

Fracción volumetría de resina	$100,27 \text{ --- } 100 \%$ $44,17 \text{ --- } f_{R-epoxi}$ $f_{R-epoxi} = \frac{44,17 * 100\%}{100,27}$ $f_{R-epoxi} = 44,06 \%$ $f_{R-epoxi} = \mathbf{0,4406}$
-------------------------------	---

Fuente: [Autor]

Densidad teórica del compuesto en Fibra de vidrio

$$\rho_c = f_{R-epoxi} * \rho_{R-epoxi} + f_{f-FV} * \rho_{f-FV}$$

$$\rho_c = (0,4406 * 1,1600 + 0,5594 * 1,5734) \frac{g}{cm^3}$$

$$\rho_c = \mathbf{1,3912} \left( \frac{g}{cm^3} \right)$$

Es importante considerar una codificación pertinente para cada caso de estudio por lo que se destina de carácter eminente, la siguiente codificación que poseerá cada muestra en tracción – flexión – impacto, una vez elaborado el conformado del material y el respectivo curado, con la numeración respectiva de cada replica elaborada del 1 al 3, considerando estas características se presenta el orden del código por cada caso

$$\mathbf{V - C1 / 0. -45 / 60 - /T/F/I/ - /1/2/3/}$$

Donde: **V** – Material sintético con el que está elaborado el compuesto, **C1** – Es la designación del número de caso de estudio, **/0. -45/** - Es la orientación de la capa 1 y 2 de la fibra de Chambira, **/60/** - Es la temperatura de curado, **/T/F/I/** - Nos indica el tipo de ensayo sea tracción – flexión o impacto y **/1/2/3/** - Es el número de muestra por cada caso de estudio.

Tabla 2.16. Codificación de caso de estudio en muestras para ensayos mecánicos.

Caso	Tracción (T) - /1/2/3/	Flexión (F) - /1/2/3/	Impacto (I) - /1/2/3/
<b>1</b>	V – C1 / 0. -45 / 60 – T	V – C1 / 0. -45 / 60 – F	V – C1 / 0. -45 / 60 – I
<b>2</b>	V – C2 / -45. 0 / 60 – T	V – C2 / -45.0 / 60 – F	V – C2 / -45.0 / 60 – I
<b>3</b>	V – C3 / 45. 0 / 60 – T	V – C3 / 45.0 / 60 – F	V – C3 / 45.0 / 60 – I
<b>4</b>	V – C4 / 0. 45 / 60 – T	V – C4 / 0.45 / 60 – F	V – C4 / 0.45 / 60 – I
<b>5</b>	V – C5 / -45. -45 / 90 – T	V – C5 / -45. -45 / 90 – F	V – C5 / -45. -45 / 90 – I
<b>6</b>	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 / 1200 – T	V – C15 / 0. 45 / 1200 – F	V – C15 / 0. 45 / 1200 – I

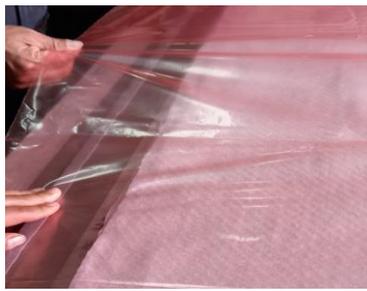
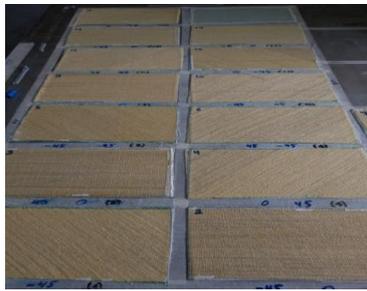
Fuente: [Autor]

## 2.6.6. Conformado de probetas

Tabla 2.17. Proceso de conformado del material Híbrido.

Paso	Actividad	Detalle	Imagen
1	Elaboración de molde	Se elabora un molde de manera distribuida para cada caso a ser elaborado de tal forma que esto nos ayuda a identificar la orientación en la que se debe colocar cada capa de las respectivas fibras.	
2	Aplicación de cera desmoldante	Se genera una limpieza superficial con tiñer y guaipe y se aplica ocho pasadas de cera desmoldante, lo cual se genera un lamina de cera, la función principal es evitar que la matriz se quede impregnada con la base del molde.	

Paso	Actividad	Detalle	Imagen
3	Preparación de resina	De acuerdo a las recomendaciones establecidas en la resina epoxi se combina con el endurecedor (catalizador), la mezcla se elabora proporcionalmente al peso de cada caso de estudio.	
4	Rociado de fibras con resina	Se humedece la fibra natural y sintética uniformemente, para alcanzar la mojabilidad en toda la superficie de la capa de fibra.	
5	Colocación de fibras naturales y sintéticas	Se coloca de manera simultánea las fibras en el respectivo molde, según la distribución de la tabla 2.3, en cada caso el número total de capas es de tres.	
6	Colocación del Peel ply y Breather	Se procede con la ubicación del film perforado sobre las fibras húmedas y se sobrepone la manta de absorción respectivamente.	
7	Pegado del Butilo AN-3	Se adhiere la cinta de butilo a la superficie de la base, de tal forma que quede correctamente pegado.	

Paso	Actividad	Detalle	Imagen
9	Colocación de la bolsa de vacío	Ubicar la bolsa sobre todos los elementos del material compuesto, con la ayuda del butilo se adhiere de forma correcta el impregnado de la misma evitando fugas de aire.	
8	Ubicación de respiradero	Se coloca un respiradero hecho a base de la manta de absorción, en un costado del molde, para que cumpa la función de vacío de aire de la parte interna.	
10	Vaciado de aire	Acoplar la bomba de vacío con los elementos de la válvula y manguera, esto permite succionar el aire innecesario dentro de la bolsa de vacío.	
11	Extracción de material	Retirar la bolsa de vacío y extraer el material compuesto de toda la superficie de la base utilizada como molde de cada caso.	

Fuente: [Autor]

El conformado del material híbrido a base de matriz epoxi se desarrolla con la composición de las 3 capas de fibra (natural y sintética) en las distintas orientaciones, según el caso de estudio esto se logra mediante, la mojabilidad del refuerzo en base a la proporcionalidad del peso de la fibra natural chambira (FCH) y el peso de la fibra sintética vidrio (FV), la resina epoxi se combina con el endurecedor provocando así la matriz termoestable que permite realizar la coalescencia de los refuerzos.

### 2.6.7. Curado de probetas

El curado del material se da en un horno eléctrico con rango permisible de temperatura de 0° a 150°C, lo que nos indica que el horno es apto para elaborar el curado a las temperaturas establecidas que van de 60°, 90° y 120° respectivamente en cada caso el tiempo que permanecen las probetas dentro del horno a la respectiva temperatura es de 1 2 horas y el tiempo de enfriamiento es relativamente al tiempo que el horno se encuentre a temperatura ambiente, el curado al horno es uno de los factores importantes en el trabajo experimental, debido a ello se verificaran que cambios ocurre en la resistencia del material y que incidencia tiene respectivamente con el curado a diferentes temperaturas.



Figura 2.4. Curado de probetas en temperaturas de 60 °C, 90 °C y 120 °C.

Fuente: [Autor]

### 2.6.8. Corte de probetas de tracción, flexión e impacto bajo la normativa ASTM

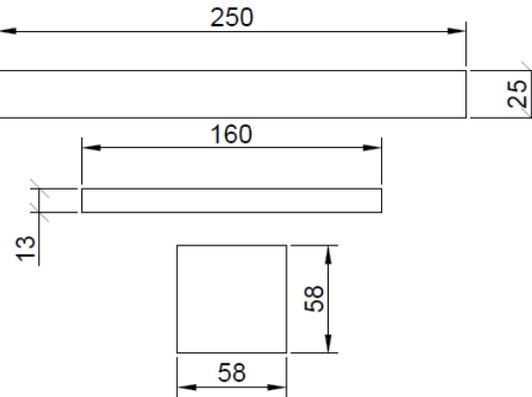
Es considerable especificar las dimensiones que se consideran para el corte de cada probeta, en donde los quince casos de estudio permiten establecer el número total de probetas a ser obtenidas mediante los cortes, en la siguiente tabla se especifican las dimensiones adecuadas para obtener las muestras de tracción, flexión e impacto.

Tabla 2.18. Dimensiones de corte de probetas en tracción - flexión - impacto.

ASTM					
Tracción		Flexión		Impacto	
D3039 / D3039M - 17		D7264 / D7264M - 21		D5628 - 18	
Especificación (mm)		Especificación (mm)		Especificación (mm)	
Ancho	25	Ancho	13	Ancho	58
Longitud	250	Longitud	160	Longitud	58

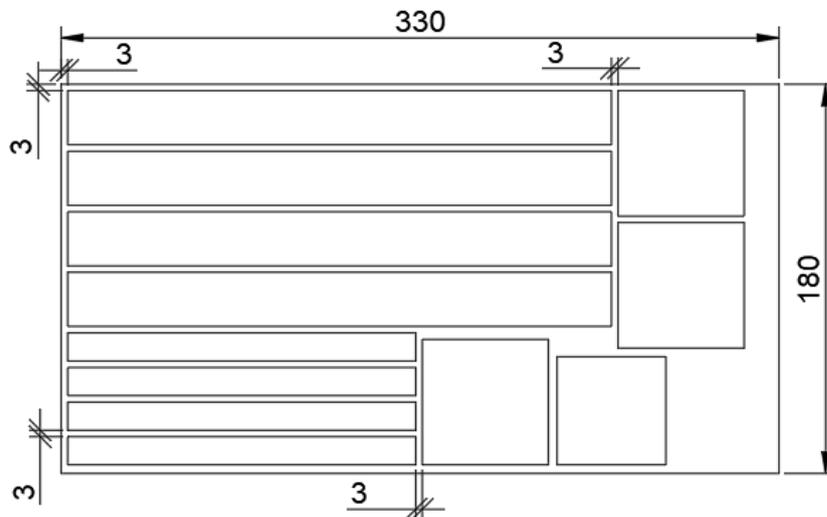
Fuente: [Autor]

En base a la especificación de la normativa ASTM, se cortan las respectivas probetas el cual sigue el procedimiento para obtener cada replica de acuerdo a la combinación elaborada en la tabla 2.3.



**Figura 2.5.** Diseño de probetas en tracción - flexión - impacto.

Fuente: [Autor]



**Figura 2.6.** Distribución de muestras en dimensión general de cada caso.

Fuente: [Autor]

En la figura 2.16, se presenta la distribución de las muestras de tracción, flexión, e impacto de acuerdo a la norma ASTM, para cada caso la distribución se mantiene y el número de probetas por cada lamina de material conformado nos arroja el valor de 12 muestras 9 que sirven para los ensayos mecánicos y 3 para calibrar la maquina acorde sea el ensayo a ser elaborado.

Acorde al procedimiento elaborado en el conformado y por las dimensiones obtenidas, se procede a obtener el volumen total del molde

## Dimensiones

Largo (l)= 330 mm

Ancho (a)= 180 mm

Espesor (e) = 1,70 mm

Volumen total del molde

$$V_T = l * a * e$$

$$V_T = 330 \text{ mm} * 180 \text{ mm} * 1,70 \text{ mm}$$

$$V_T = 100.980 \text{ mm}^3$$

$$V_T = \mathbf{101 \text{ cm}^3}$$

Tabla 2.19 Proceso de corte y clasificación de probetas para ensayos mecánicos.

Ítem	Actividad	Detalle	Imagen
1	Posicionamiento	Ubicar el material compuesto en la mesa de la máquina para el ajuste de puntos.	
2	Corte de probetas	Cortar las muestras en base a las dimensiones de diseño y según lo especifica el caso de estudio, se utilizó una maquina CNC a laser para el respectivo corte.	
3	Marcado de muestras	Enmarcar cada una de las muestras de tracción – flexión e impacto por medio de la codificación pertinente.	
4	Pegado de lijas	Adherir lijas de uso industrial de hierro con	

Ítem	Actividad	Detalle	Imagen
		denominación C-9980 en las muestras de tracción una vez ejecutado los cortes.	
5	Agrupación de probetas	Clasificar cada grupo de probetas, mediante el número de réplicas y el número de caso a ser ensayado.	

Fuente: [Autor]

Por medio de pruebas de gravimetría, se procede a ejecutar el cálculo de la densidad (medida) con los valores reales de las probetas de tracción, flexión e impacto, de tal manera se utilizan los elementos de laboratorio como es, un vaso de precipitación, probeta graduada y balanza digital, obtenemos el peso en gramos (g), volumen inicial (VI) y volumen final (VF) para obtener el valor de la densidad del material compuesto se ejecuta la relación entre la masa y la diferencia de volumen la unidad de medida de la densidad es obtenida en gramo/centímetro cúbico ( $\frac{g}{cm^3}$ ).

Tabla 2.20. Densidad promedio de las muestras de tracción.

<b>DENSIDAD MEDIDA DEL MATERIAL COMPUESTO</b>		
<b>Tracción</b>		
<b>Parámetros</b>	Volumen Inicial ( $cm^3$ )	80
	Volumen Final ( $cm^3$ )	87,4224
	Diferencia en volumen ( $cm^3$ )	7,4224
	Peso (g)	9,4611
<b>Densidad (<math>\frac{g}{cm^3}</math>)</b>		1.2747

Fuente: [Autor]

Tabla 2.21. Densidad promedio de las muestras de flexión.

<b>DENSIDAD MEDIDA DEL MATERIAL COMPUESTO</b>		
<b>Flexión</b>		
<b>Parámetros</b>	Volumen Inicial ( $cm^3$ )	95
	Volumen Final ( $cm^3$ )	97,4029
	Diferencia en volumen ( $cm^3$ )	2,4029
	Peso (g)	3,006
<b>Densidad (<math>\frac{g}{cm^3}</math>)</b>		1.2509

Fuente: [Autor]

Tabla 2.22. Densidad promedio de las muestras de Impacto.

<b>DENSIDAD MEDIDA DEL MATERIAL COMPUESTO</b>		
<b>Impacto</b>		
<b>Parámetros</b>	Volumen Inicial ( $cm^3$ )	90
	Volumen Final ( $cm^3$ )	93,9478
	Diferencia en volumen ( $cm^3$ )	3,9478
	Peso (g)	4,9753
<b>Densidad (<math>\frac{g}{cm^3}</math>)</b>		1.2602

Fuente: [Autor]

Tabla 2.23. Densidad medida del material compuesto de FCH y FV.

<b>Promedio de densidades de Tracción - Flexión - Impacto (g/cm<sup>3</sup>) - Material Compuesto</b>					
<b>Densidad Tracción (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,2747	<b>Densidad Flexión (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,2509	<b>Densidad Impacto (g/cm<sup>3</sup>)</b>	1,2602
<b>Promedio densidad total medida (g/cm<sup>3</sup>) - Material Compuesto</b>					
<b>1,2654</b>					

Fuente: [Autor]

### 2.6.9. Elaboración de ensayos mecánicos

Los ensayos mecánicos a ser aplicados son del tipo destructivo, por medio de estos ensayos, tracción, flexión e impacto se obtendrán las propiedades mecánicas buscadas en el respectivo trabajo de investigación.

#### Tracción

La norma ASTM D3039/D3039-17 establece las configuraciones que se deben aplicar en el respectivo ensayo, a su vez se justifica el ensayo con 3 réplicas para análisis y 1 para prueba de calibración de la máquina, es decir se utiliza cuatro muestras para el respectivo ensayo, el objetivo de la norma es determinar el esfuerzo de tracción máximo, el módulo de elasticidad de tracción y el porcentaje de elongación, mediante la aplicación de fuerzas externas a una velocidad de prueba estándar configurada en la máquina de ensayos.



Figura 2.7. Máquina universal de ensayos de tracción WAW600B.

Fuente: [Autor]

En el ensayo de tracción se elabora mediante el uso de la maquina universal WAW600B con una capacidad de carga de 600 KN, con mordazas de ajuste y de cabezal fijo siendo óptima para la respectiva aplicación del ensayo de tracción.

En cuanto las propiedades mecánicas a ser evaluadas y optimizadas mediante este ensayo es el módulo de elasticidad, porcentaje de elongación y esfuerzo máximo. Con el fin de comprender el análisis se utilizan las respectivas fórmulas de la norma ASTM D3039 para ejecutar de manera satisfactoria el cálculo de las propiedades mecánicas del respectivo material hibrido construido a base de matriz epoxi y refuerzo de fibra natural de chambira (*Astrocaryum Chambira*) y fibra sintética de vidrio.

### **Esfuerzo máximo**

$$\sigma = \frac{P_i}{A} \quad \text{Ec. 2.2}$$

De esta forma:

$\sigma$  = Esfuerzo máximo

$P_i$  = Fuerza de aplicación (N)

$A$  = Area de la sección transversal (mm<sup>2</sup>)

### **Deformación por tracción**

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad \text{Ec. 2.3}$$

De esta forma:

$\varepsilon_i$  = Deformación de la tracción ( $\mu\varepsilon$ )

$\delta_i$  = Desplazamiento del extensómetro (mm)

$L_g$  = Longitud de calibre (mm)

### **Módulo de elasticidad a la tracción**

$$E^{\text{chord}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad \text{Ec. 2.4}$$

De esta forma:

$E^{\text{chord}}$  = Módulo de elasticidad (MPa)

$\Delta\sigma$  = Diferencia de esfuerzos de tracción entre dos puntos de tensión (MPa)

$\Delta\varepsilon$  = Diferencia entre dos puntos de deformación (nominalmente 0.002)

### **Flexión**

En términos generales la norma ASTM D7264/D7264M-21, tiene como fin determinar las propiedades mecánicas como el esfuerzo máximo de flexión mediante un ensayo

de tres puntos donde consiste la aplicación de una carga vertical sobre la superficie externa del material híbrido.



**Figura 2.8.** Ensayo de flexión en tres puntos simplemente apoyada.

**Fuente:** [Autor]

En este ensayo se opta por obtener las propiedades mecánicas que serán evaluadas y optimizadas con tal énfasis del Esfuerzo máximo de flexión, módulo de elasticidad y la deformación máxima aplicada mediante el procedimiento de tres puntos como lo especifica la norma ASTM D7264 las fórmulas a ser utilizadas se describen de manera simultánea al valor que se requiere hallar.

#### **✚ Esfuerzo máximo de flexión**

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ec. 2.5}$$

De esta forma:

$\sigma$  = Esfuerzo máximo (MPa)

P = Carga aplicada (N)

L = Tramo entre soportes (mm)

b = ancho de la muestra (mm)

h = Espesor de la muestra (mm)

#### **✚ Deformación máxima**

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad \text{Ec. 2.6}$$

De esta forma:

$\varepsilon$  = Deformación máxima en la superficie exterior (mm/mm)

$\delta$  = Deflexión (mm)

L = Tramo entre soportes (mm)

h = Espesor de la muestra (mm)

## ✚ Módulo de elasticidad

$$E_f^{\text{chord}} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad \text{Ec. 2.7}$$

De esta forma:

$E_f^{\text{chord}}$  = Módulo de elasticidad (MPa)

$\Delta\sigma$  = Diferencia de esfuerzos de flexión entre dos puntos de flexión (MPa)

$\Delta\varepsilon$  = Diferencia entre dos puntos de deformación (nominalmente 0.002)

## Impacto

Por otra parte, la norma ASTM D5628 -18, especifica el método de prueba que se debe utilizar para obtener las propiedades mecánicas del material híbrido, de tal forma que al ensayar las probetas se obtiene la energía de impacto, con la caída de un dardo a una determinada altura en el medio de las probetas, la normativa dictamina parámetros de ensayos los cuales se elaboran por medio de una máquina tipo caída de masas de impacto.



**Figura 2.9.** Máquina para pruebas de impacto.

**Fuente:** [Autor]

El método de prueba es utilizado para encontrar la energía de impacto, la ASTM D5628 estipula la siguiente fórmula para hallar la energía media de fallo en las muestras.

## Energía media de fallo

$$\text{MFE} = h * w * f \quad \text{Ecu. 2.8}$$

De esta forma:

MFE = Energía media de fallos medida en Joules (J)

h = Altura de falla (mm)

f = Factor de conversión a Joules

El factor de falla f se considera con el valor de  $9.80665 \times 10^{-3}$  si las unidades de h = mm y w = Kg.

## **CAPITULO III**

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **3.1. Interpretación y tabulación de resultados de los ensayos mecánicos**

Es importante elaborar la interpretación de resultados obtenidos de los ensayos mecánicos de tracción, flexión e impacto. Los resultados se presentan en las siguientes fichas técnicas, cada una de las fichas están elaboradas conforme a los datos obtenidos de cada ensayo, como a su vez en cada una de las fichas se detalla la codificación impuesta para cada muestra.

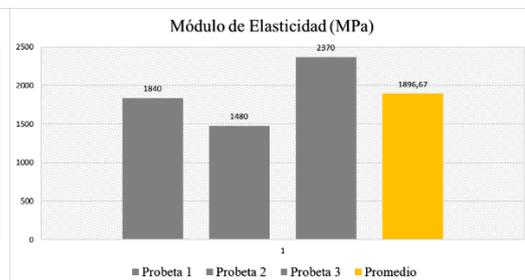
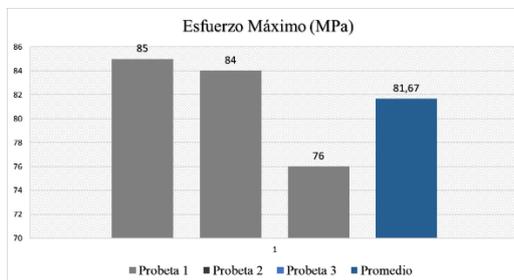
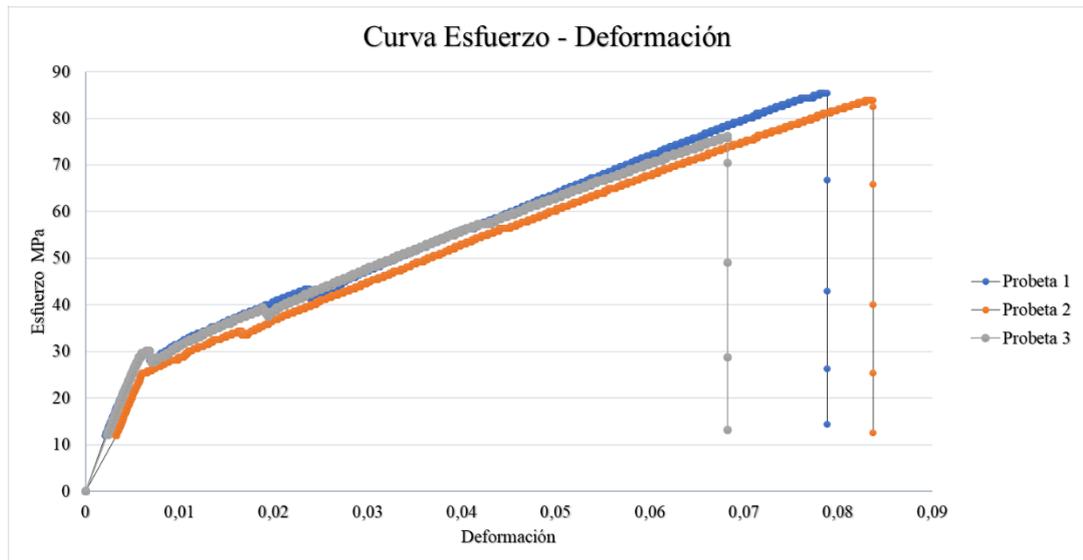
De acuerdo a lo establecido por la normativa ASTM D3039 por el número de muestras para los ensayos de tracción, se debe considerar 5 muestras para validar los análisis, dando cumplimiento a la norma, en el respectivo trabajo experimental se utiliza como metodología de estudio el Diseño de Experimentos DOE/MSR tal método nos permite reducir de 5 muestras a 3 muestras para cada caso de estudio obteniendo resultados válidos y coherentes en los respectivos ensayos mecánicos, esto abarca también para los ensayos de flexión e impacto.

### 3.1.2. Resultados de ensayos a tracción

Tabla 3.1. Resultados de 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							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C1/0.-45/60-T				
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	40,94		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/-45	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	52	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	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	3580	43	85	1840	4	AGM 1	
2	3520	42	84	1480	2,5	LGM	
3	3140	38	76	2370	2,5	AGM 1	
<b>Promedio</b>	3413,33	41,00	81,67	1896,67	3,00	-	
Fotografías de ensayo							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla en la probeta 1 y 3 es AMG (1), indica que la falla es angular en el área calibrada en la zona media de las respectivas probetas, por otro lado, la probeta 2 presenta el tipo de falla LGM, es decir con ruptura en la parte lateral en el área calibrada en la zona media de la probeta.

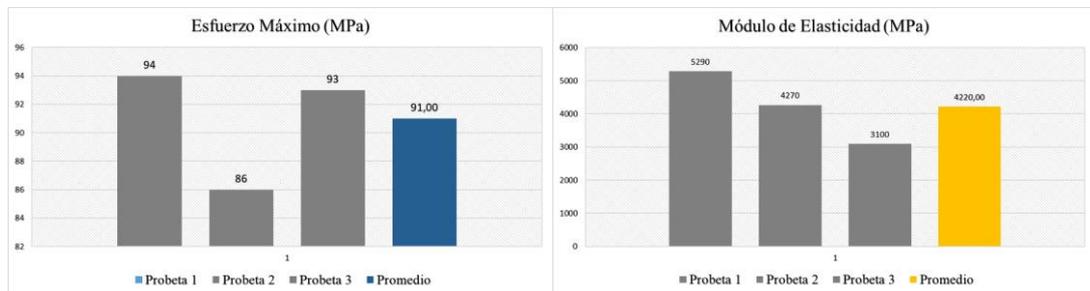
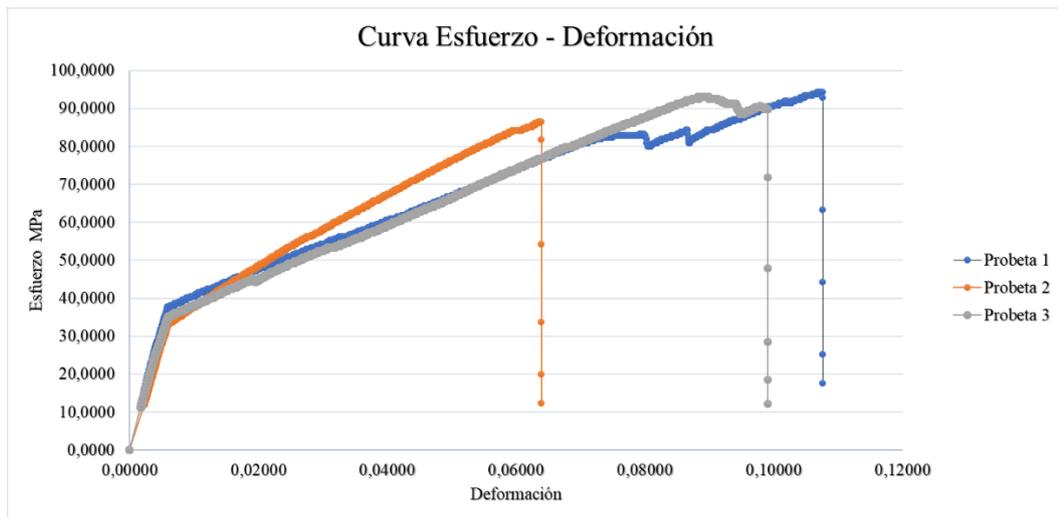
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	3413,33	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	81,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	3,00	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	1896,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.2. Resultados de ensayo mecánico a tracción - Caso 2.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Tracción ASTM D3039/D3039M-17</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C2/-45.0/60-T				
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.75 mm		
<b>Resultados</b>							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3960	48	94	5290	6	AGM I	
2	3640	44	86	4270	1,5	AGM I	
3	4120	47	93	3100	1	GAT	
<b>Promedio</b>	3906,67	46,33	91,00	4220,00	2,83	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla en la probeta 1 y 2 es AMG (1), indica que la falla es angular en el área calibrada en la zona media de las respectivas probetas, por otro lado, la probeta 3 presenta el tipo de falla GAT, es decir con ruptura en la parte de agarre en la parte superior de la probeta.

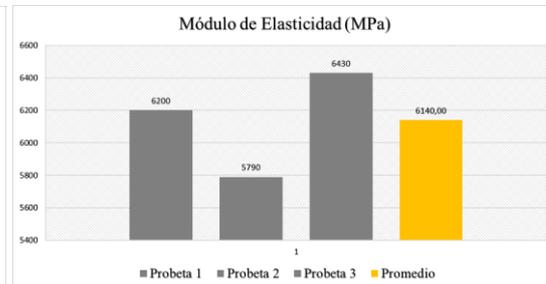
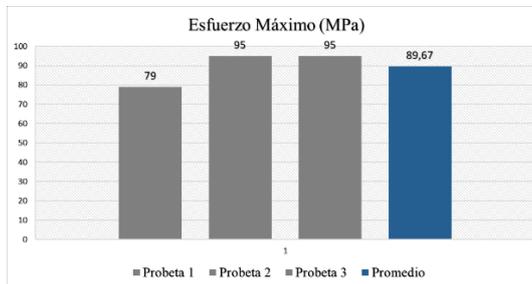
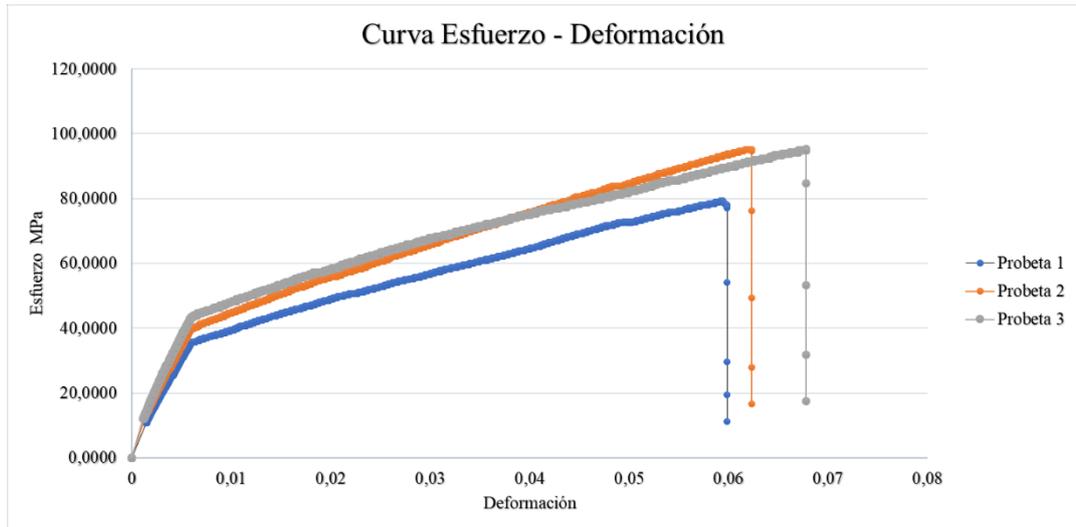
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	3906,67	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	91,00	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	2,83	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	4220,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.3. Resultados de 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							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C3/45.0/60-T				
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	41,73		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	53	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.69 mm		
Resultados							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3700	40	79	6200	1,5	LIT	
2	4020	48	95	5790	0,5	AGM 1	
3	3940	48	95	6430	2	LGM	
<b>Promedio</b>	3886,67	45,33	89,67	6140,00	1,33	-	
Fotografías de ensayo							
							

### Graficas de esfuerzo deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla en la probeta 1 es LIT, indica que la falla es dentro del agarre en la parte superior de la probeta.
- En la probeta 2 el tipo de falla el AGM 1, indica que es de falla regular en el área calibrada en la sección media de la probeta.
- El tipo de falla en la probeta 3 es LGM, indica el tipo de falla lateral en el área calibrada ubicado en la mitad de la probeta.

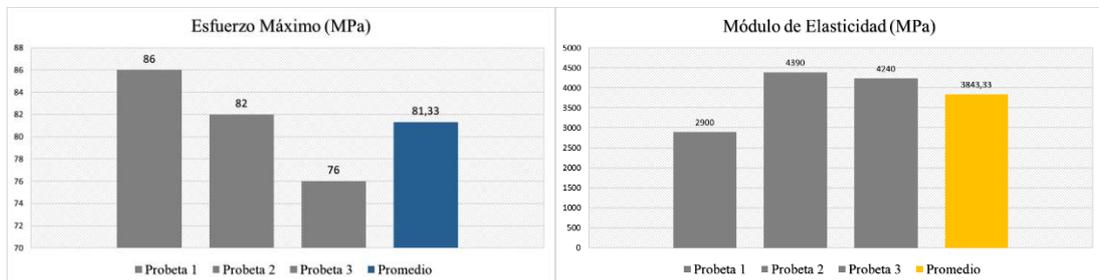
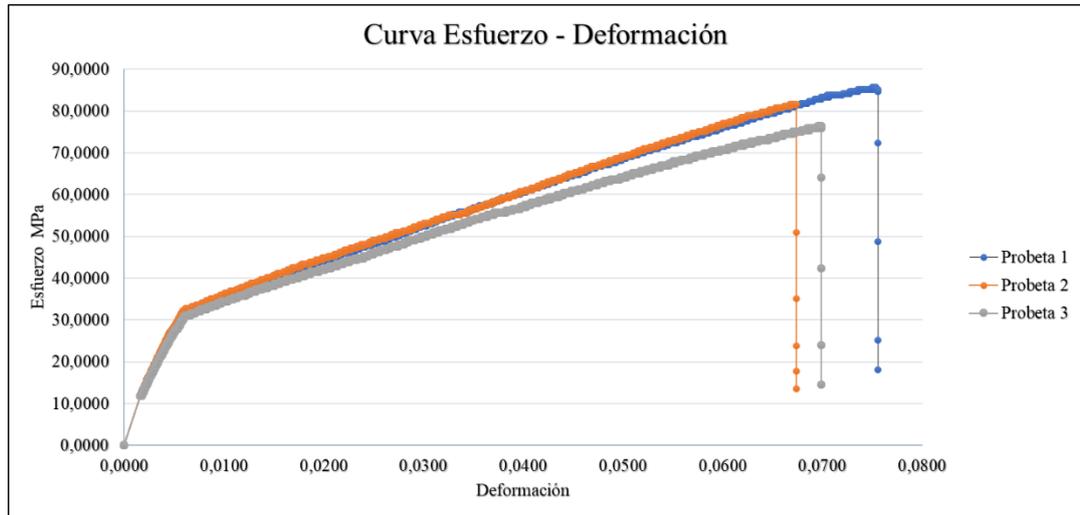
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3886,67	Elaborado por:	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	89,67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
% Elongación	1,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	6140,00	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.4. Resultados de ensayo mecánico a tracción - Caso 4.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Tracción ASTM D3039/D3039M-17</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C4/0.45/60-T				
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	40,94		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	52	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.72 mm		
<b>Resultados</b>							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3620	43	86	2900	1,5	LGM	
2	3500	41	82	4390	3,5	SGM	
3	3240	39	76	4240	2	LAT	
<b>Promedio</b>	3453,33	41,00	81,33	3843,33	2,33	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

### Graficas de esfuerzo deformación



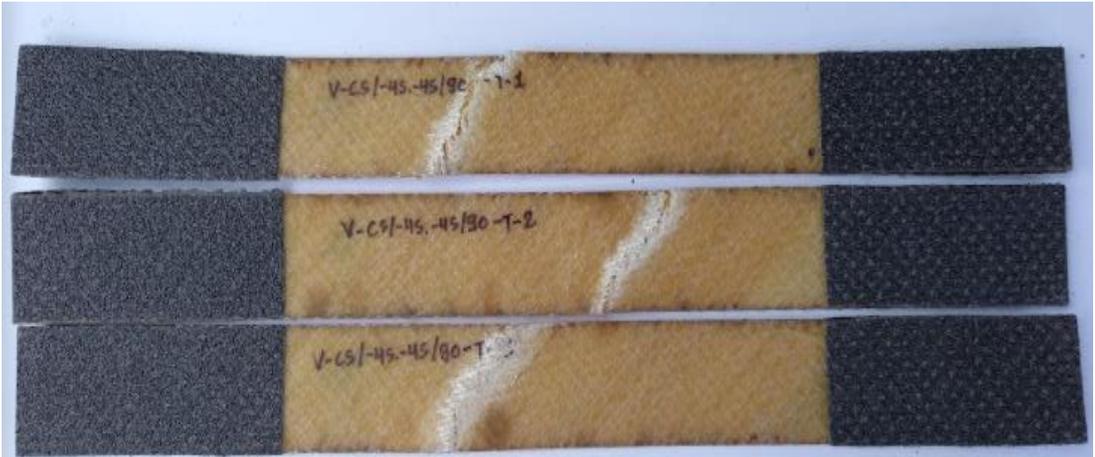
### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- La falla concebida en la probeta 1 es del tipo LGM, es decir de falla lateral en el área calibrada localizado en la zona media de la probeta.
- En la probeta numero 2 la falla es de tipo SGM, es decir de falla de división larga, en el rango del área calibrada en la sección media de la probeta.
- La falla en la probeta 3 es de tipo LAT, nos indica que la falla es lateral, en el área de agarre de localizado en la parte superior de la probeta.

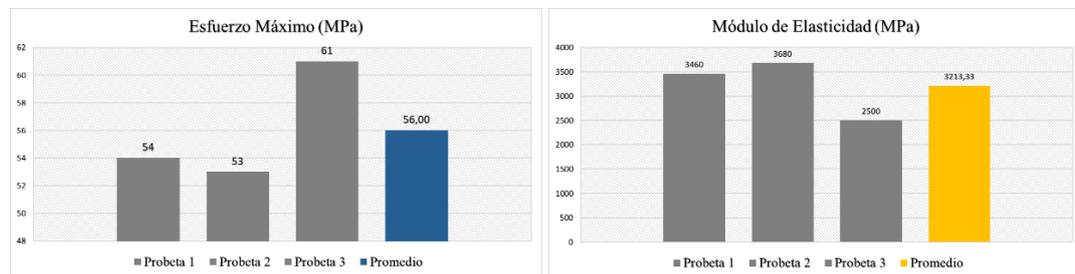
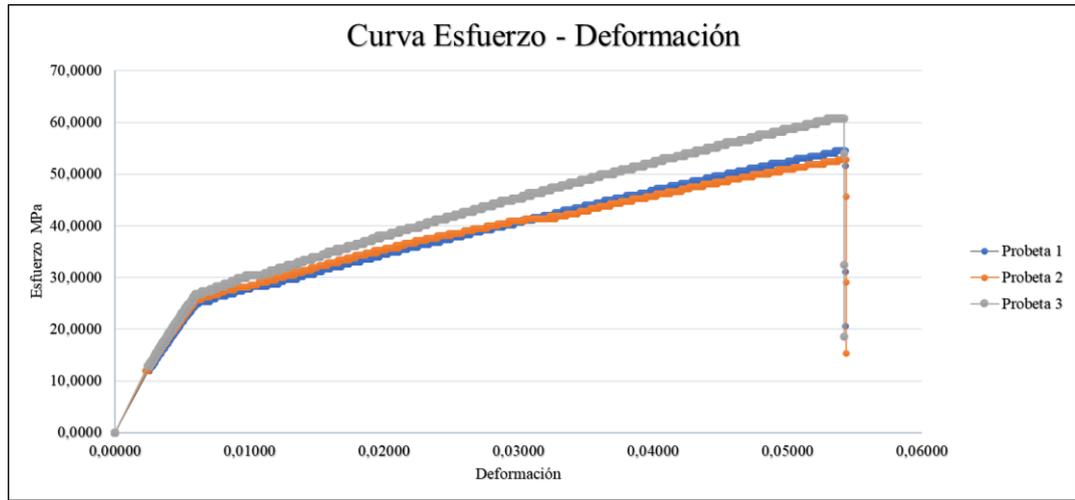
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3453,33	Elaborado por:	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	81,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
% Elongación	2,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	3843,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.5. Resultados de ensayo mecánico a tracción - Caso 5.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Tracción ASTM D3039/D3039M-17</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C5/-45.-45/90-T				
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	44,88		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	57	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.64 mm		
<b>Resultados</b>							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	2280	28	54	3460	2,5	AGM (1)	
2	2220	28	53	3680	3,5	AGM (1)	
3	2360	31	61	2500	3	AGM (1)	
<b>Promedio</b>	2286,67	29,00	56,00	3213,33	3,00	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

### Graficas de esfuerzo deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla localizado en los tres especímenes de ensayo son de tipo AGM (1), el cual nos indica que el tipo de falla es en forma angular dentro de la zona calibrada y localizado en la mitad de las respectivas probetas.

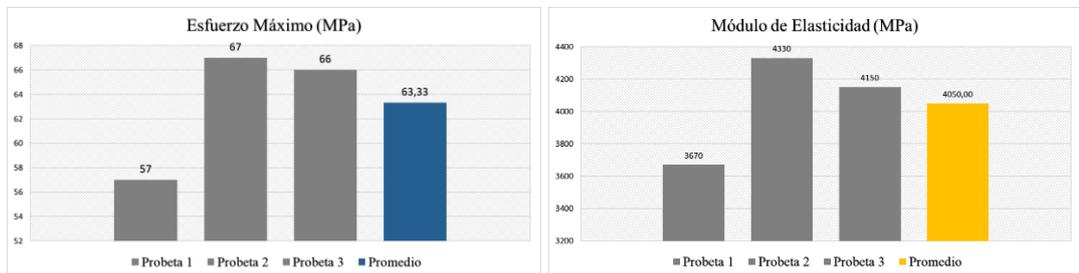
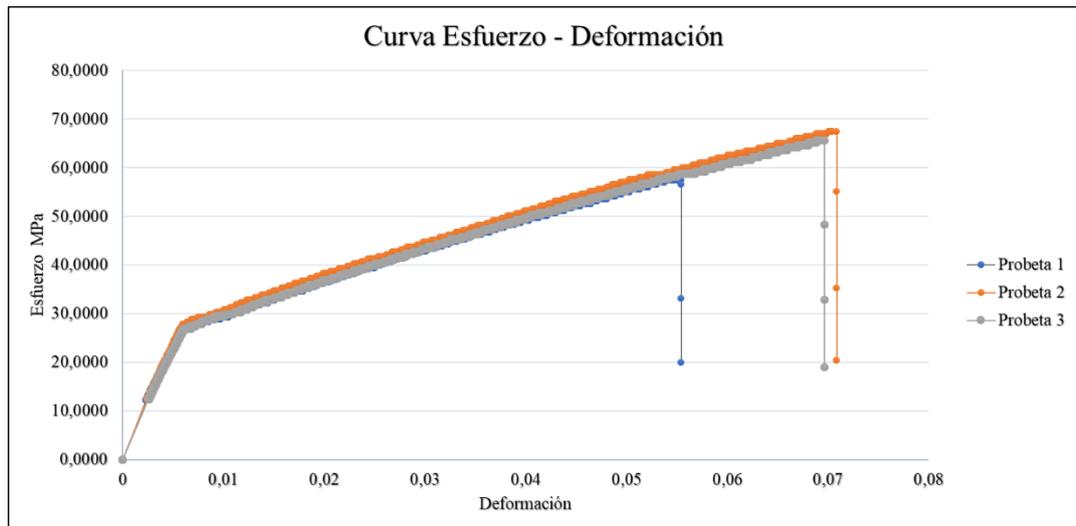
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	2286,67	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	56,00	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
% Elongación	3,00	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	3213,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.6. Resultados de 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							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C6/45.-45/90-T				
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,52		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.63 mm		
Resultados							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	2360	29	57	3670	5	AGM (1)	
2	2720	34	67	4330	2	LAT	
3	2640	33	66	4150	3,5	AGM (1)	
<b>Promedio</b>	2573,33	32,00	63,33	4050,00	3,50	-	
Fotografías de ensayo							
							

## Graficas de esfuerzo deformación



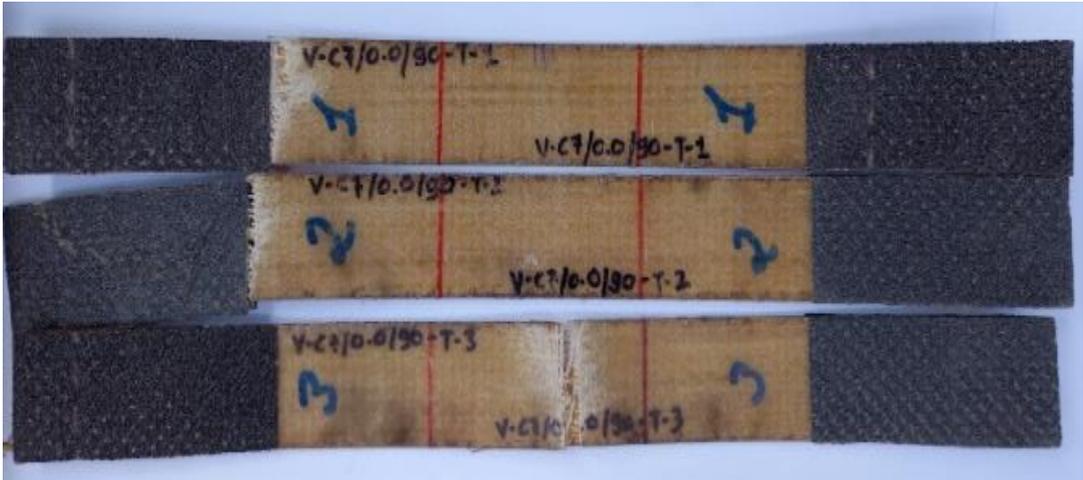
## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- Correspondientemente en la probeta 1 y 3, el tipo de fallo es AGM (1), es decir que el tipo de falla es angular localizado en el área calibrada y ubicado en la mitad de las probetas.
- En tipo de fallo en la probeta 2 es LAT, lo que nos indica que el tipo de falla es lateral en el área de agarre, localizado en la parte superior del área fuera de la sección calibrada.

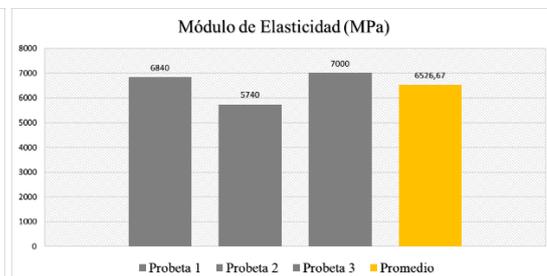
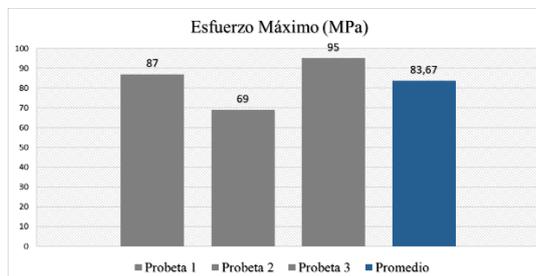
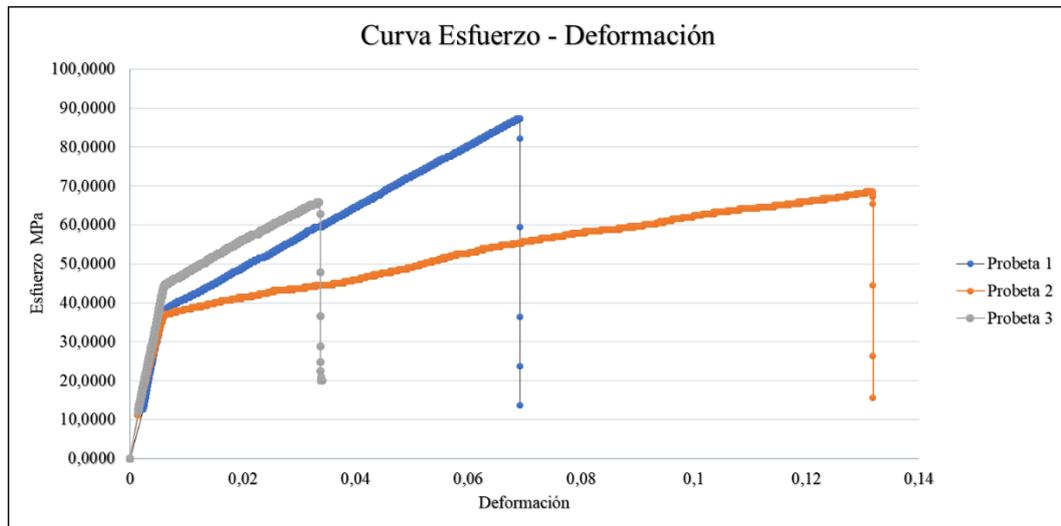
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	2573,33	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	63,33	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	3,50	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	4050,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.7. Resultados de 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							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C7/0.0/90-T				
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	45,57		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	58	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.69 mm		
Resultados							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3460	44	87	6840	0,5	LAT	
2	3080	37	69	5740	0,5	LAT	
3	3900	48	95	7000	4	AGM (2)	
<b>Promedio</b>	3480,00	43,00	83,67	6526,67	1,67	-	
Fotografías de ensayo							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- Correspondientemente en la probeta 1 y 2, el tipo de fallo es LAT (1), lo que nos indica que el tipo de falla es lateral en el área de agarre, localizado en la parte superior del área fuera de la sección calibrada.
- En tipo de fallo en la probeta 3 es AGM (2), es decir que el tipo de falla es angular localizado en el área calibrada y ubicado en la mitad de las probetas.

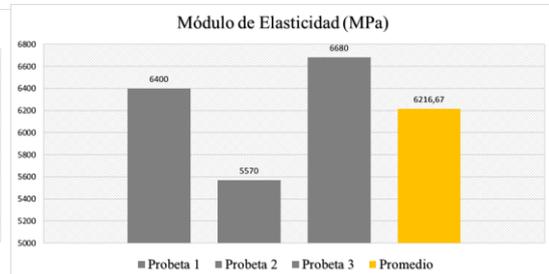
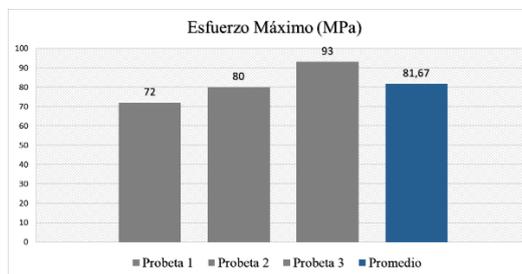
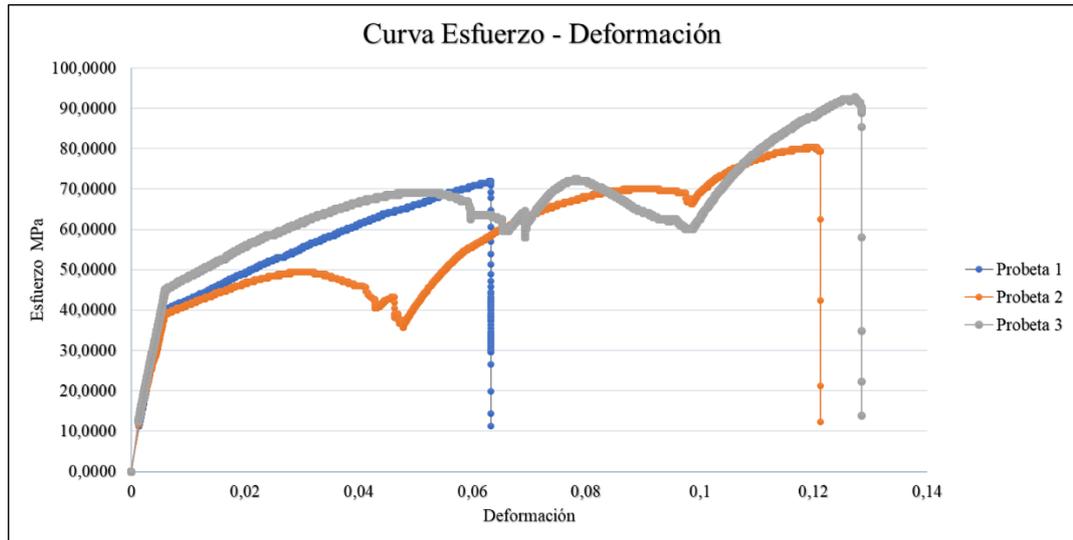
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	3480	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	83,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	1,67	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	6526,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.8. Resultados de ensayo mecánico a tracción - Caso 8.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Tracción ASTM D3039/D3039M-17</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C8/0.0/90-T				
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	47,24		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	60	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.70 mm		
<b>Resultados</b>							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3200	41	72	6400	0,5	LAL	
2	3420	40	80	5570	1	LAR	
3	3740	47	93	6680	0,5	AGM (2)	
<b>Promedio</b>	3453,33	42,67	81,67	6216,67	0,67	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

### Graficas de esfuerzo deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- El tipo de fallo en la probeta 1 es LAL, fallo en la parte lateral, en el área del agarre localizado en la parte izquierda de la respectiva probeta.
- La falla en la probeta 2 es de tipo LAR, el cual nos indica que la falla sucede en la parte lateral, en el área de agarre, ubicado a la derecha de la probeta.
- La falla en la probeta 3 es AGM (2), lo que indica que la falla es de tipo angular en el área calibrada, ubicado en el medio de la respectiva probeta.

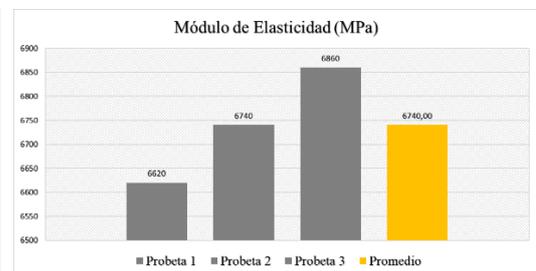
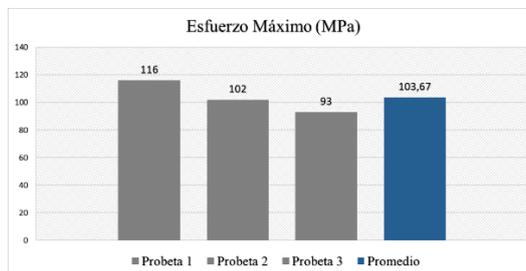
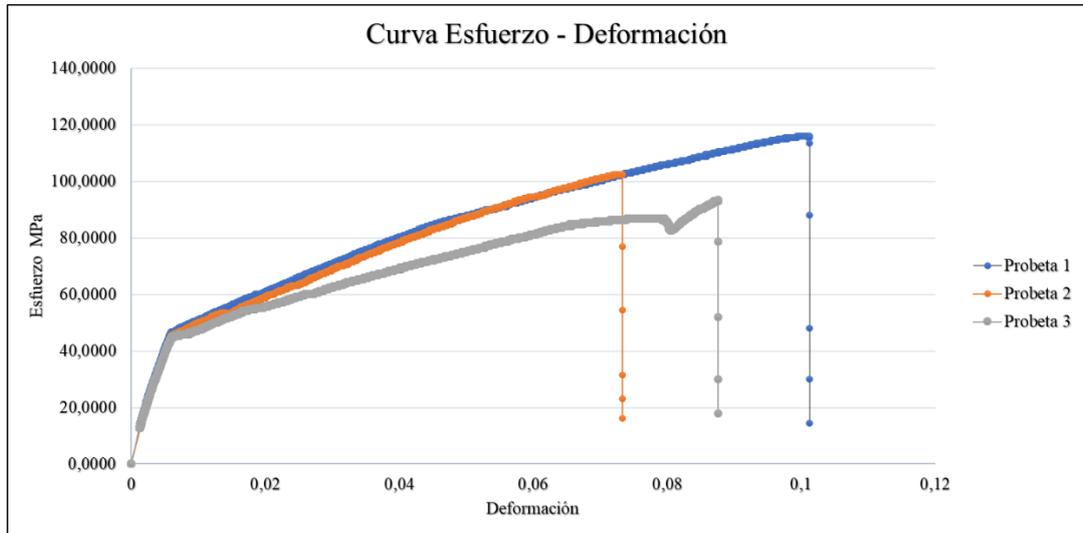
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3453,33	Elaborado por:	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	81,67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
% Elongación	0,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	6216,67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.9. Resultados de ensayo mecánico a tracción - 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 D3039/D3039M-17							
Datos informativos							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C9/0.0/90-T			
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,52		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.56 mm		
Resultados							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	4560	58	116	6620	2	LAT	
2	3840	52	102	6740	1,5	LAT	
3	3660	47	93	6860	1,5	LAT	
<b>Promedio</b>	4020,00	52,33	103,67	6740,00	1,67	-	
Fotografías de ensayo							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- Las probetas ensayadas presentan la falla de tipo LAT, esto nos permite indicar que el tipo de falla es lateral en el área del agarre localizándose en la parte superior de cada probeta.

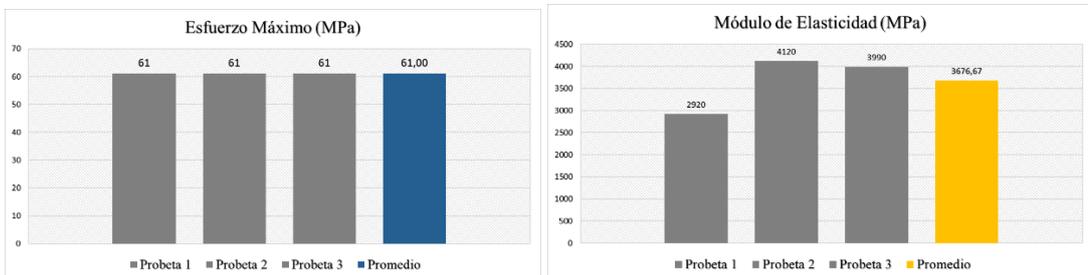
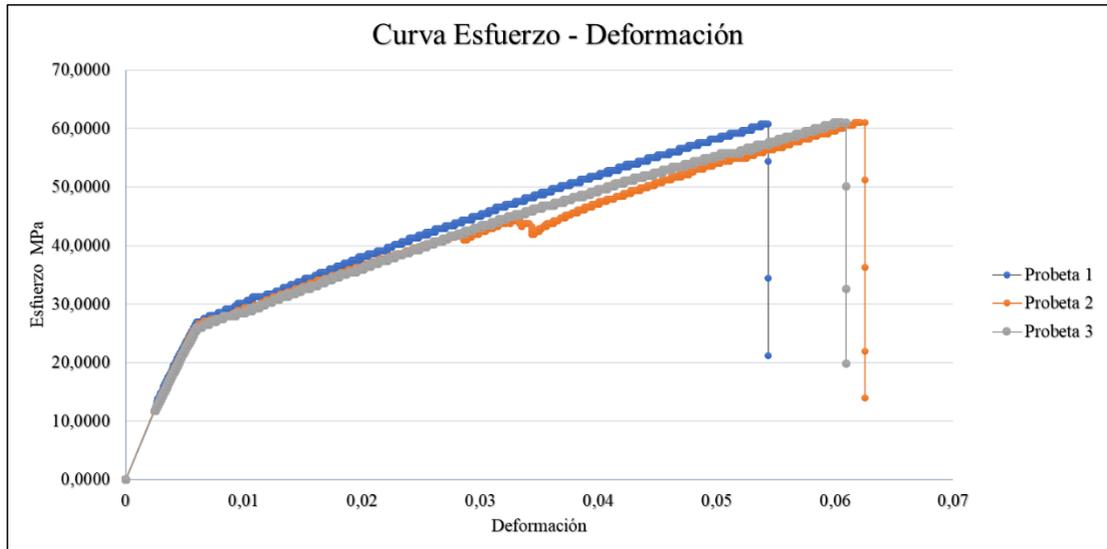
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	4020	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	103,67	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	1,67	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	6740,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.10. Resultados de 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							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C10/-45.45/90-T			
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,52		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.60 mm		
Resultados							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	2300	31	61	2920	3,5	AGM (1)	
2	2620	31	61	4120	0,5	LAT	
3	2580	31	61	3990	1,5	AGM (1)	
<b>Promedio</b>	2500,00	31,00	61,00	3676,67	1,83	-	
Fotografías de ensayo							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- En la probeta 1 y 3 el tipo de falla es AGM (1), el cual nos indica que la falla es angular en el área calibrada de ensayo localizado en el medio de las probetas respectivamente.
- En la probeta 2 la falla indicada es de tipo LAT, siendo esto como el resultado de la falla en la parte lateral del agarre, presentado en la sección superior de la probeta.

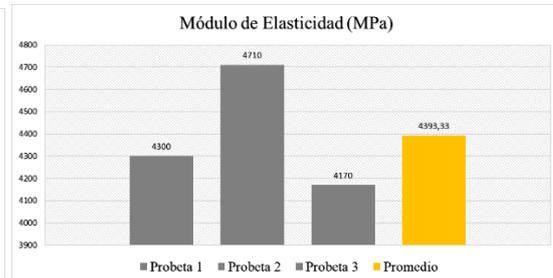
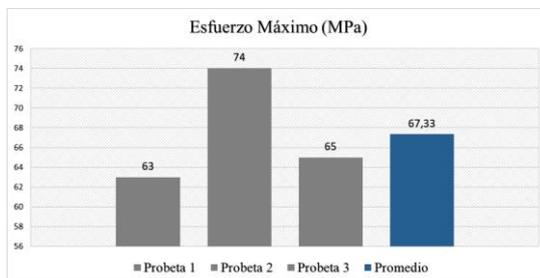
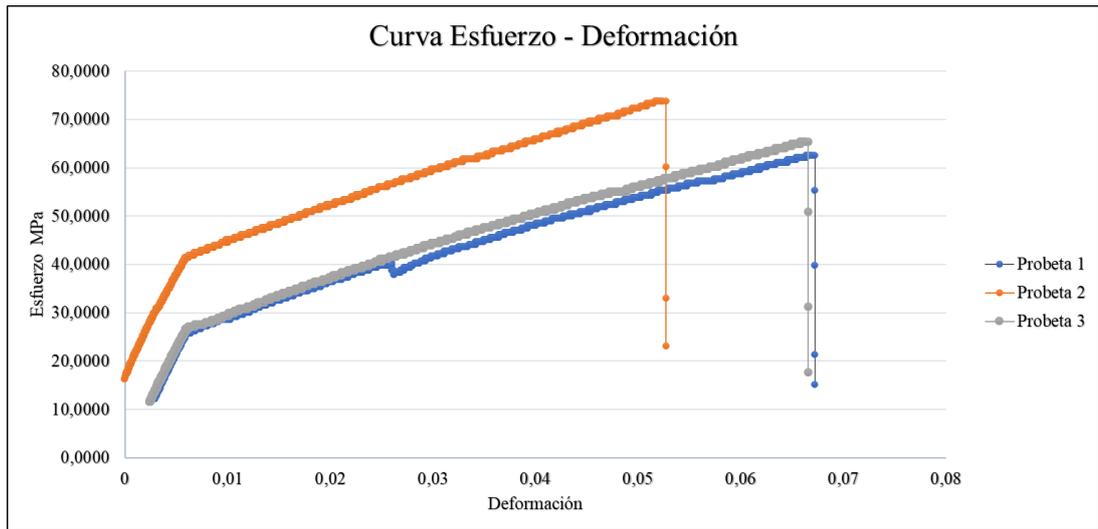
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	2500,00	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	61,00	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	1,83	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	3676,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.11. Resultados de ensayo mecánico a tracción - Caso 11.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Tracción ASTM D3039/D3039M-17</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C11/45.45/90-T			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.64 mm		
<b>Resultados</b>							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	2580	32	63	4300	1,5	AIT	
2	2820	43	74	4710	1	AGM (2)	
3	2800	33	65	4170	1	LMV	
<b>Promedio</b>	2733,33	36,00	67,33	4393,33	1,17	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla generado en la probeta 1 es AIT, es dado por la ruptura angular, dentro del agarre de tracción, ubicado en la parte superior de la probeta.
- En la probeta 2 el tipo de falla es AGM (2), el cual nos indica que la falla es angular en el área calibrada de ensayo localizado en el medio de la sección referente de la probeta.
- El tipo de fallo en la probeta 3 es LMV es decir del tipo lateral en múltiples áreas localizados en varios lugares de la probeta.

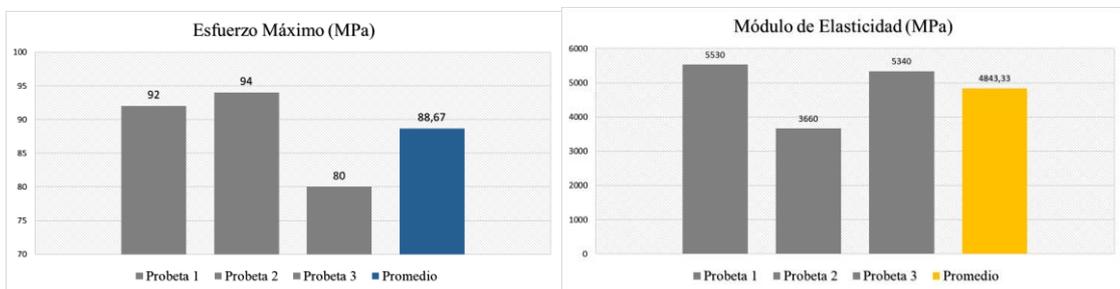
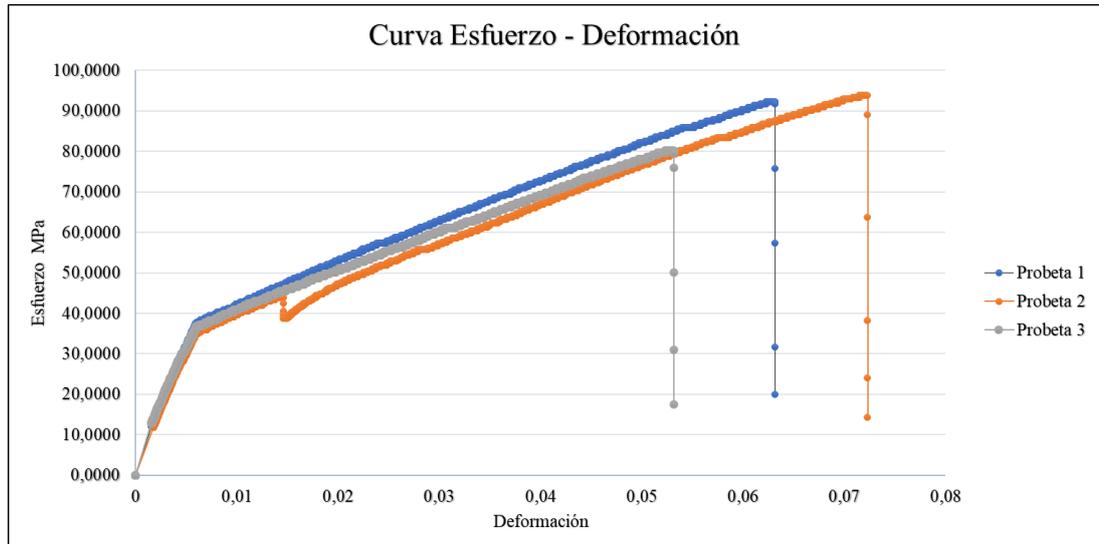
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	2733,33	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	67,33	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	1,17	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	4393,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.12. Resultados de ensayo mecánico a tracción - Caso 12.

		Universidad Técnica de Ambato Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica Carrera de Ingeniería Mecánica				
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>						
<b>Tracción ASTM D3039/D3039M-17</b>						
<b>Datos informativos</b>						
<b>Fecha:</b>	20/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV					
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B					
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C12/0.-45/120-T			
<b>Parámetros de ensayo</b>						
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3	
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	41,73	
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C	
<b>Orientación de fibra:</b>	0/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH	
<b>Peso de fibra (gr):</b>	53	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.64 mm	
<b>Resultados</b>						
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla
1	3800	47	92	5530	0,5	GIT
2	3980	47	94	3660	0,5	LGT
3	3100	40	80	5340	1	LGT
<b>Promedio</b>	3626,67	44,67	88,67	4843,33	0,67	-
<b>Fotografías de ensayo</b>						
						

### Graficas de esfuerzo deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- Por medio del ensayo a tracción en la probeta 1 se genera el tipo de falla GIT, el cual nos indica que la falla se da en el agarre o lengüeta de la probeta, por dentro del agarra localizado en la parte superior de la respectiva muestra.
- En la probeta 2 y 3 el tipo de falla es LGT, nos permite describir que la falla es de origen lateral en el área indicada de ensayo localizado en la parte superior de las respectivas probetas.

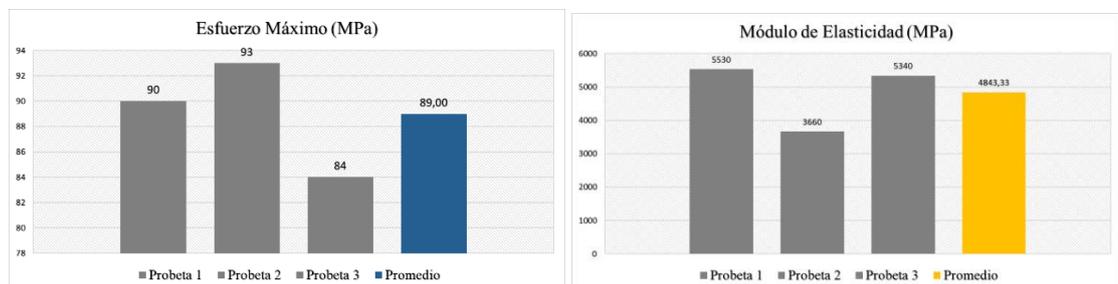
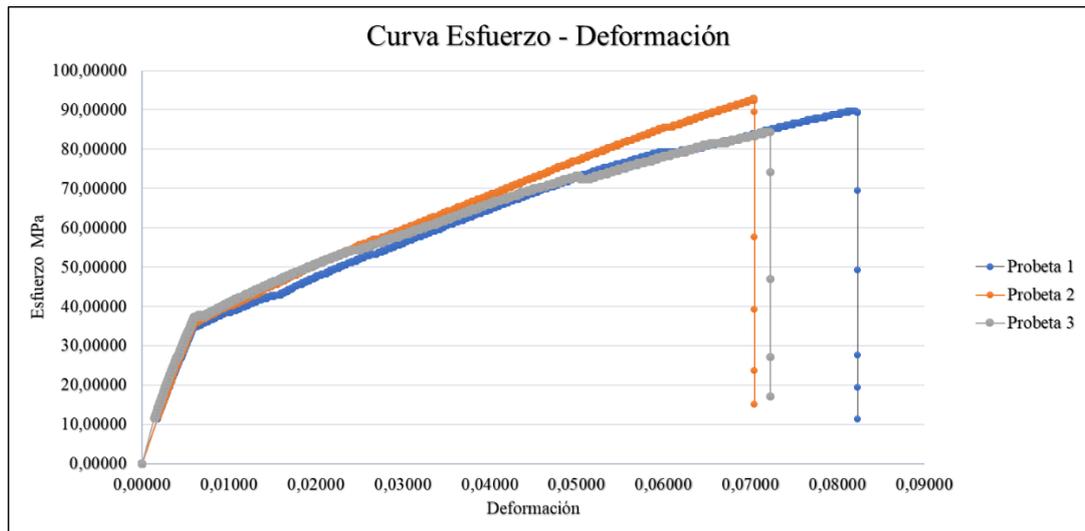
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	3626,67	Elaborado por:	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	88,67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
% Elongación	0,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	4843,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.13. Resultados de ensayo mecánico a tracción - Caso 13.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Tracción ASTM D3039/D3039M-17</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C13/-45.0/120-T			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.73 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3980	45	90	4170	1	AGM (1)	
2	3840	47	93	4230	2	AGM (1)	
3	3660	42	84	5530	1,5	GAT	
<b>Promedio</b>	3826,67	44,67	89,00	4643,33	1,50	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- En tipo de falla generado en la probeta 1 y 2 es AGM (1), la característica de fallo es del tipo angular en el área calibrada ubicado en el medio de la probeta ensayada.
- En la probeta 3 el tipo de falla es GAT, esto indica que la falla se origina en el agarre de la probeta en el área de agarre localizado en la parte superior de la respectiva probeta.

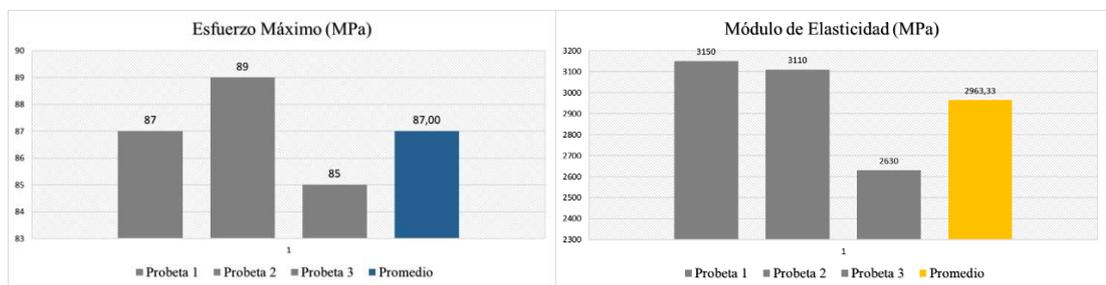
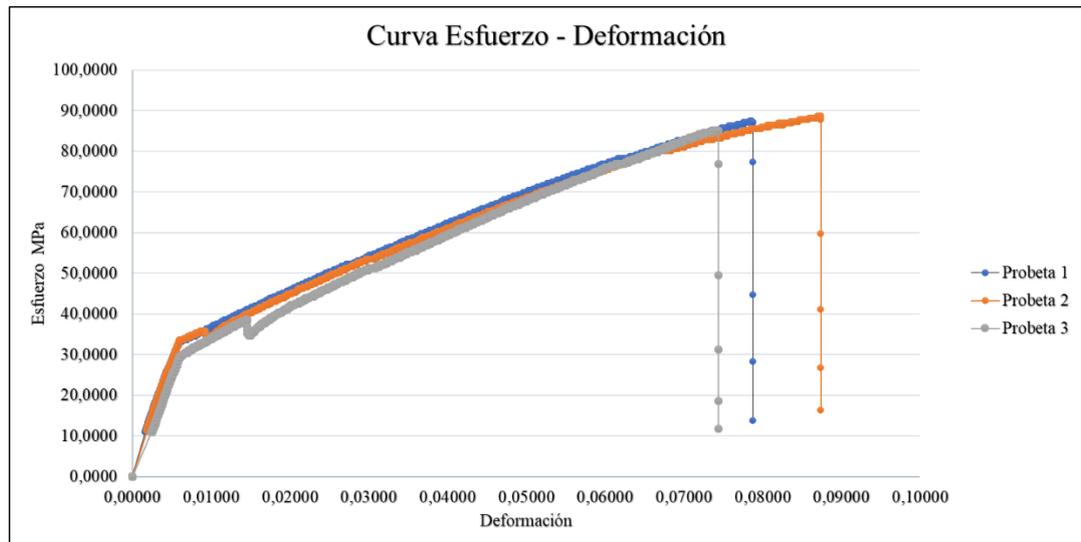
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	3826,67	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	89,00	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	1,50	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	4643,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.14. Resultados de 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							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C14/45.0/120-T			
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.82 mm		
Resultados							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3960	44	87	3150	1,5	AGM (2)	
2	3920	45	89	3110	0,5	LAT	
3	3920	43	85	2630	2	AGM (1)	
<b>Promedio</b>	3933,33	44,00	87,00	2963,33	1,33	-	
Fotografías de ensayo							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



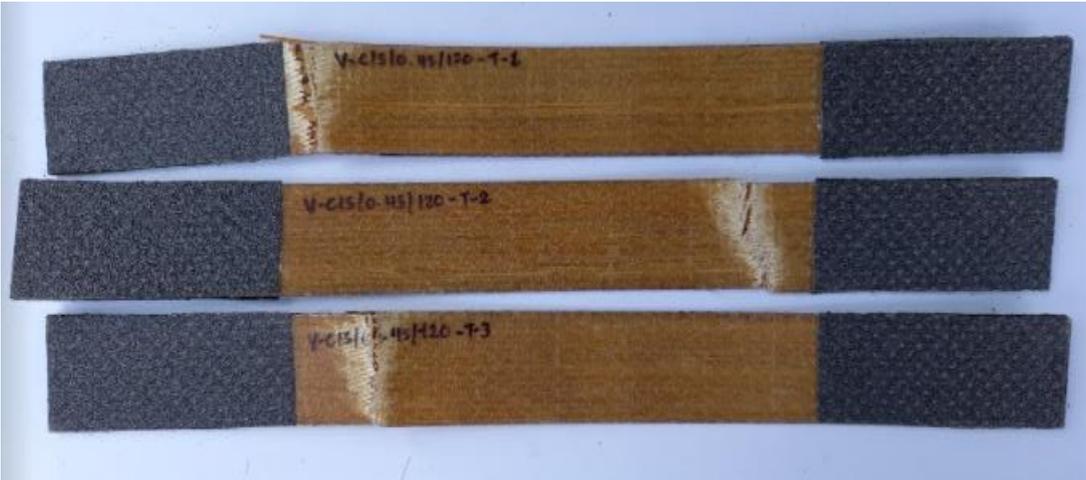
## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- En la probeta 1 el tipo de fallo es AGM (2), la característica del fallo es prolongadamente angular en el área calibrada de tracción localizado en el medio de la probeta ensayada.
- La probeta 2 presenta el fallo LAT, nos indica que es de tipo lateral en el agarre de ensayo localizado en la parte superior de la muestra.
- En la probeta 3 el fallo es AGM (1), el cual nos indica que el fallo es angular en el área calibrada de la probeta localizado en el medio de la respectiva muestra.

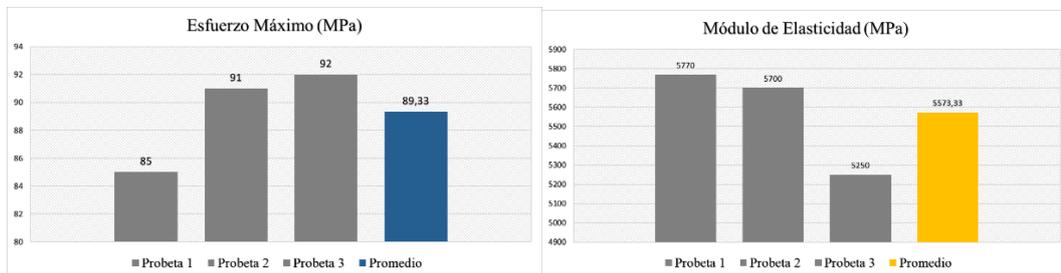
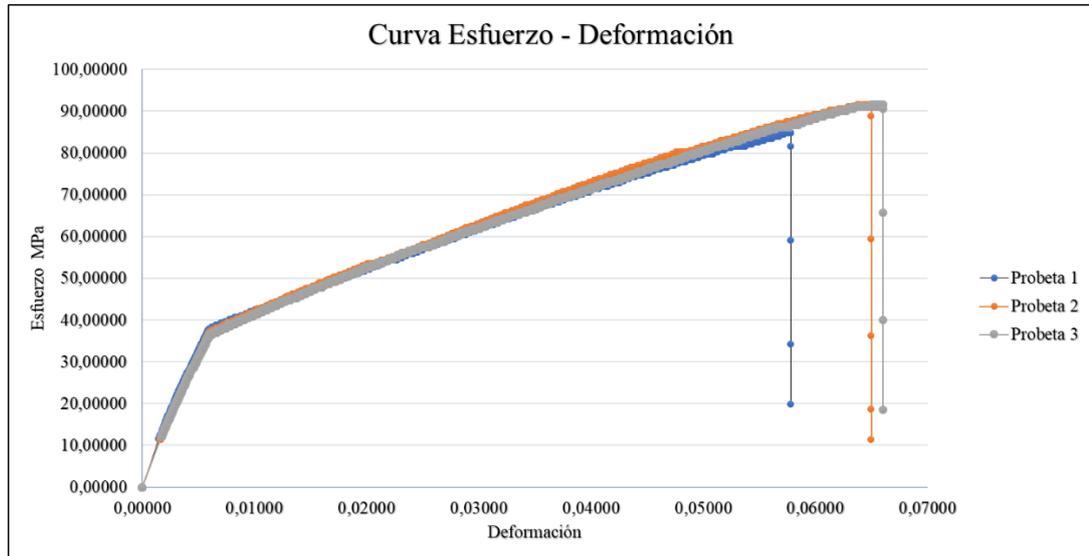
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	3933,33	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	87,00	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	1,33	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	2963,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.15. Resultados de 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							
<b>Fecha:</b>	20/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C15/0.45/120-T			
Parámetros de ensayo							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D3039	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	250*25*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	2 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.72 mm		
Resultados							
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla	
1	3680	43	85	5770	1,5	LIT	
2	4040	46	91	5700	1,5	LGR	
3	3760	46	92	5250	1,5	LGL	
<b>Promedio</b>	3826,67	45,00	89,33	5573,33	1,50	-	
Fotografías de ensayo							
							

## Gráficas de esfuerzo deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta una adherencia de excelente coalescencia en la matriz y el refuerzo.
- En la probeta 1 la falla es de tipo LIT, caracterizada por poseer falla lateral dentro del agarre en la parte superior de la probeta ensayada.
- La probeta 2 posee el tipo de fallo LGR, nos indica que la falla es lateral en el área calibrada localizado en la parte derecha de la respectiva probeta.
- En la probeta 3 el tipo de falla es LGL, visto por ruptura en la parte lateral en el área calibra localizado en la parte izquierda de la muestra ensayada por tracción.

Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	3826,67	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de tracción (MPa)</b>	89,33	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>% Elongación</b>	1,50	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	5573,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

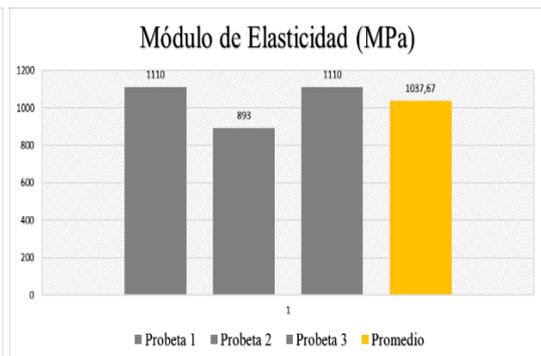
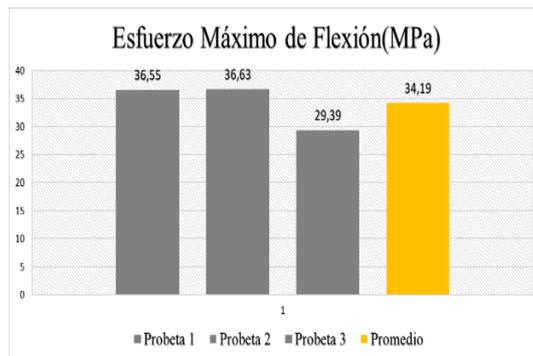
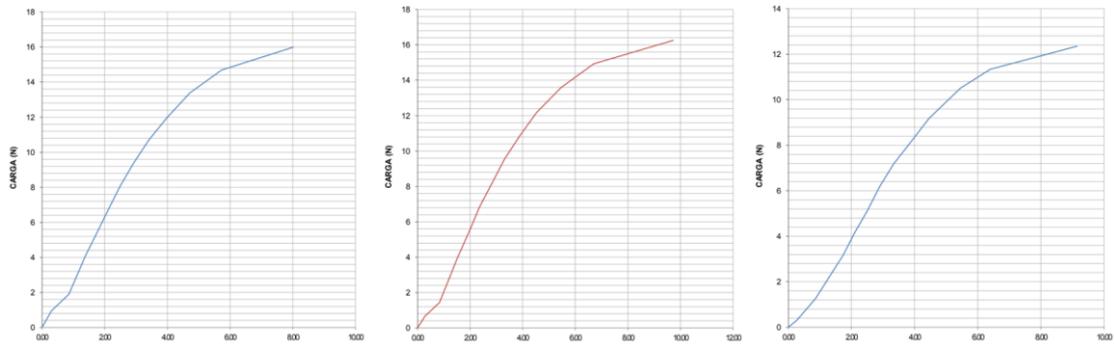
Fuente: [Autor]

### 3.1.3. Resultados de ensayos a Flexión

Tabla 3.16. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 1.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p><b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b></p> </div>  </div>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C1/0.-45/60-F		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	40,94
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	52	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.65 mm
<b>Resultados</b>					
Nº de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	15,99	36,55	1110	8,02	OAU
2	16,26	36,63	893	9,72	OAU
3	12,35	29,39	1110	9,14	OAU
<b>Promedio</b>	14,87	34,19	1037,67	8,96	-
<b>Fotografías de ensayo</b>					
					

### Graficas de esfuerzo - deformación



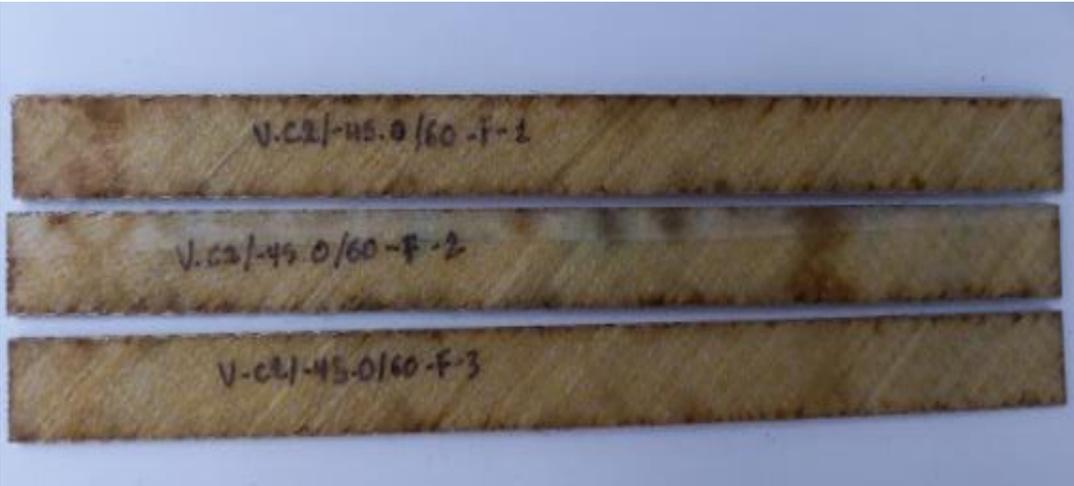
### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 1 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

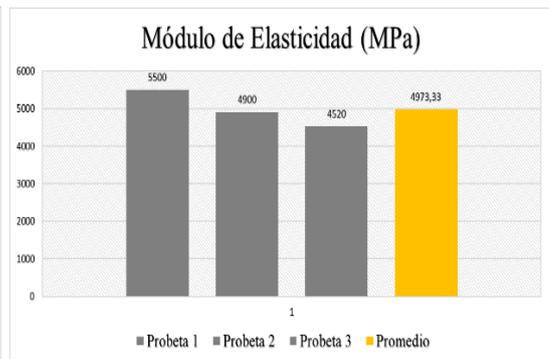
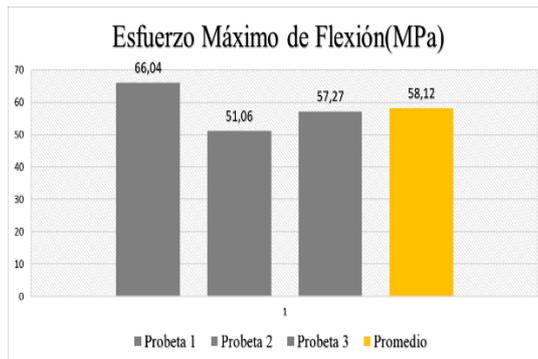
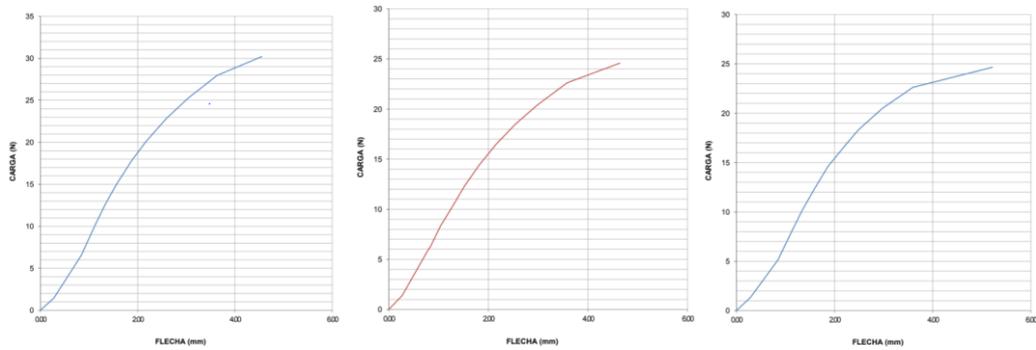
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	15,99	Elaborado por:	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	39,19	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Flecha máxima (mm)	8,96	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	1037,67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3. 17 Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 2

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C2/-45.0/60-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.69 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla		
1	30,21	66,04	5500	4,55	OAU		
2	24,57	51,06	4900	4,64	OAU		
3	24,65	57,27	4520	5,21	OAU		
<b>Promedio</b>	26,48	58,12	4973,33	4,80	-		
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

### Graficas de esfuerzo - deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 2 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

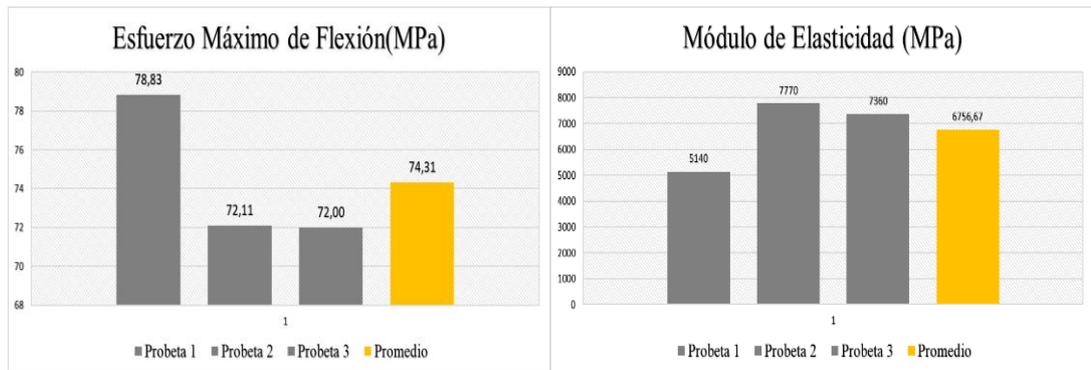
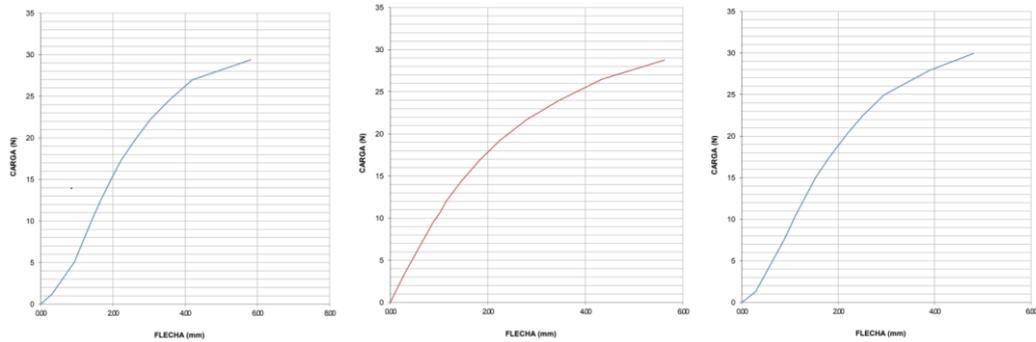
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	26,48	Elaborado por:	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	58,12	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Flecha máxima (mm)	4,80	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	4973,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.18. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 3.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C3/45.0/60-F				
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	41,73		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	53	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.57 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla		
1	29,38	78,83	5140	5,82	OAU		
2	28,76	72,11	7770	5,62	OAU		
3	29,94	72,00	7360	4,80	OAU		
<b>Promedio</b>	29,36	74,31	6756,67	5,41	-		
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

### Graficas de esfuerzo - deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 3 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

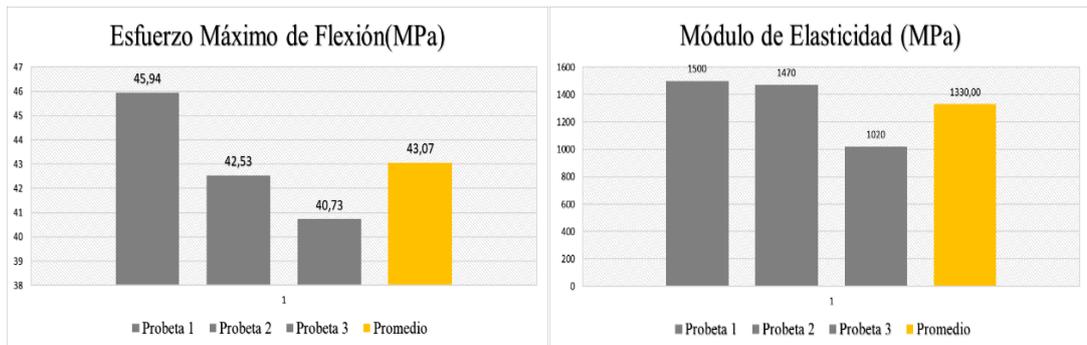
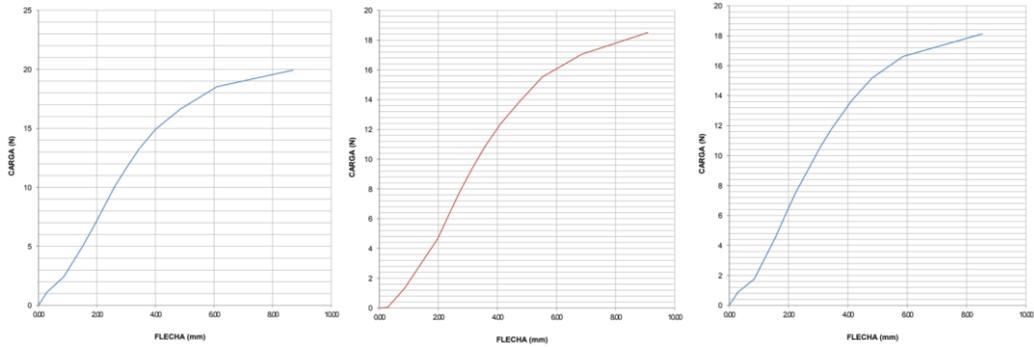
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	29,36	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuqitarco
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	74,31	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Flecha máxima (mm)	5,41	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	6756,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.19. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 4.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C4/0.45/60-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	40,94		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	52	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.64 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>		<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de flexión (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Flecha máxima (mm)</b>	<b>Tipo de falla</b>	
1		19,93	45,94	1500	8,69	OAU	
2		18,51	42,53	1470	9,09	OAU	
3		18,12	40,73	1020	8,53	OAU	
<b>Promedio</b>		18,85	43,07	1330,00	8,77	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

### Graficas de esfuerzo - deformación



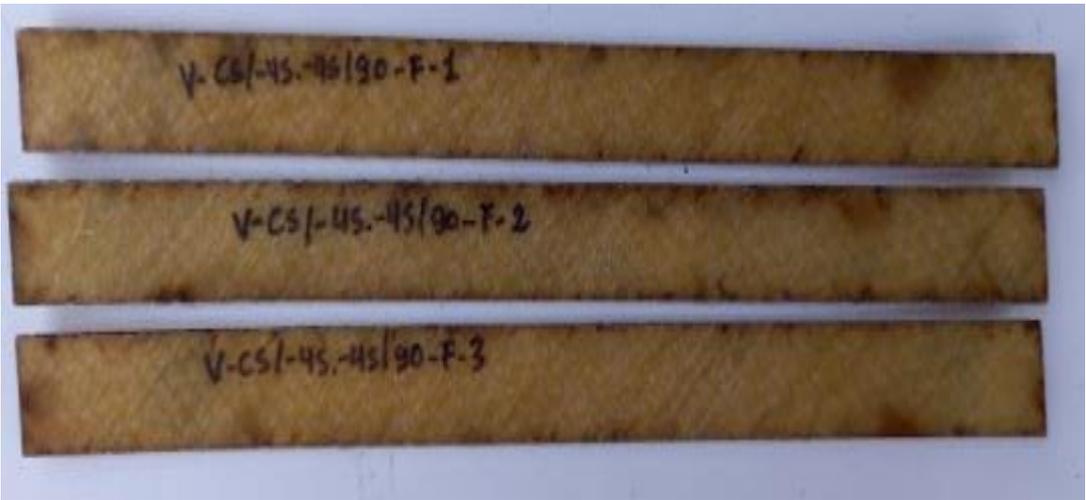
### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 4 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

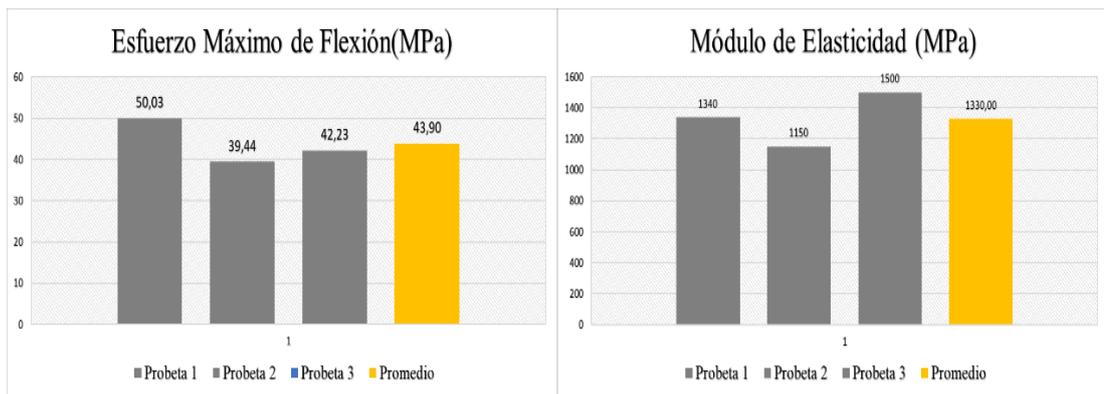
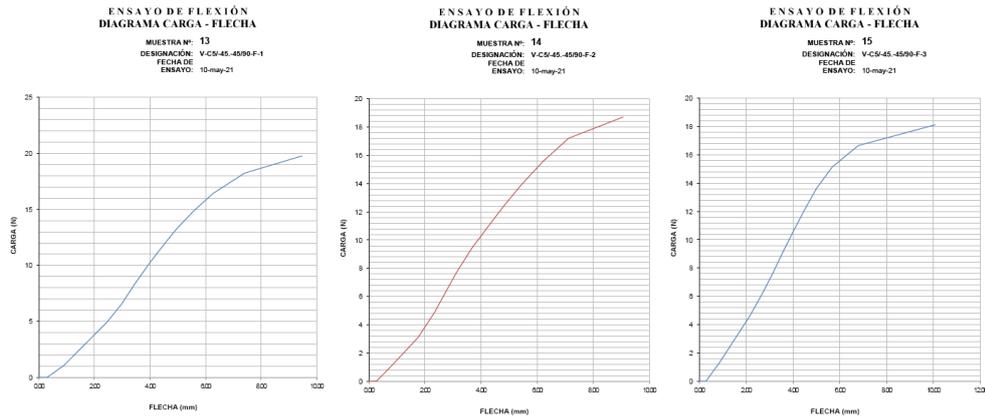
Valores promedio		Aprobado y validado	
Carga máxima (N)	18,85	Elaborado por:	Sr. Santiago Chuquitarco
Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	43,07	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Flecha máxima (mm)	8,77	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
Módulo de Elasticidad (MPa)	1330,00	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.20. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 5.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C5/-45.-45/90-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	44,88		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	57	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.64 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla		
1	19,77	50,03	1340	9,48	OAU		
2	18,71	39,44	1150	9,07	OAU		
3	18,13	42,23	1500	10,08	OAU		
<b>Promedio</b>	18,87	43,90	1330,00	9,54	-		
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación



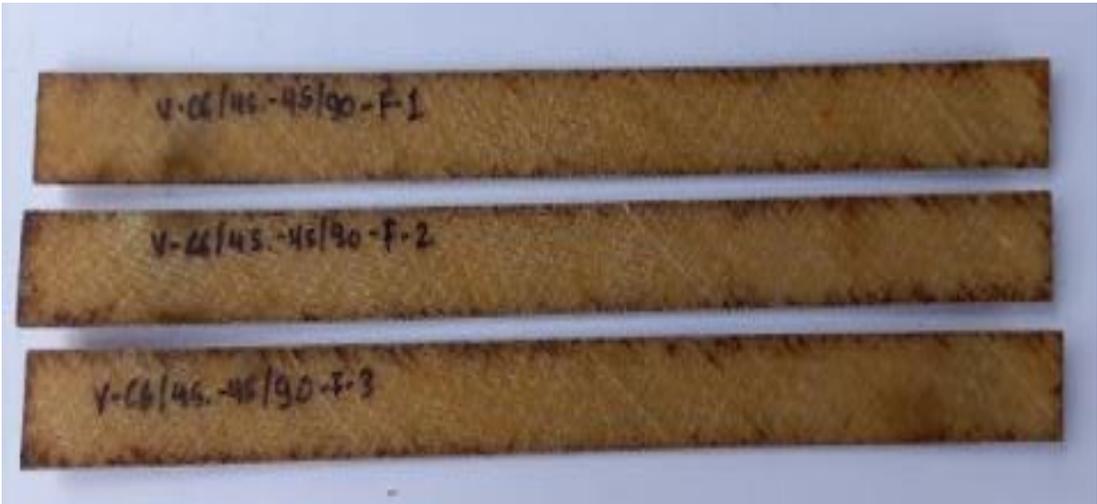
## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 5 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

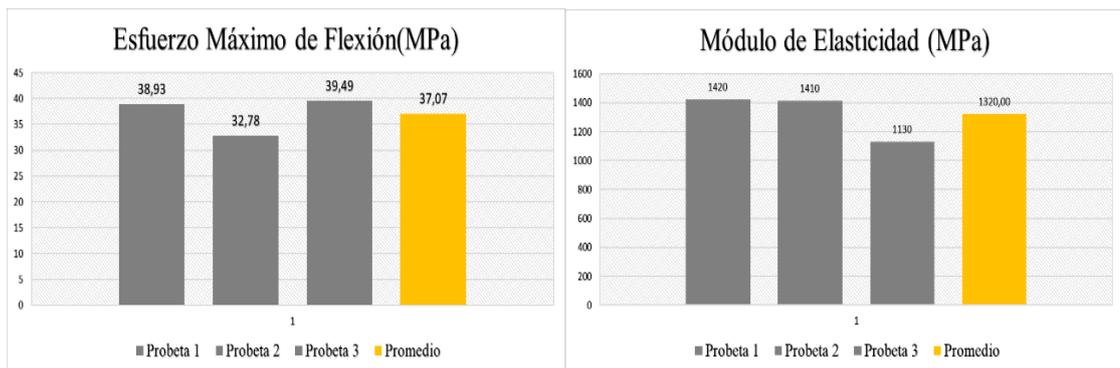
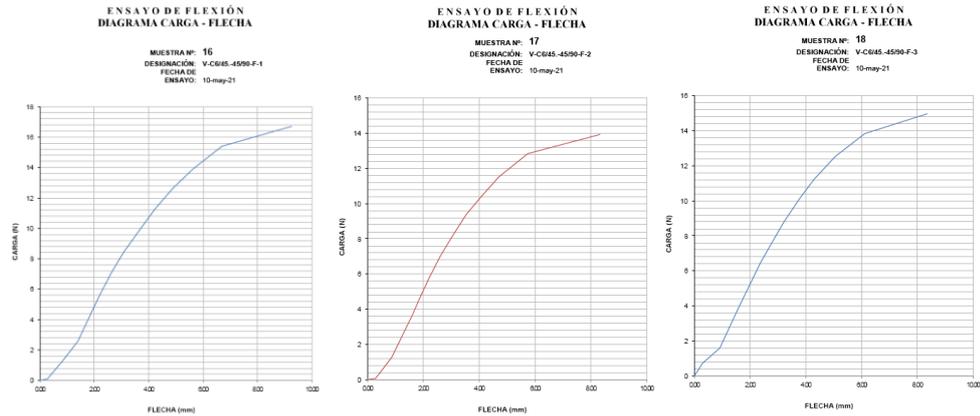
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	18,87	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	43,90	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	9,54	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	1330,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.21. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 6.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C6/45.-45/90-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,54		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.60 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>		<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de flexión (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Flecha máxima (mm)</b>	<b>Tipo de falla</b>	
1		16,71	38,93	1420	9,26	OAU	
2		13,93	32,78	1410	8,32	OAU	
3		14,97	39,49	1130	8,36	OAU	
<b>Promedio</b>		15,20	37,07	1320,00	8,65	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación



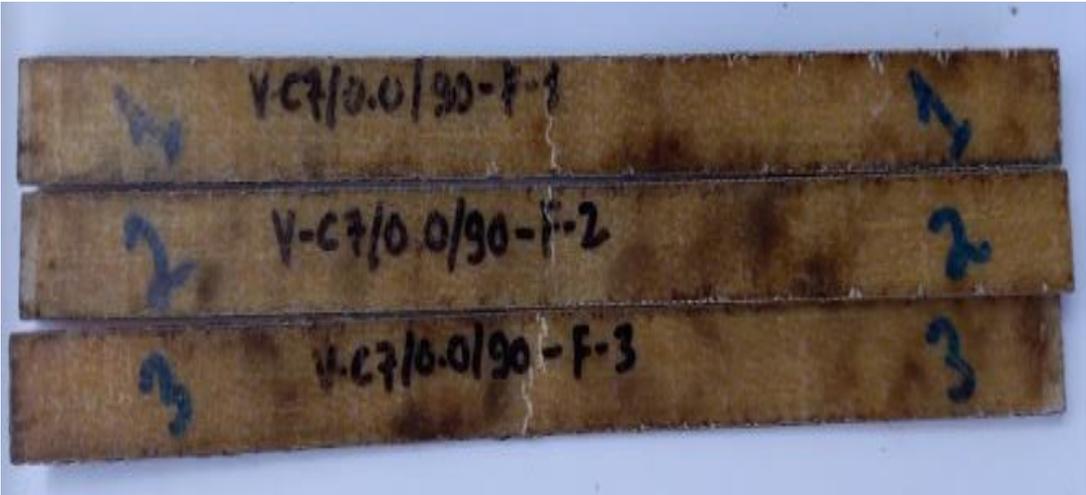
### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 6 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

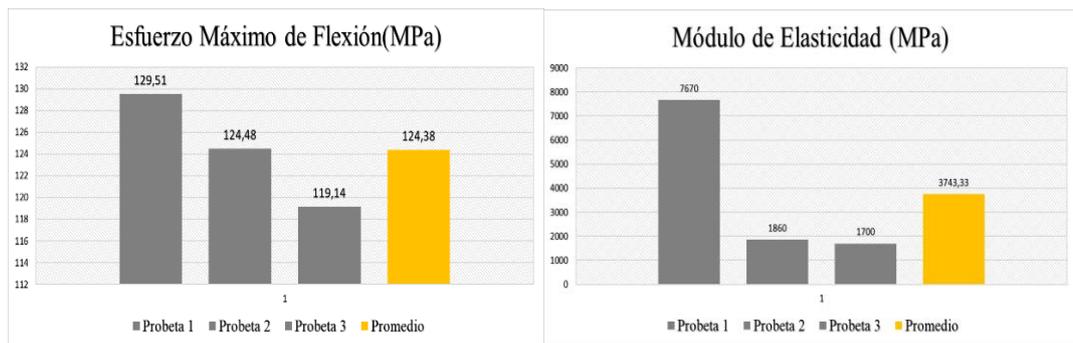
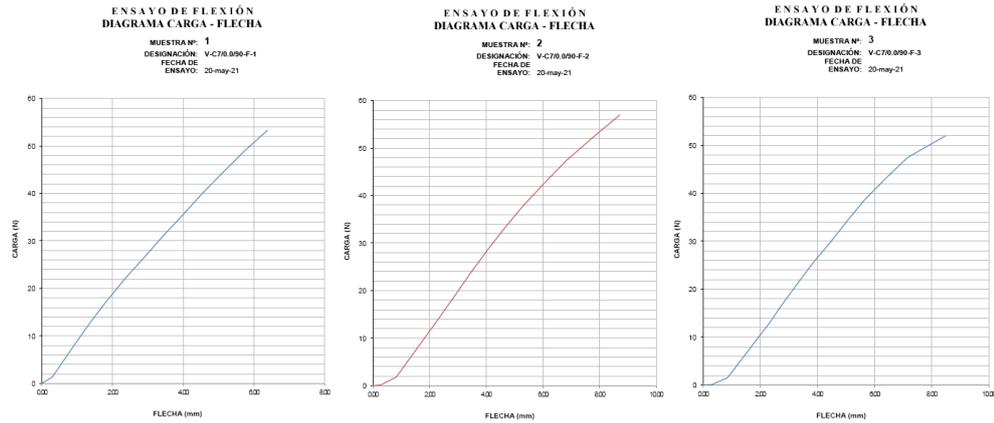
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	15,20	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	37,07	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	8,65	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	1320,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.22. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 7.

<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;">  <div style="text-align: center;"> <p><b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b></p> </div>  </div>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C7/0.0/90-F		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	45,67
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	58	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.65 mm
<b>Resultados</b>					
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	53,31	129,51	7670	6,39	OAT
2	56,95	124,48	1860	8,71	OAT
3	51,93	119,14	1700	8,48	OAT
<b>Promedio</b>	54,06	124,38	3743,33	7,86	-
<b>Fotografías de ensayo</b>					
					

## Graficas de esfuerzo - deformación



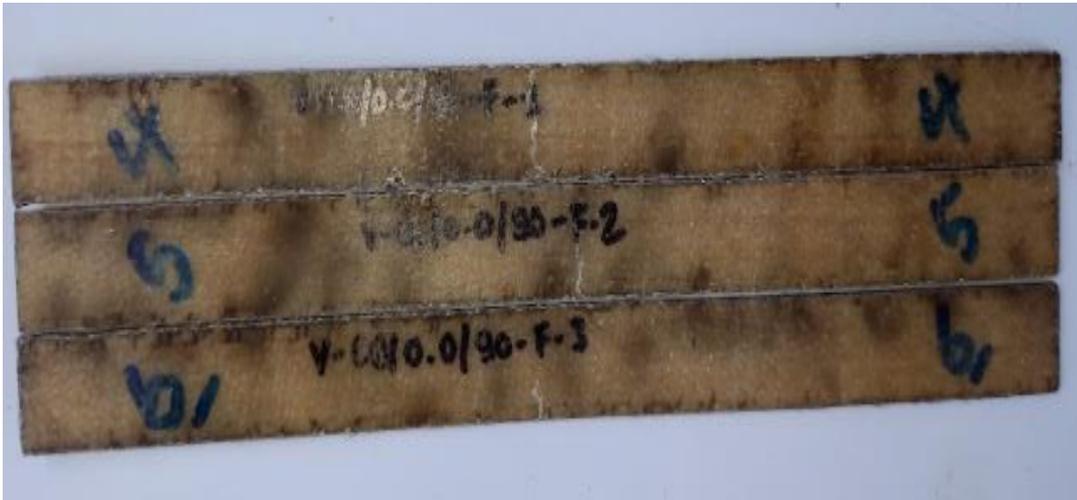
### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 7 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAT, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se localiza en la parte superior de la probeta.

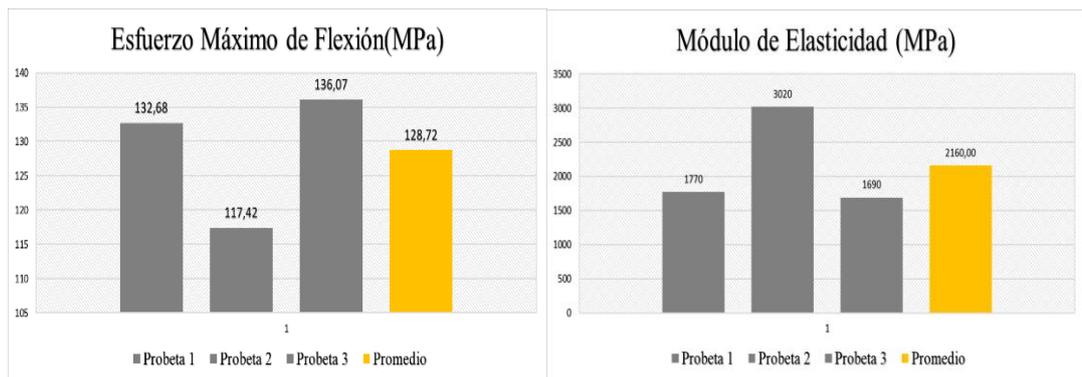
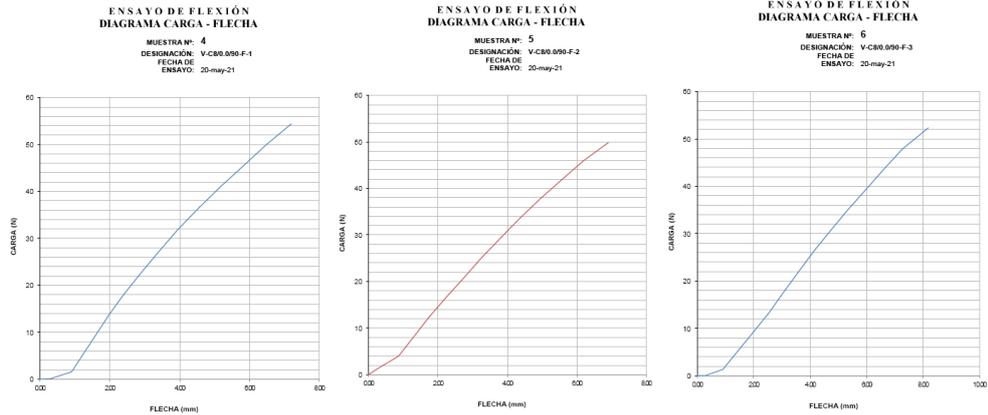
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	54,06	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	124,38	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	7,86	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	3743,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.23. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 8.

 <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </div> 					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	10/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Riobamba		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV				
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C8/0.0/90-F		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	47,24
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	60	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.59 mm
<b>Resultados</b>					
N° de probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla
1	54,41	132,68	1770	7,2	OAT
2	49,82	117,42	3020	6,91	OAT
3	52,37	136,07	1690	8,19	OAT
<b>Promedio</b>	52,20	128,72	2160,00	7,43	-
<b>Fotografías de ensayo</b>					
					

## Graficas de esfuerzo - deformación



### Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 8 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAT, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se localiza en la parte superior de la probeta.

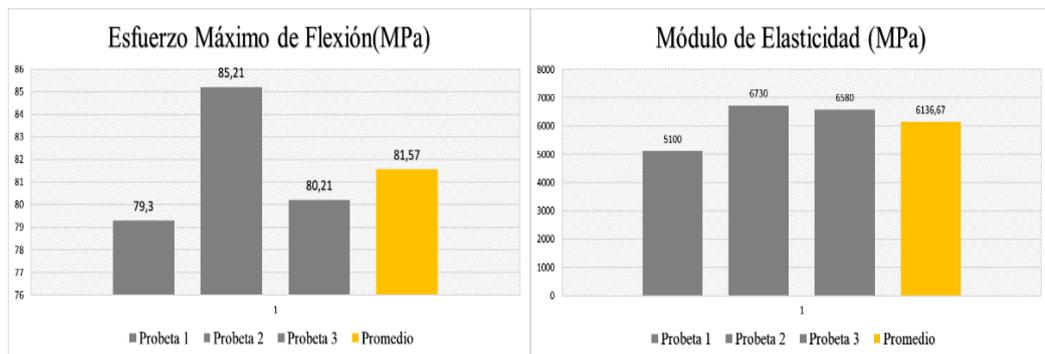
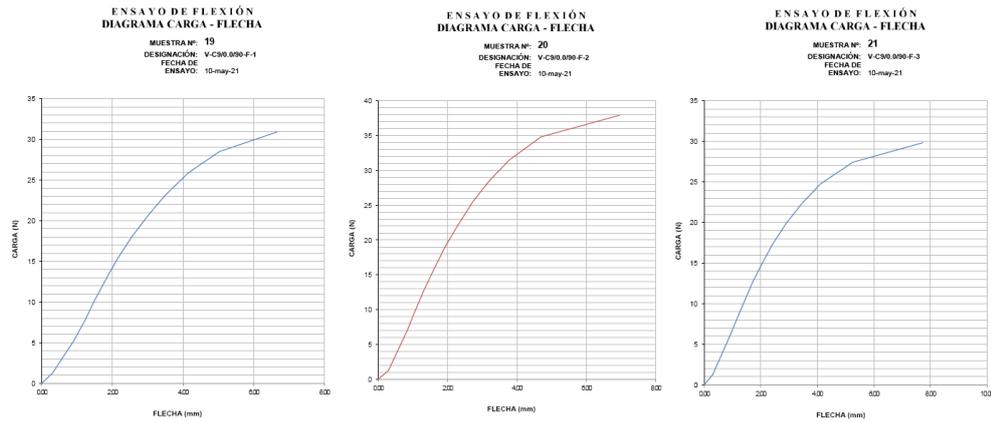
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	52,20	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	128,72	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	7,43	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	2160,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.24. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 9.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C9/0.0/90-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,54		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.58 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>		Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla	
1		30,91	79,3	5100	6,66	OAU	
2		37,94	85,21	6730	6,95	OAU	
3		29,82	80,21	6580	7,73	OAU	
<b>Promedio</b>		32,89	81,57	6136,67	7,11	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación



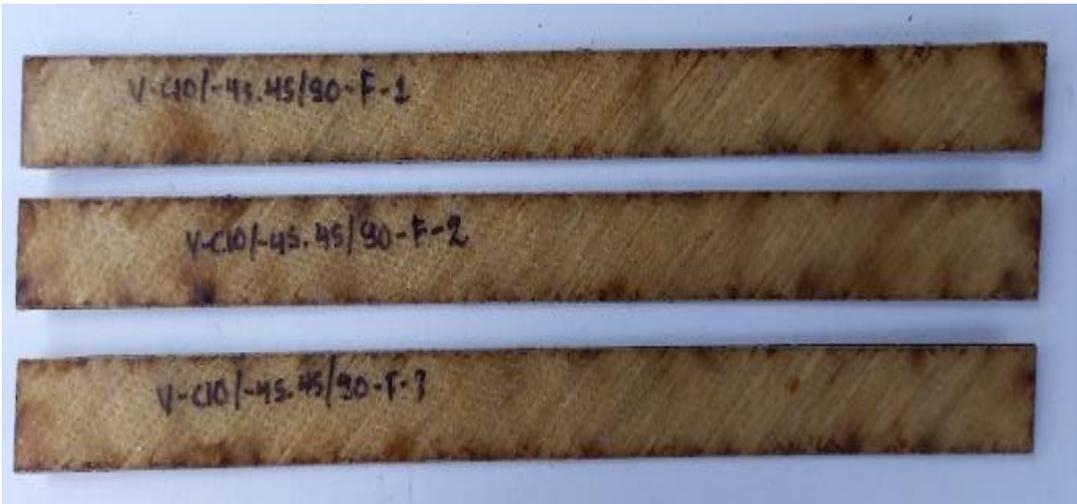
## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 9 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

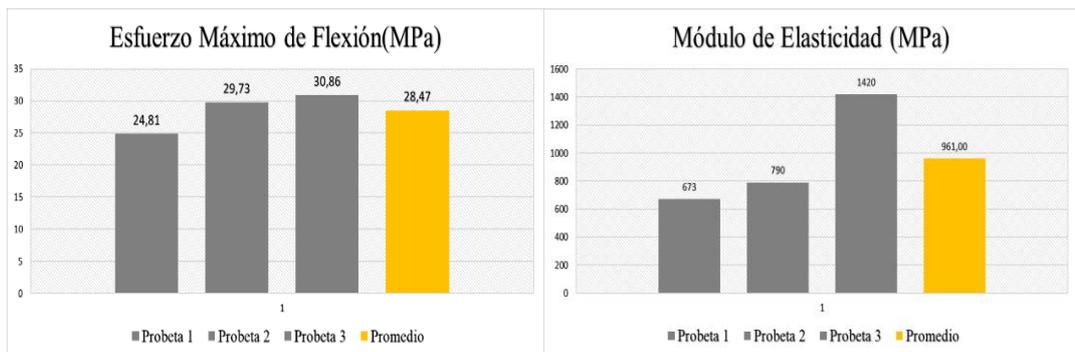
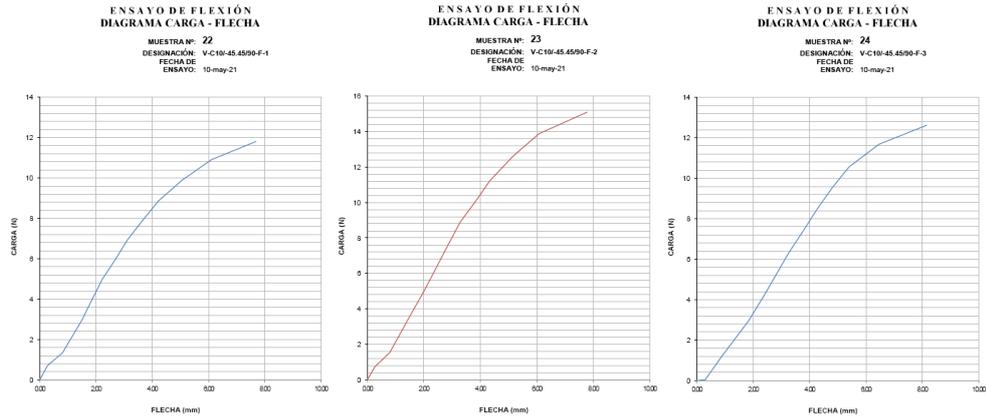
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	32,89	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	81,57	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	7,11	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	6139,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.25. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 10.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C10/-45.45/90-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,52		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.70 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla		
1	11,81	24,81	673	7,69	OAU		
2	15,1	29,73	790	7,78	OAU		
3	12,63	30,86	1420	8,16	OAU		
<b>Promedio</b>	13,18	28,47	961,00	7,88	-		
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 10 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

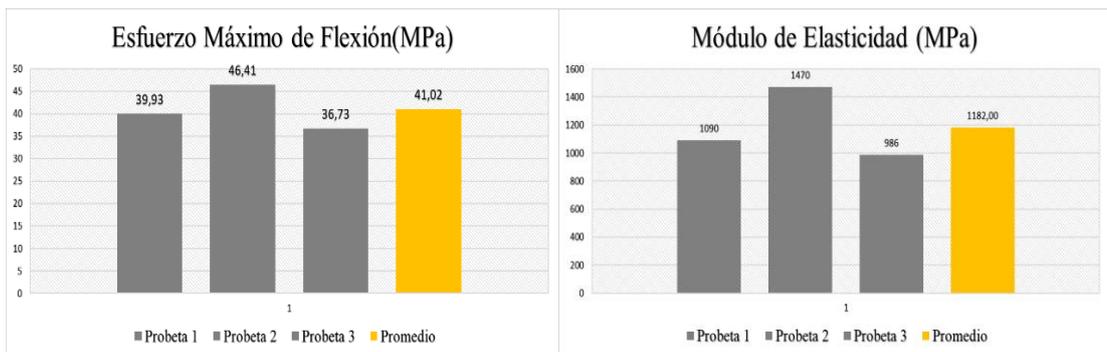
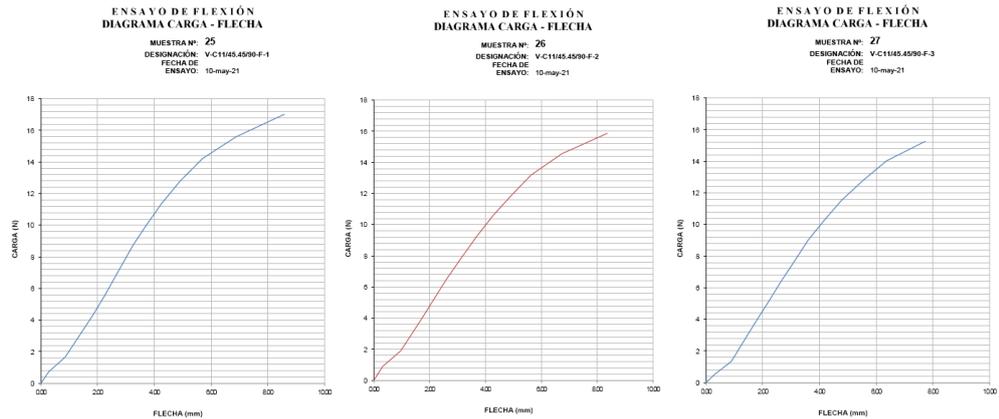
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	13,18	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	28,47	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	7,88	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	961,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.26. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 11.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C11/45.45/90-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.56 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>		<b>Carga máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo de flexión (MPa)</b>	<b>Módulo de elasticidad (MPa)</b>	<b>Flecha máxima (mm)</b>	<b>Tipo de falla</b>	
1		17,02	39,93	1090	8,59	OAU	
2		15,86	46,41	1470	8,37	OAU	
3		15,26	36,73	986	7,73	OAU	
<b>Promedio</b>		16,05	41,02	1182,00	8,23	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación



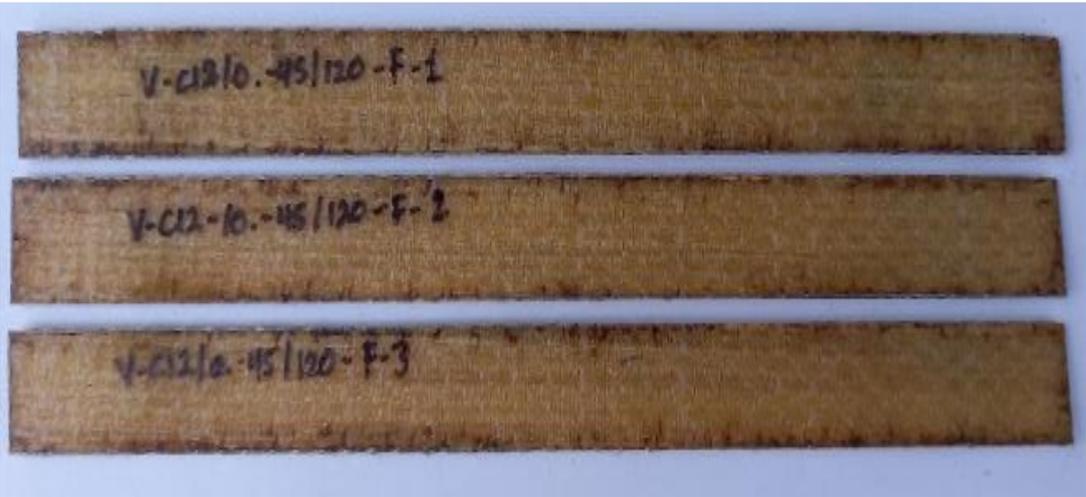
## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 11 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

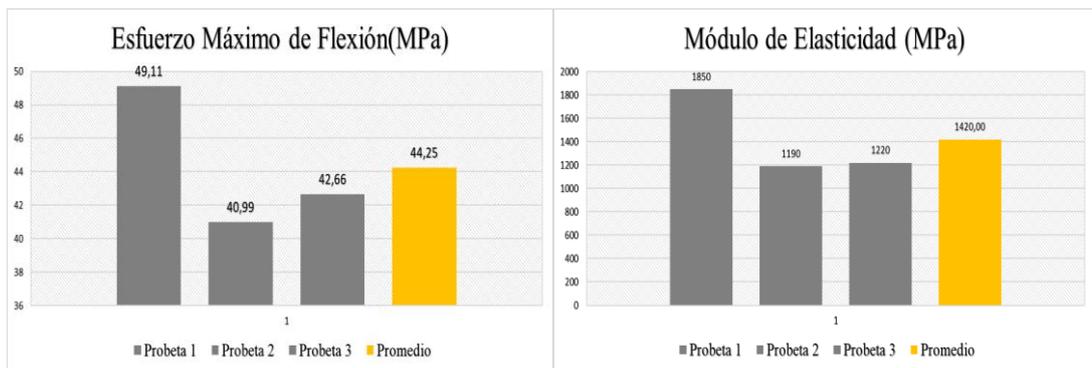
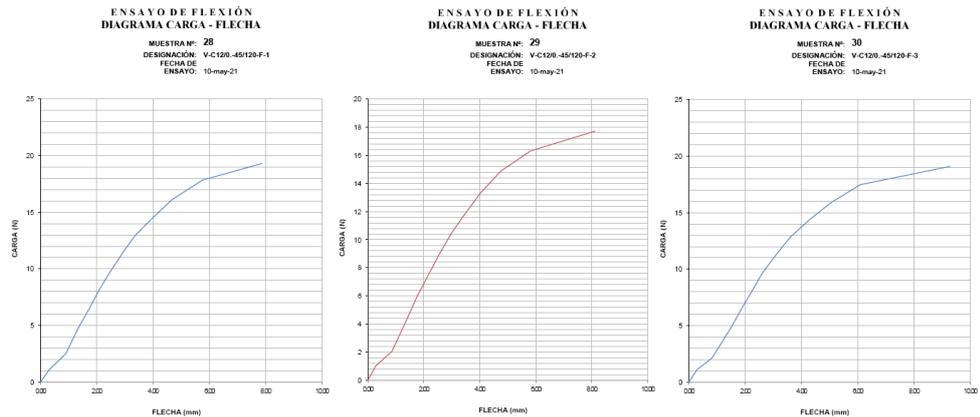
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	16,05	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	41,02	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	8,23	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	1182,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.27. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 12.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C12/0.-45/120-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	41,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	53	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.62 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla		
1	19,32	49,11	1850	7,88	OAU		
2	17,72	40,99	1190	8,12	OAU		
3	19,09	42,66	1220	9,28	OAU		
<b>Promedio</b>	18,71	44,25	1420,00	8,43	-		
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Gráficas de esfuerzo - deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 12 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

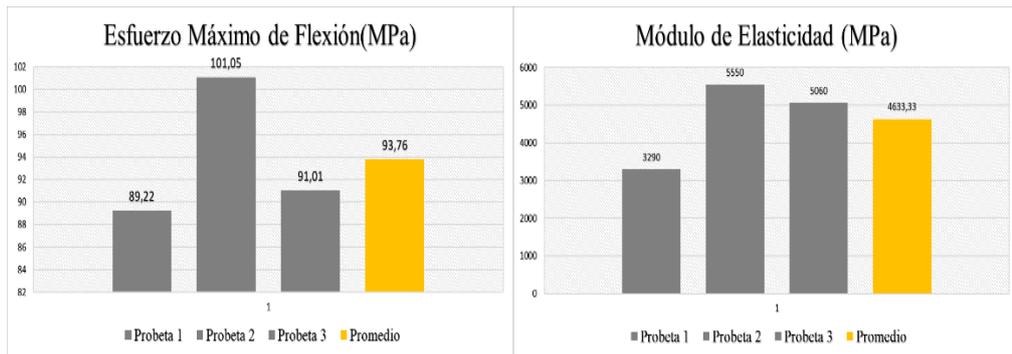
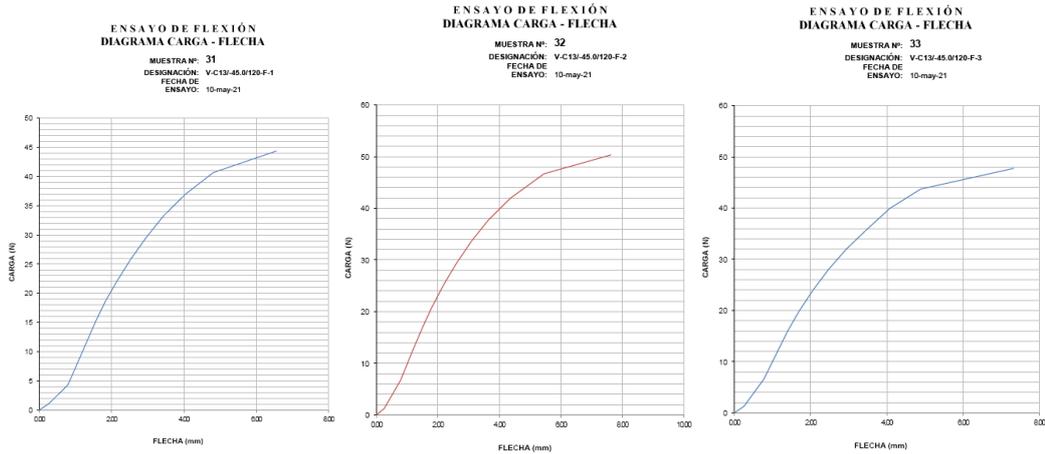
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	18,71	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	44,25	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	8,43	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	1420,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.28. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 13.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C13/-45.0/120-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.77 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>		Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla	
1		44,35	89,22	3290	6,56	OAU	
2		50,34	101,05	5550	7,63	OAU	
3		47,76	91,01	5060	7,32	OAU	
<b>Promedio</b>		47,48	93,76	4633,33	7,17	-	
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 13 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	47,48	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	93,76	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	7,17	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	4633,33	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

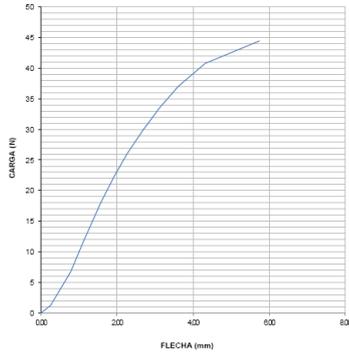
Fuente: [Autor]

Tabla 3.29. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 14.

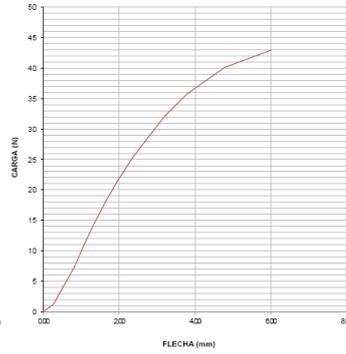
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C14/45.0/120-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.86 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla		
1	44,44	84,98	5240	5,74	OAU		
2	42,98	85,08	5730	6,02	OAU		
3	30,18	46,77	2640	4,87	OAU		
<b>Promedio</b>	39,20	72,28	4536,67	5,54	-		
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación

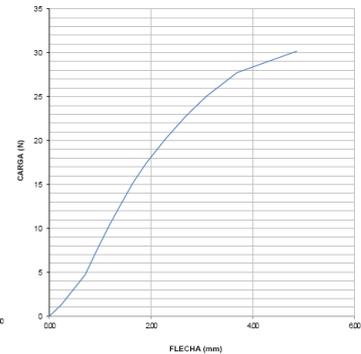
**ENSAYO DE FLEXIÓN  
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**  
MUESTRA Nº: 34  
DESIGNACIÓN: V-C14445.0120-F-1  
FECHA DE ENSAYO: 10-may-21



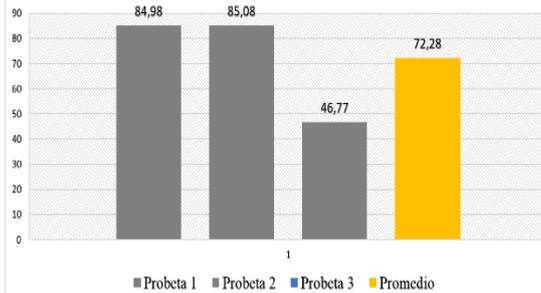
**ENSAYO DE FLEXIÓN  
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**  
MUESTRA Nº: 35  
DESIGNACIÓN: V-C14445.0120-F-2  
FECHA DE ENSAYO: 10-may-21



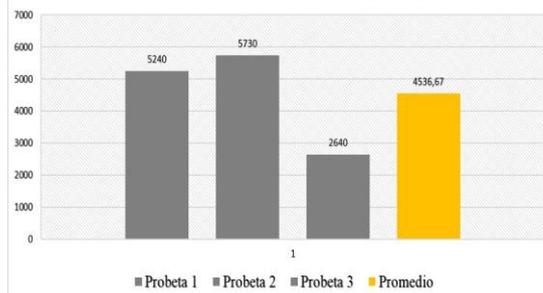
**ENSAYO DE FLEXIÓN  
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**  
MUESTRA Nº: 36  
DESIGNACIÓN: V-C14445.0120-F-3  
FECHA DE ENSAYO: 10-may-21



**Esfuerzo Máximo de Flexión(MPa)**



**Módulo de Elasticidad (MPa)**



## Observación de ensayos

- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 14 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

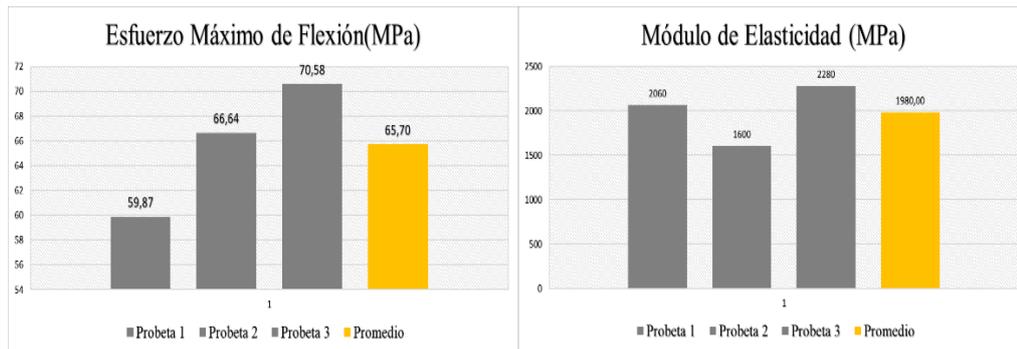
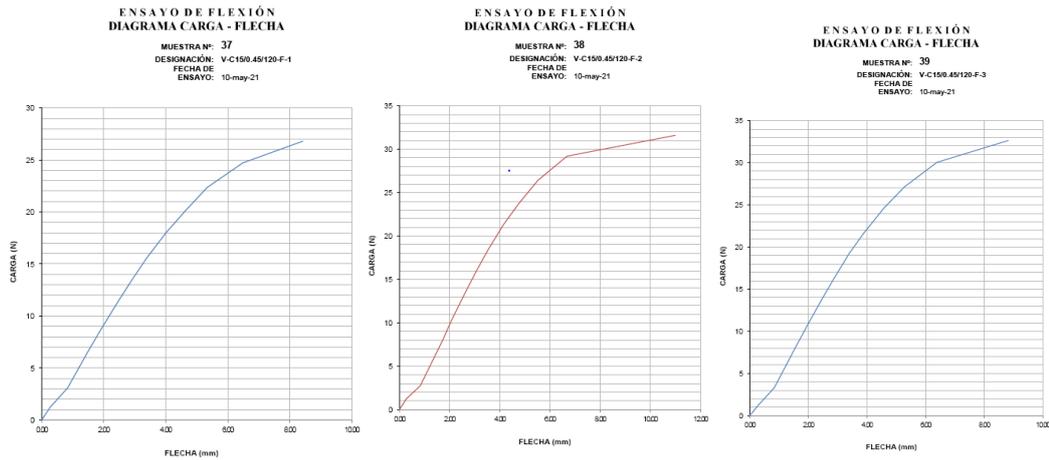
Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	39,20	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	72,28	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	5,54	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	4536,67	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

Tabla 3.30. Resultados de ensayo mecánico a flexión - Caso 15.

		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Flexión ASTM D7264/D7264M-21</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	10/05/2021		<b>Ciudad:</b>	Riobamba			
<b>Lugar:</b>	Laboratorio Ensayo de Materiales - LEnMaV						
<b>Equipo:</b>	Maquina Universal de Ensayos - WAW600B						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco		<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes			
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental		<b>Codificación:</b>	V-C15/0.45/120-F			
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D7264	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	160*13*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Velocidad de ensayo:</b>	1 mm/min	<b>Espesor promedio:</b>	1.69 mm		
<b>Resultados</b>							
<b>N° de probeta</b>	Carga máxima (N)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Flecha máxima (mm)	Tipo de falla		
1	26,81	59,87	2060	8,43	OAU		
2	31,61	66,64	1600	11	OAU		
3	32,65	70,58	2280	8,82	OAU		
<b>Promedio</b>	30,36	65,70	1980,00	9,42	-		
<b>Fotografías de ensayo</b>							
							

## Graficas de esfuerzo - deformación



## Observación de ensayos

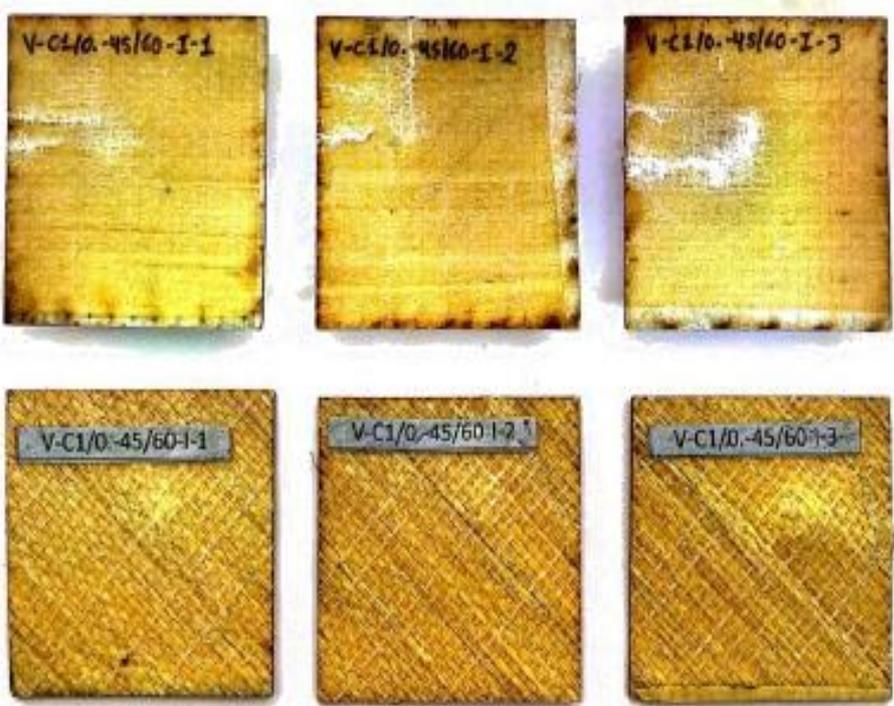
- El material ensayado presenta excelente adherencia entre la matriz y el refuerzo.
- El tipo de falla producido en el caso 15 del ensayo a flexión de las respectivas muestras es OAU, lo que indica que la falla es provocada en el centro del punto de aplicación de la carga y se desconoce la ubicación de falla.

Valores promedio		Aprobado y validado	
<b>Carga máxima (N)</b>	30,36	<b>Elaborado por:</b>	Sr. Santiago Chuquitarco
<b>Esfuerzo máximo de flexión (MPa)</b>	65,70	<b>Revisado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Flecha máxima (mm)</b>	9,42	<b>Aprobado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.
<b>Módulo de Elasticidad (MPa)</b>	1980,00	<b>Validado por:</b>	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: [Autor]

### 3.1.4. Resultados de ensayos en Impacto

Tabla 3.31. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 1.

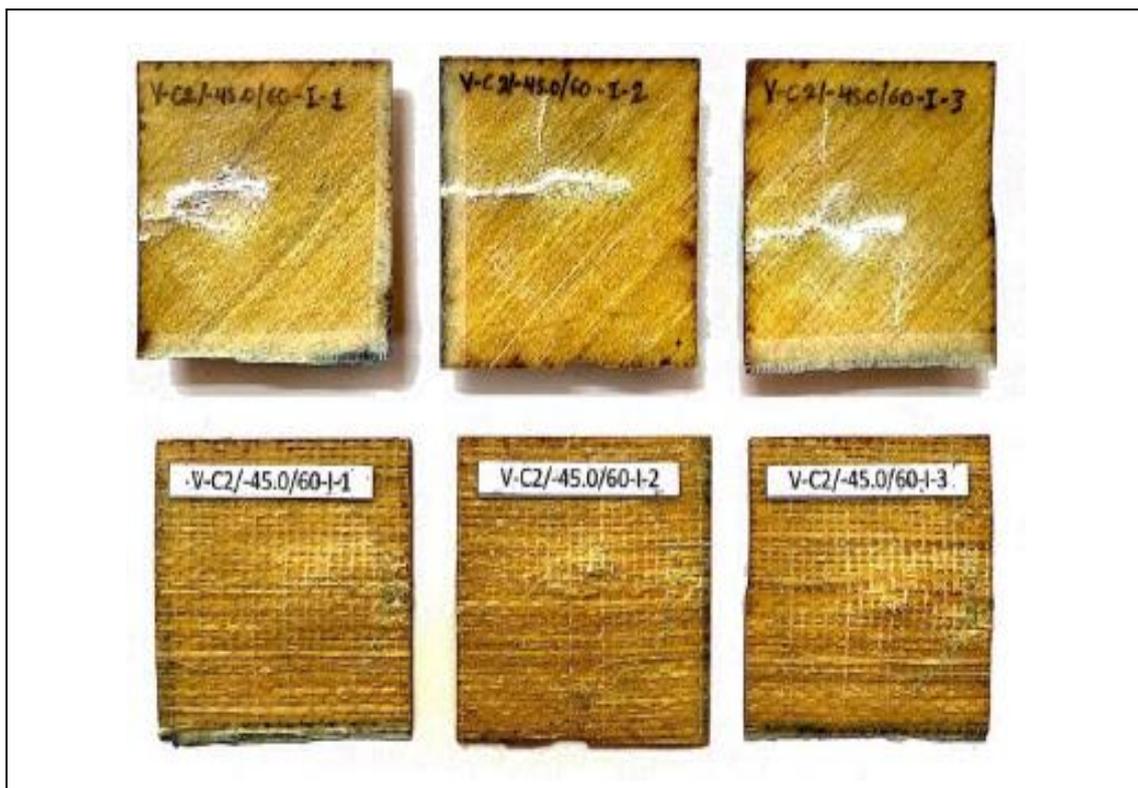
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>							
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>							
<b>Datos informativos</b>							
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato				
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)						
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto						
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes				
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C1/0.-45/60-I				
<b>Parámetros de ensayo</b>							
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3		
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	40,94		
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C		
<b>Orientación de fibra:</b>	0/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH		
<b>Peso de fibra (gr):</b>	52	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.62 mm		
<b>Fotografía de ensayo</b>							
							

Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	500	0,287	0,528	3,9975	A
2	600	0,287	0,528	4,7970	A
3	750	0,287	0,528	5,9963	B
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la probeta 1 y 2 es de tipo A, contiene grietas alojadas en la superficie opuesta del golpe, la probeta 3 posee el tipo de falla B con una grieta que traspasa el espesor de la respectiva probeta con una energía de fallo de 5,99 Joules a una altura media de 750 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.32. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 2.

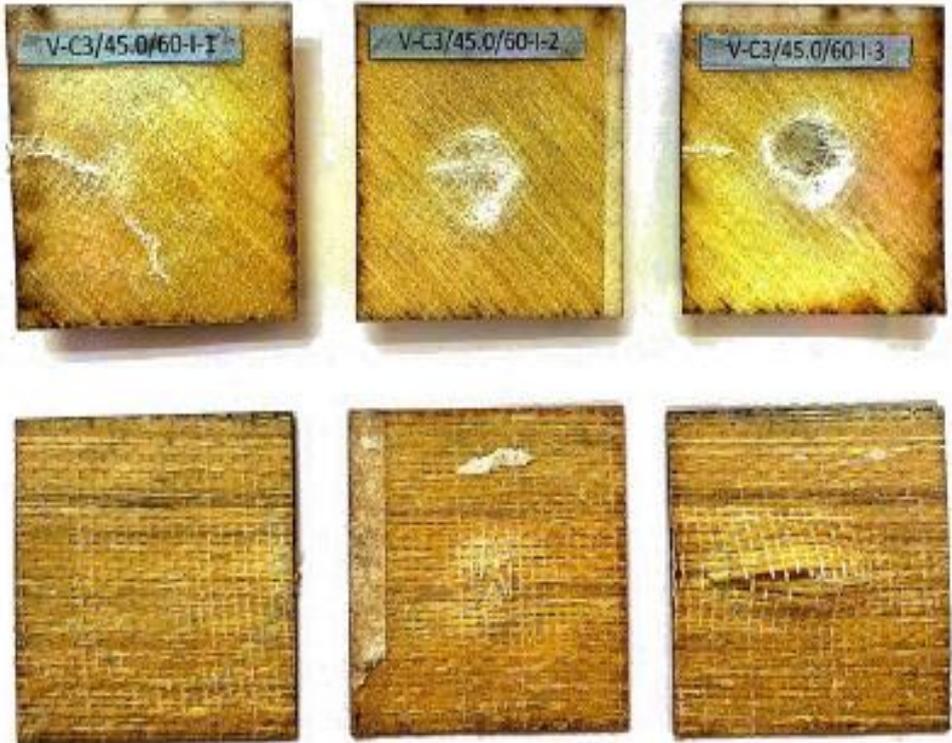
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Impacto ASTM D5628 - 10					
Datos informativos					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C2/-45.0/60-I		
Parámetros de ensayo					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.69 mm
Fotografía de ensayo					



Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	700	0,287	0,791	7,4026	B
2	750	0,287	0,791	7,9313	B
3	800	0,287	0,791	8,4601	B
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Las muestras ensayadas contienen el tipo de fallo B, existen grietas penetradas en la parte posterior de cada placa, la mayor energía de fallo se da en la probeta 3 con un valor de 8,4601 Joules a una altura media de 800 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.33. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 3.

 <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </div> 					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C3/45.0/60-I		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	41,73
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	45/0	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	53	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.68 mm
<b>Fotografía de ensayo</b>					
					

Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,287	0,791	3,1725	A
2	400	0,287	0,791	4,2300	A
3	500	0,287	0,791	5,2875	B
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la probeta 1 y 2 es de tipo A, contiene grietas alojadas en la superficie opuesta del golpe, la probeta 3 posee el tipo de falla B con una ruptura que traspasa el espesor de la respectiva probeta con una energía de fallo de 5,28 Joules a una altura media de 500 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.34. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 4.

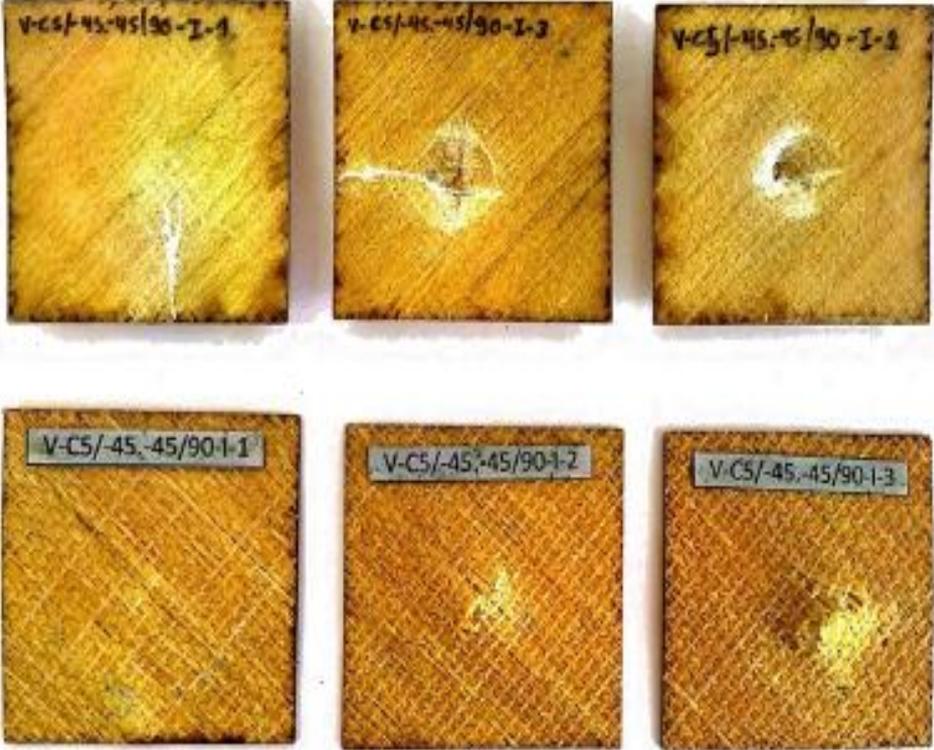
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Impacto ASTM D5628 - 10					
Datos informativos					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C4/0.45/60-I		
Parámetros de ensayo					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	40,94
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	60 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	52	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.67 mm
Fotografía de ensayo					



Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,287	0,791	2,1150	A
2	300	0,287	0,791	3,1725	A
3	400	0,287	0,791	4,2300	A
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en las muestras es de tipo A, presenta pequeñas grietas en la parte posterior sin ninguna ruptura en cada muestra. La energía media de falla en la probeta con mayor afectación es de 4,23 Joules a una altura media de 400 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.35. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 5.

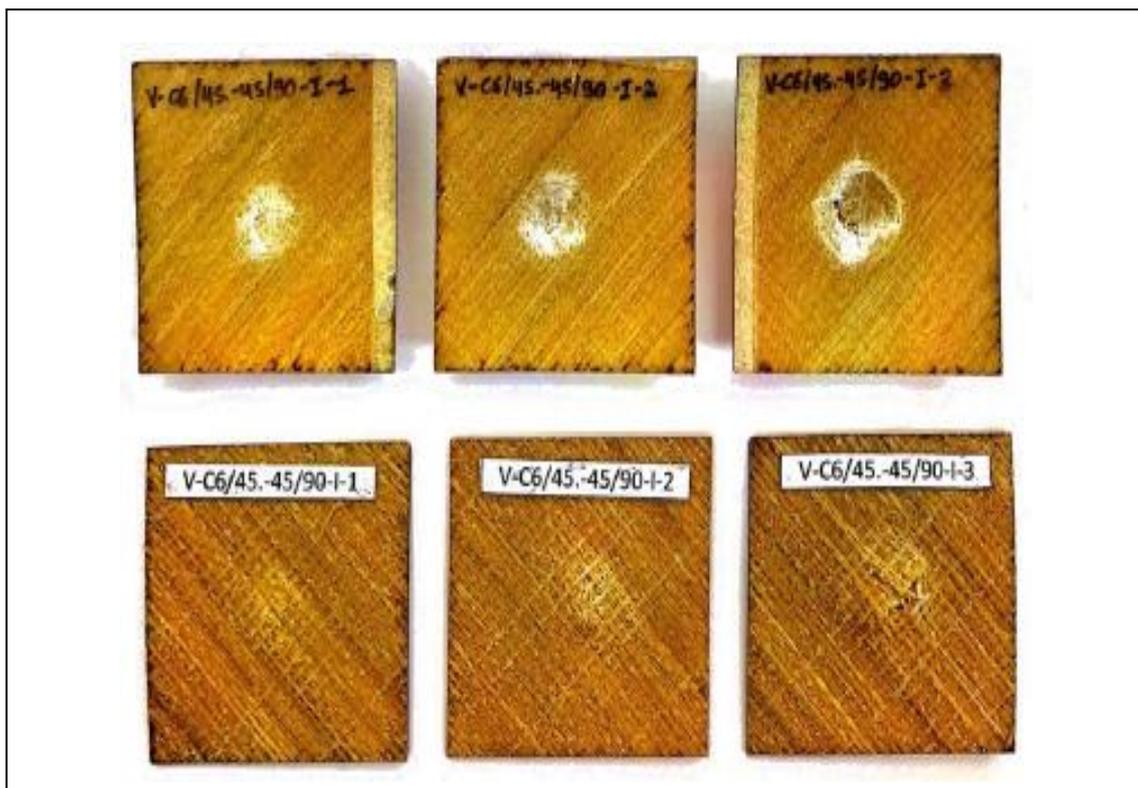
 <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </div> 					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C5/-45.-45/90-I		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	44,88
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/-45	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	57	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.64 mm
<b>Fotografía de ensayo</b>					
					

Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	400	0,287	0,791	4,2300	A
2	500	0,287	0,791	5,2875	B
3	600	0,287	0,791	6,3451	D
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la muestra 1 es de tipo A, presenta pequeñas grietas en la parte posterior sin ninguna ruptura. En la muestra 2 es de tipo B con grietas que penetran todo el espesor, la muestra 3 es de tipo D, posee una falla dúctil y presenta ruptura en la parte posterior de la placa. La energía media de falla en la probeta con mayor incidencia es de 6,3451 Joules a una altura media de 600 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.36. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 6.

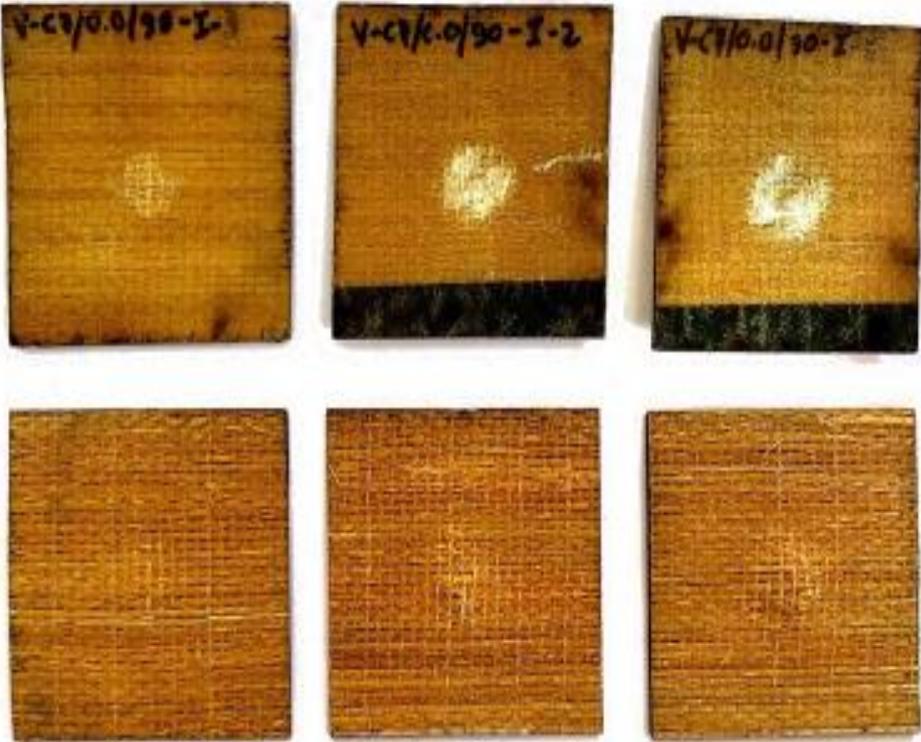
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Impacto ASTM D5628 - 10					
Datos informativos					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C6/45.-45/90-I		
Parámetros de ensayo					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,54
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	45/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.62 mm
Fotografía de ensayo					



Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,287	0,791	3,1725	A
2	400	0,287	0,791	4,2300	B
3	500	0,287	0,791	5,2875	D
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la muestra 1 es de tipo A, presenta pequeñas grietas en la parte posterior sin ninguna ruptura. En la muestra 2 es de tipo B con grietas que penetran todo el espesor, la muestra 3 es de tipo D, posee una falla dúctil y presenta ruptura en la parte posterior de la placa. La energía media de falla en la probeta con mayor incidencia es de 5,2875 Joules a una altura media de 500 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.37. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 7.

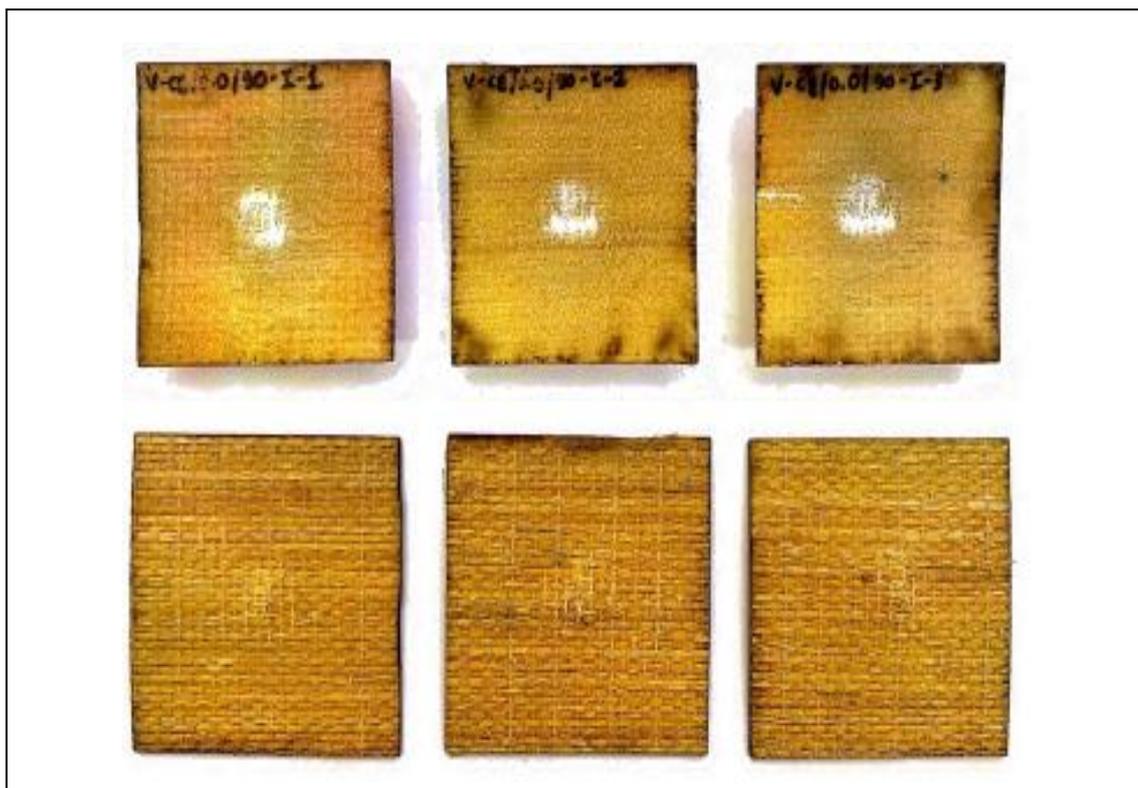
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C7/0.0/90-I		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	45,67
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	58	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.58 mm
<b>Fotografía de ensayo</b>					
					

Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	400	0,287	0,528	3,1980	A
2	450	0,287	0,528	3,5978	A
3	500	0,287	0,528	3,9975	B
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la probeta 1 y 2 es de tipo A, contiene grietas alojadas en la superficie opuesta del golpe, la probeta 3 posee el tipo de falla B con una ruptura que traspasa el espesor de la respectiva probeta con una energía de fallo de 3,99 Joules a una altura media de 500 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.38. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 8.

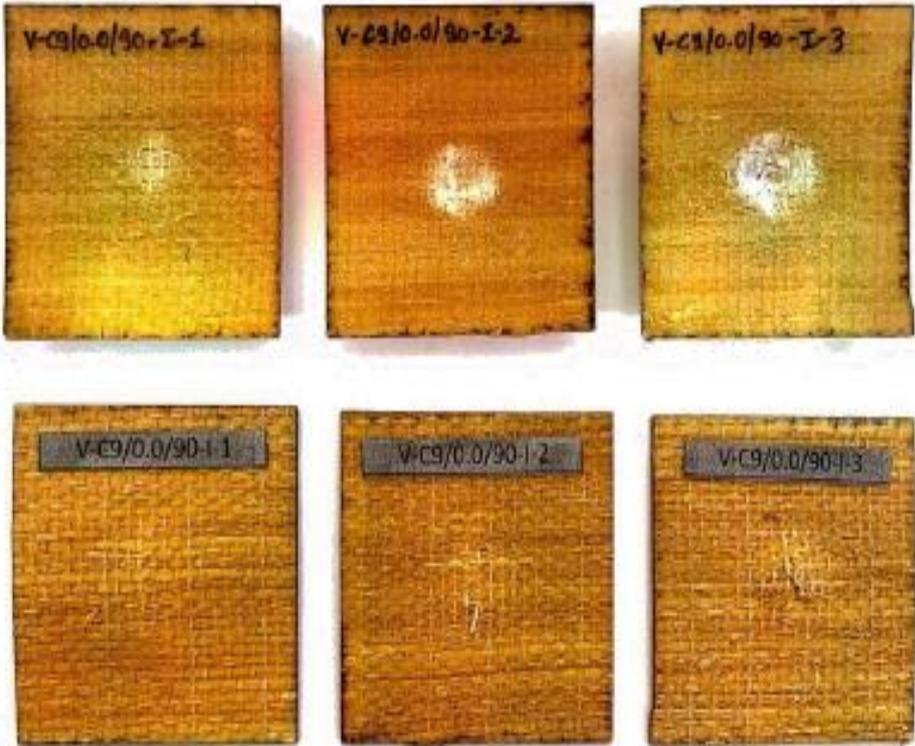
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Impacto ASTM D5628 - 10					
Datos informativos					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C8/0.0/90-I		
Parámetros de ensayo					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	47,24
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	60	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.60 mm
Fotografía de ensayo					



Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	400	0,287	0,528	3,1980	A
2	450	0,287	0,528	3,5978	A
3	500	0,287	0,528	3,9975	B
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la probeta 1 y 2 es de tipo A, contiene grietas alojadas en la superficie opuesta del golpe, la probeta 3 posee el tipo de falla B con una ruptura que traspasa el espesor de la respectiva probeta con una energía de fallo de 3,99 Joules a una altura media de 500 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.39. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 9.

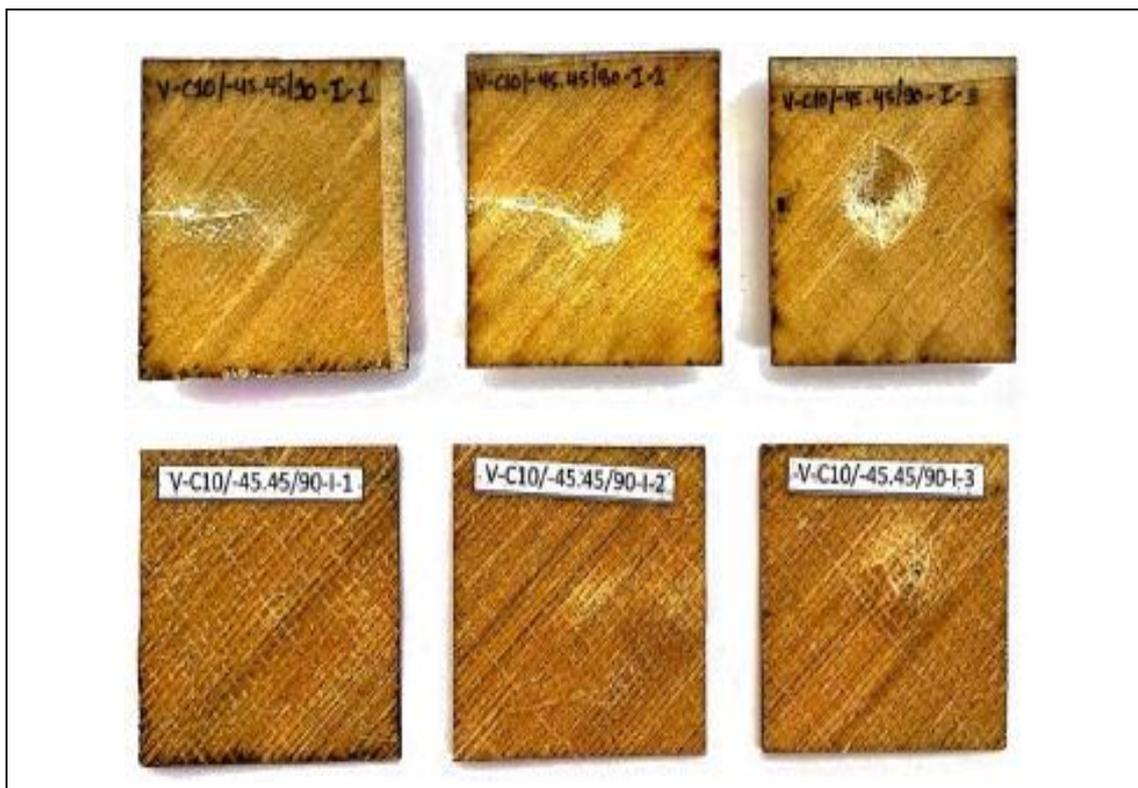
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C9/0.0/90-I		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,52
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/0	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.61 mm
<b>Fotografía de ensayo</b>					
					

Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	200	0,287	0,791	2,1150	A
2	300	0,287	0,791	3,1725	A
3	400	0,287	0,791	4,2300	B
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la probeta 1 y 2 es de tipo A, contiene grietas alojadas en la superficie opuesta del golpe, la probeta 3 posee el tipo de falla B con una ruptura que traspasa el espesor de la respectiva probeta con una energía de fallo de 4,23 Joules a una altura media de 400 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.40. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 10.

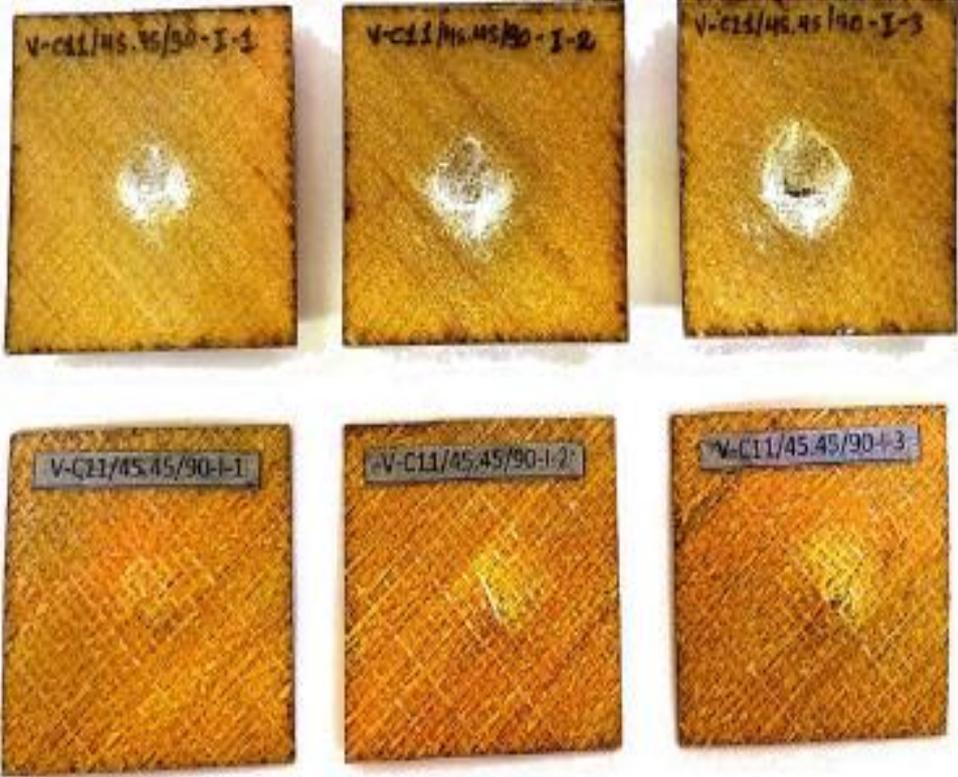
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Impacto ASTM D5628 - 10					
Datos informativos					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C10/-45.-45/90-I		
Parámetros de ensayo					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	42,52
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	54	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.59 mm
Fotografía de ensayo					



Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,287	0,791	3,1725	A
2	400	0,287	0,791	4,2300	B
3	500	0,287	0,791	5,2875	D
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la muestra 1 es de tipo A, presenta pequeñas grietas en la parte posterior sin ninguna ruptura. En la muestra 2 es de tipo B con grietas que penetran todo el espesor, la muestra 3 es de tipo D, posee una falla dúctil y presenta ruptura en la parte posterior de la placa. La energía media de falla en la probeta con mayor incidencia es de 5,2875 Joules a una altura media de 500 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.41. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 11.

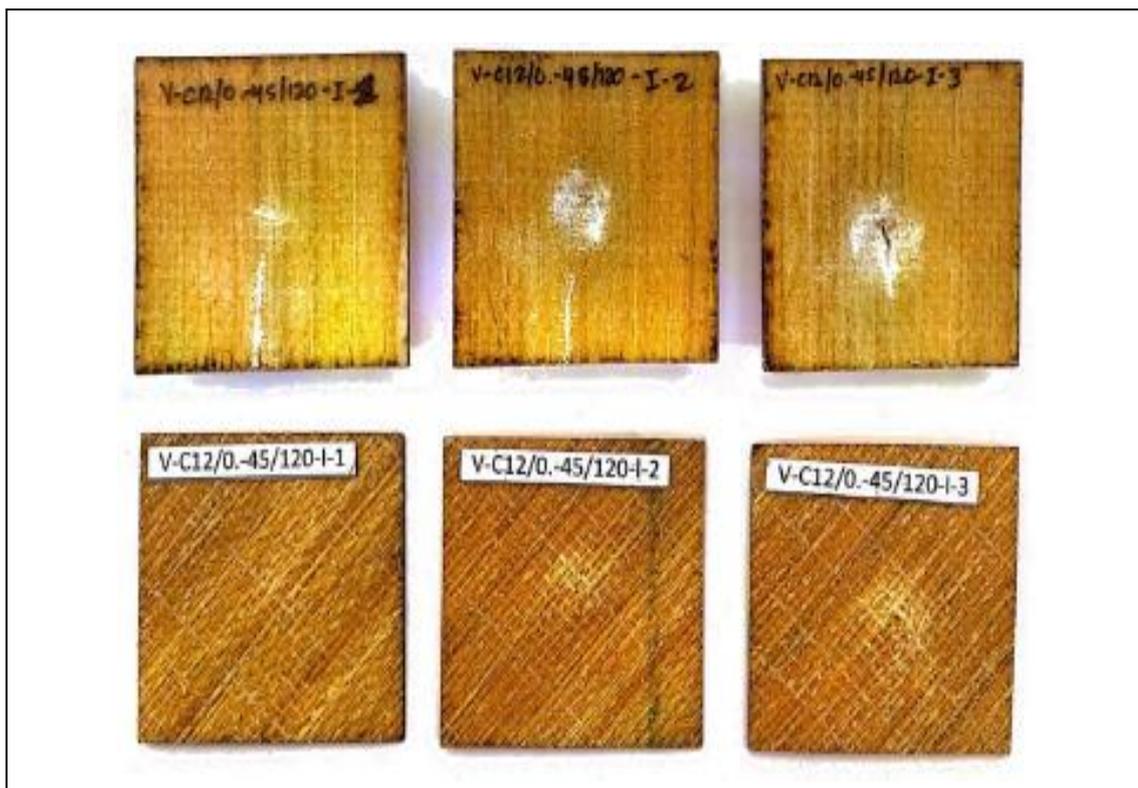
 <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </div> 					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C11/45.45/90-I		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	90 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	45/45	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.62 mm
<b>Fotografía de ensayo</b>					
					

Resultados					
Nº de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,287	0,791	3,1725	A
2	400	0,287	0,791	4,2300	B
3	500	0,287	0,791	5,2875	D
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la muestra 1 es de tipo A, presenta pequeñas grietas en la parte posterior sin ninguna ruptura. En la muestra 2 es de tipo B con grietas que penetran todo el espesor, la muestra 3 es de tipo D, posee una falla dúctil y presenta ruptura en la parte posterior de la placa. La energía media de falla en la probeta con mayor incidencia es de 5,2875 Joules a una altura media de 500 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.42. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 12.

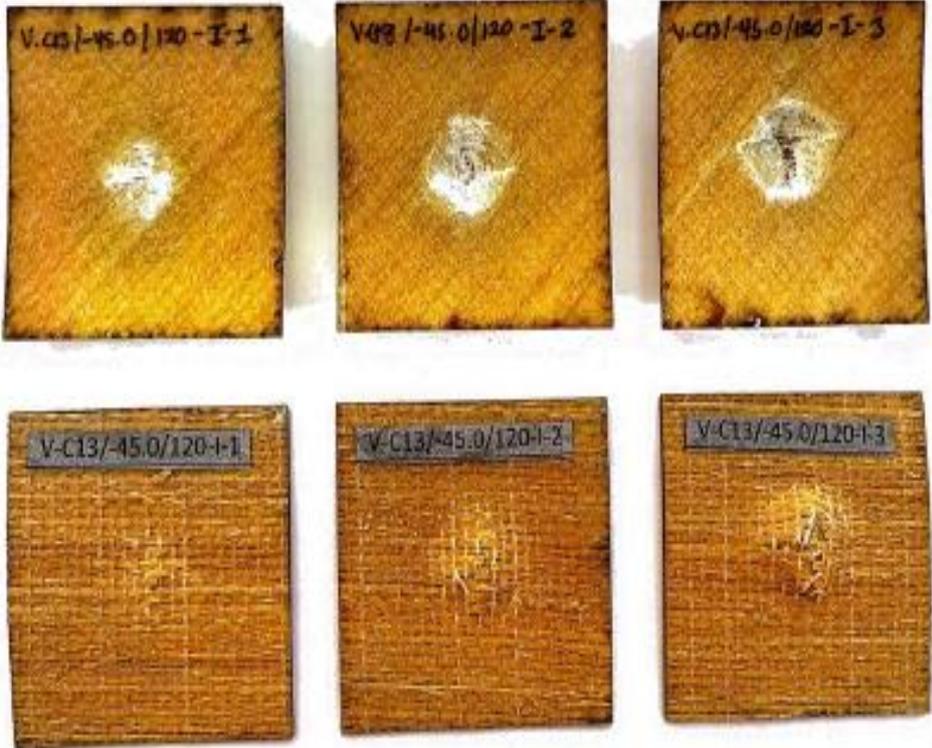
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Impacto ASTM D5628 - 10					
Datos informativos					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C12/0.-45/120-I		
Parámetros de ensayo					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	41,73
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/-45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	53	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.65 mm
Fotografía de ensayo					



Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	300	0,287	0,791	3,1725	A
2	400	0,287	0,791	4,2300	A
3	500	0,287	0,791	5,2875	B
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la probeta 1 y 2 es de tipo A, contiene grietas alojadas en la superficie opuesta del golpe, la probeta 3 posee el tipo de falla B con una ruptura que traspasa el espesor de la respectiva probeta con una energía de fallo de 5,2875 Joules a una altura media de 500 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.43. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 13.

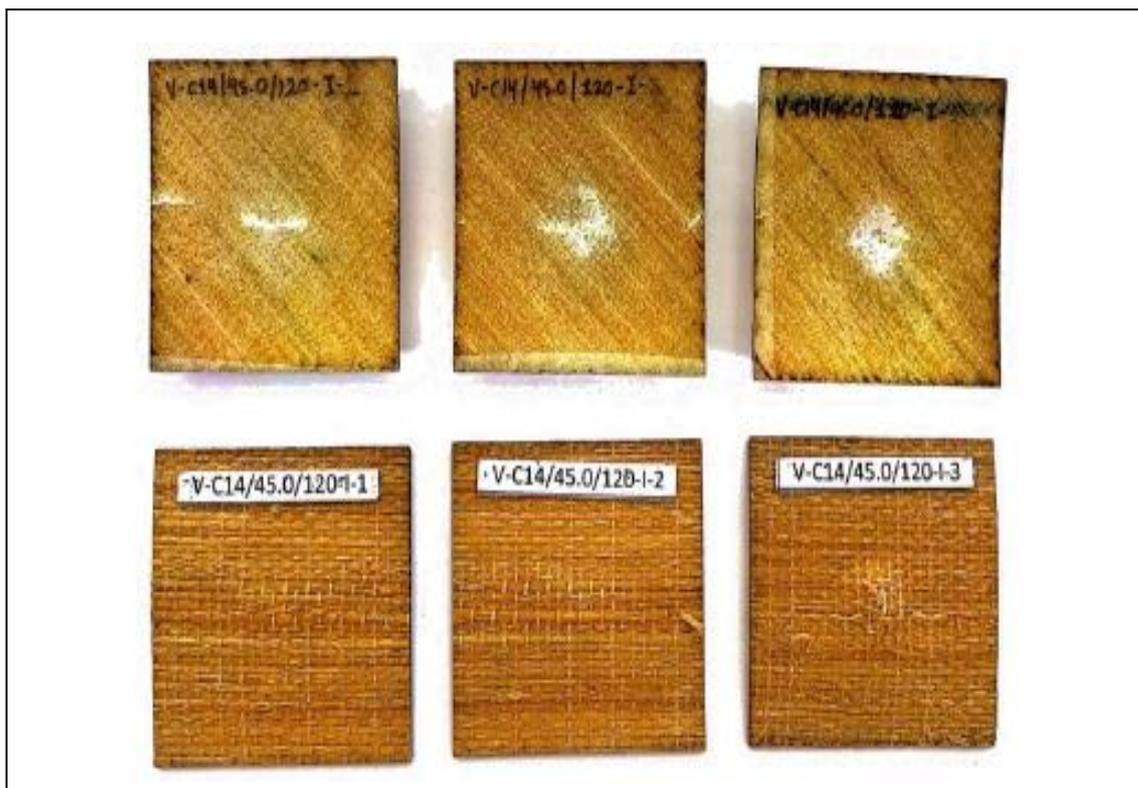
 <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </div> 					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C13/-45.0/120-I		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	-45/0	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.61 mm
<b>Fotografía de ensayo</b>					
					

Resultados					
Nº de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	350	0,287	0,791	3,7013	A
2	450	0,287	0,791	4,7588	B
3	550	0,287	0,791	5,8163	D
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la muestra 1 es de tipo A, presenta pequeñas grietas en la parte posterior sin ninguna ruptura. En la muestra 2 es de tipo B con grietas que penetran todo el espesor, la muestra 3 es de tipo D, posee una falla dúctil y presenta ruptura en la parte posterior de la placa. La energía media de falla en la probeta con mayor incidencia es de 5,8163 Joules a una altura media de 550 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.44. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 14.

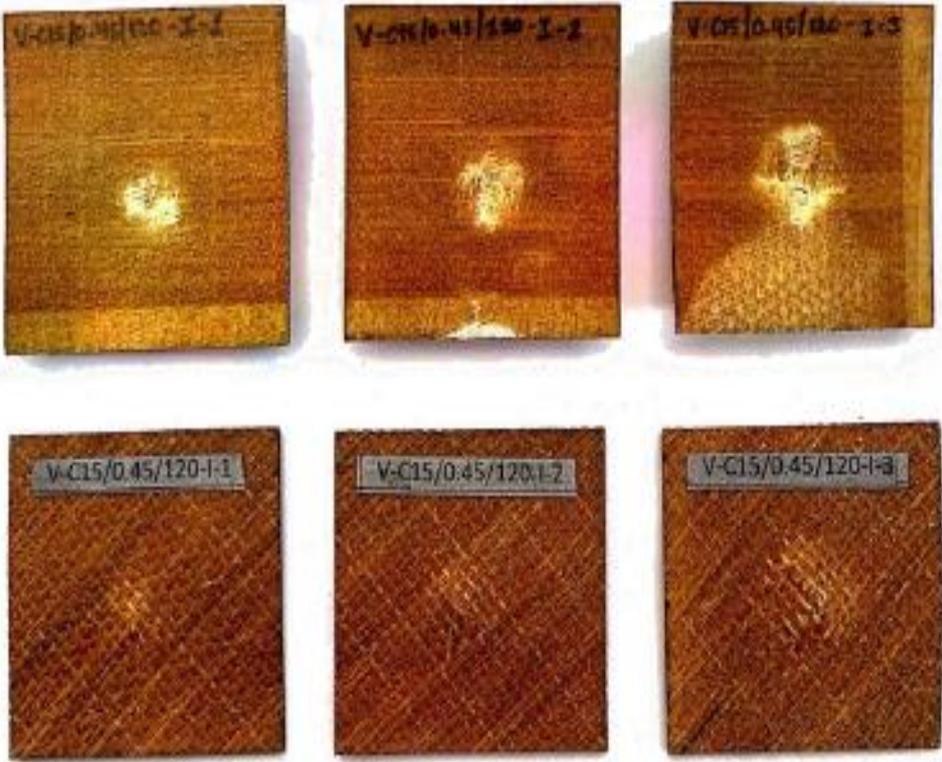
		<b>Universidad Técnica de Ambato</b> <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b> <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b>			
Ficha de recolección y tabulación de datos					
Impacto ASTM D5628 - 10					
Datos informativos					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C14/0.45/120-I		
Parámetros de ensayo					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/45	<b>Estratificación:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.70 mm
Fotografía de ensayo					



Resultados					
N° de probeta	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (Kg)	Incremento de masa (Kg)	Energía Media de Fallo (J)	Tipo de fallo
1	350	0,287	0,791	3,7013	A
2	400	0,287	0,791	4,2300	A
3	450	0,287	0,791	4,7588	A
Observación de ensayos					
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en las muestras es de tipo A, presenta pequeñas grietas en la parte posterior sin ninguna ruptura en cada muestra. La energía media de falla en la probeta con mayor afectación es de 4,7588 Joules a una altura media de 450 mm.</li> </ul>					
Elaborado por:			Validado y aprobado por:		
Sr. Santiago Chuquitarco Taco			Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: [Autor]

Tabla 3.45. Resultados de ensayo mecánico en impacto - Caso 15.

 <div style="text-align: center;"> <b>Universidad Técnica de Ambato</b>  <b>Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica</b>  <b>Carrera de Ingeniería Mecánica</b> </div> 					
<b>Ficha de recolección y tabulación de datos</b>					
<b>Impacto ASTM D5628 - 10</b>					
<b>Datos informativos</b>					
<b>Fecha:</b>	28/05/2021	<b>Ciudad:</b>	Ambato		
<b>Lugar:</b>	Laboratorio de materiales - Centro de Transferencia y Tecnología (CTT – FICM)				
<b>Equipo:</b>	Maquina tipo caída de masas de Impacto				
<b>Elaborado por:</b>	Santiago Chuquitarco	<b>Revisado por:</b>	Ing. Mg. Juan Paredes		
<b>Tipo de estudio:</b>	Experimental	<b>Codificación:</b>	V-C15/0.45/120-I		
<b>Parámetros de ensayo</b>					
<b>Matriz:</b>	Resina epoxi	<b>Norma:</b>	ASTM D5628 -10	<b>Probetas ensayadas:</b>	3
<b>Refuerzo:</b>	Fibra de chambira	<b>Dimensiones (mm):</b>	58*58*e	<b>Peso de la matriz:</b>	43,31
<b>Marca:</b>	AEROPOXI	<b>Tiempo de curado:</b>	2 horas en horno	<b>Temperatura de curado:</b>	120 °C
<b>Orientación de fibra:</b>	0/45	<b>Estratificación n:</b>	Al vacío	<b>Orden de capas:</b>	FV+FCH+FCH
<b>Peso de fibra (gr):</b>	55	<b>Tipo de Medición:</b>	Energía media de impacto (J)	<b>Espesor promedio:</b>	1.61 mm
<b>Fotografía de ensayo</b>					
					

<b>Resultados</b>						
<b>N° de probeta</b>	<b>Altura media de fallo (mm)</b>	<b>Masa aplicada (Kg)</b>	<b>Incremento de masa (Kg)</b>	<b>Energía Media de Fallo (J)</b>	<b>Tipo de fallo</b>	
1	200	0,287	0,791	2,1150	A	
2	300	0,287	0,791	3,1725	A	
3	400	0,287	0,791	4,2300	B	
<b>Observación de ensayos</b>						
<ul style="list-style-type: none"> <li>La falla ocasionada en la probeta 1 y 2 es de tipo A, contiene grietas alojadas en la superficie opuesta del golpe, la probeta 3 posee el tipo de falla B con una ruptura que traspasa el espesor de la respectiva probeta con una energía de fallo de 4,23 Joules a una altura media de 400 mm.</li> </ul>						
<b>Elaborado por:</b>				<b>Validado y aprobado por:</b>		
<b>Sr. Santiago Chuquitarco Taco</b>				<b>Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.</b>		

Fuente: [Autor]

### 3.1.5. Síntesis de datos obtenidos en tracción flexión e impacto

Por medio de la tabla 3.46, se presenta la síntesis de los datos obtenidos en los respectivos ensayos de tracción, flexión e impacto, conforme al diseño factorial aplicado en la combinación de los factores de entrada. Los respectivos valores obtenidos permitirán elaborar el tratamiento y optimización de respuestas en el análisis de resultados, por ende, se detalla conforme a las réplicas elaboradas para cada caso y para cada ensayo en la siguiente tabla, posterior a ello se presenta un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 3.46. Síntesis de resultados de las propiedades mecánicas en Tracción

<b>SÍNTESIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS</b>									
<b>N° Caso</b>	<b>Propiedad mecánica en tracción</b>				<b>Propiedad mecánica a flexión</b>				<b>Impacto</b>
	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo Elasticidad (MPa)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo Elasticidad (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Energía de fallo (J)</b>
1	3580	85	1840	4	15,99	36,55	1110	8,02	5,996
	3520	84	1480	2,5	16,26	36,63	893	9,72	
	3140	76	2370	2,5	29,39	29,39	1110	9,14	
2	3960	94	5290	6	30,21	66,04	5500	4,55	8,46
	3640	86	4270	1,5	24,57	51,06	4900	4,64	
	4120	93	3100	1	24,65	57,27	4520	5,21	

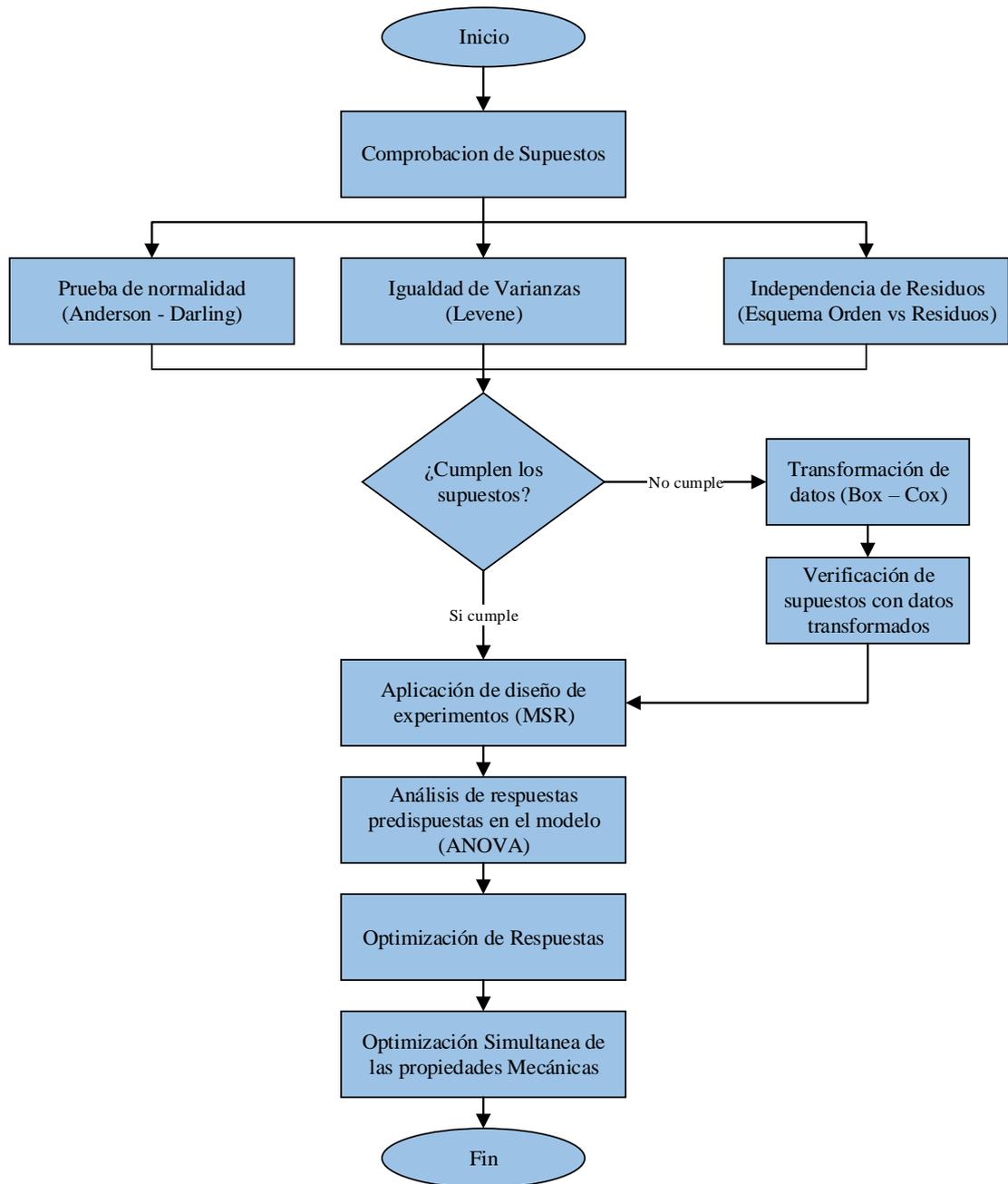
**SÍNTESIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS  
MECÁNICOS**

N° Caso	Propiedad mecánica en tracción				Propiedad mecánica a flexión				Impacto
	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo Elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Carga Máxima (N)	Esfuerzo Máximo (MPa)	Módulo Elasticidad (MPa)	Deflexión (mm)	Energía de fallo (J)
3	3700	79	6200	1,5	29,38	78,83	5140	5,82	5,287
	4020	95	5790	0,5	28,76	72,11	7770	5,62	
	3940	95	6430	2	29,94	72,00	7360	4,8	
4	3620	86	2900	1,5	19,93	45,94	1500	8,69	4,23
	3500	82	4390	3,5	18,51	42,53	1470	9,09	
	3240	76	4240	2	18,12	40,73	1020	8,53	
5	2280	54	3460	2,5	19,77	50,03	1340	9,48	6,345
	2220	53	3680	3,5	18,71	39,44	1150	9,07	
	2360	61	2500	3	18,13	42,23	1500	10,08	
6	2360	57	3670	5	16,71	38,93	1420	9,29	5,287
	2720	67	4330	2	13,93	32,78	1410	8,32	
	2640	66	4150	3,5	14,97	39,49	1130	8,36	
7	3460	87	6840	0,5	53,31	129,51	7670	6,39	3,997
	3080	69	5740	0,5	56,95	124,48	1860	8,71	
	3900	95	7000	4	51,93	119,14	1700	8,48	
8	3200	72	6400	0,5	54,41	132,68	1770	7,2	3,997
	3420	80	5570	1	49,82	117,42	3020	6,91	
	3740	93	6680	0,5	52,37	136,07	1690	8,19	
9	4560	116	6620	2	30,91	79,3	5100	6,66	4,23
	3840	102	6740	1,5	37,94	85,21	6730	6,95	
	3660	93	6860	1,5	29,82	80,21	6580	7,73	
10	2300	61	2920	3,5	11,81	24,81	673	7,69	5,287
	2620	61	4120	0,5	15,1	29,73	790	7,78	
	2580	61	3990	1,5	12,63	30,86	1420	8,16	
11	2580	63	4300	1,5	17,02	39,93	1090	8,59	5,287
	2820	74	4710	1	15,86	46,41	1470	8,37	
	2800	65	4170	1	15,26	36,73	986	7,73	
12	3800	92	5530	0,5	19,32	49,11	1850	7,88	5,287
	3980	94	3660	0,5	17,72	40,99	1190	8,12	
	3100	80	5340	1	19,09	42,66	1220	9,28	
13	3980	90	4170	1	44,35	89,22	3290	6,56	5,816

<b>SÍNTESIS DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS</b>									
<b>N° Caso</b>	<b>Propiedad mecánica en tracción</b>				<b>Propiedad mecánica a flexión</b>				<b>Impacto</b>
	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo Elasticidad (MPa)</b>	<b>Elongación (%)</b>	<b>Carga Máxima (N)</b>	<b>Esfuerzo Máximo (MPa)</b>	<b>Módulo Elasticidad (MPa)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Energía de fallo (J)</b>
	3840	93	4230	2	50,34	101,05	5550	7,63	
	3660	84	5530	1,5	47,76	91,01	5060	7,32	
14	3960	87	3150	1,5	44,44	84,98	5240	5,74	4,758
	3920	89	3110	0,5	42,98	85,08	5730	6,02	
	3920	85	2630	2	30,18	46,77	2640	4,87	
15	3680	85	5770	1,5	26,81	59,87	2060	8,43	4,23
	4040	91	5700	1,5	31,61	66,64	1600	11	
	3760	92	5250	1,5	32,65	70,58	2,280	8,82	

Fuente: [Autor]

### 3.2. Análisis de resultados



**Figura 3.1.** Flujoograma de análisis de resultados.

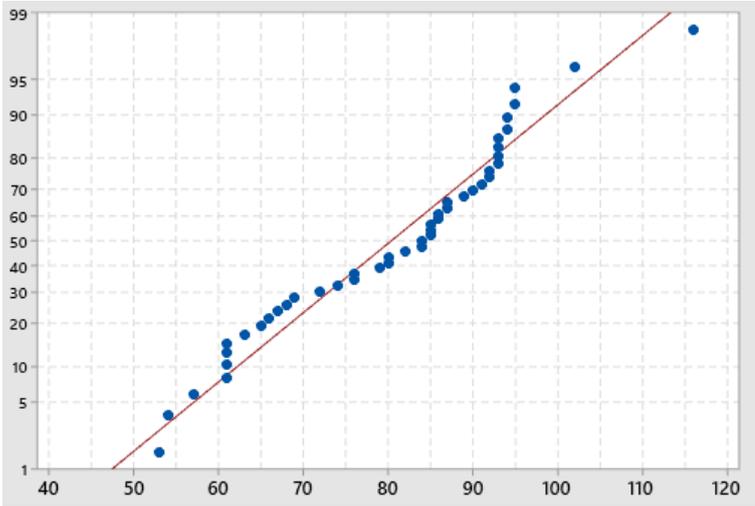
**Fuente:** [Autor]

En base al flujoograma elaborado para el análisis de resultados en las propiedades mecánicas correspondientes al material híbrido constituido durante el respectivo proceso de estudio, se procede con los análisis pertinentes mediante el uso del software Minitab.

### 3.2.1. Comprobación de supuestos en los datos de Tracción Prueba de normalidad en esfuerzo máximo de tracción (Sut)

Es de suma importancia elaborar las pruebas paramétricas que nos permitan verificar si cumple con la normalidad de los datos, en base al nivel de significancia que se toma del 5%, los datos en el esfuerzo a tracción máximo deben cumplir con lo planteado, de no ser así se procederá a elaborar la transformación de datos en donde se cumpla con el supuesto.

Tabla 3.47. Prueba de normalidad - Esfuerzo Máximo (MPa).

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del esfuerzo Máximo poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos del esfuerzo Máximo no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
			
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Anderson – Darling =</b> 0.864	<b>Valor – p</b>	0.024
<b>Dictamen</b>	Se rechaza la hipótesis nula del supuesto		
<b>Conclusión</b>	Acorde al valor de significancia del 0.05, el valor de p es menor, por ende, se rechaza la hipótesis nula.		
<b>Observación</b>	Se debe elaborar una transformación de datos.		

Fuente: [Autor]

### Igualdad de varianza en esfuerzo de tracción

La prueba de igualdad de varianza en los datos de tracción se elabora con el 95% de confianza y conforme a Levene, por lo cual esta prueba debe tener un valor mayor al nivel de significancia que es de 0.05, para que el supuesto se cumpla en la respectiva propiedad mecánica.

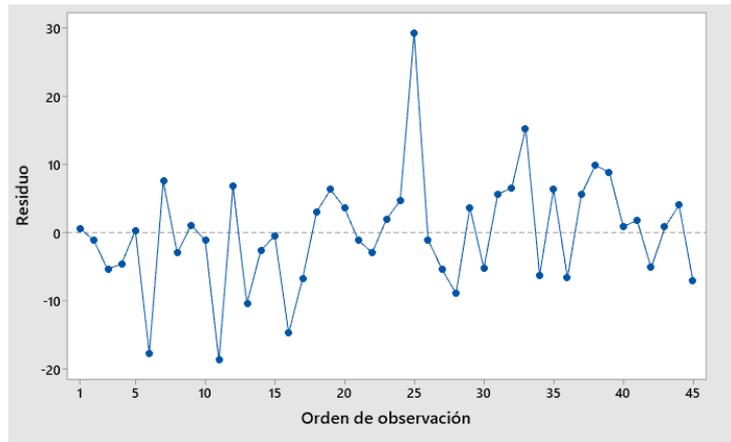
Tabla 3. 48 Prueba igualdad de varianzas del Esfuerzo Máximo – Tracción.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del esfuerzo Máximo poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos del esfuerzo Máximo no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 1,65</b>	<b>Valor – p</b>	0.135
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	Acorde al valor de significancia es 0.05, se constata que el los datos en el tratamiento del esfuerzo máximo tiene igualdad de varianza por ende el supuesto se cumple		
<b>Observación</b>	Para corroborar con el supuesto se debe verificar con los datos transformados en el análisis de las pruebas de normalidad.		

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos en los datos del esfuerzo máximo de tracción

En la independencia de residuos de los datos son analizados sin transformación del esfuerzo máximo de tracción por medio de observación discreta en la figura 3.2, no posee uniformidad lineal en cada muestra, lo que quiere decir que los datos no siguen un patrón concreto en el orden de observación, por ende, el supuesto cumple con el respectivo análisis.

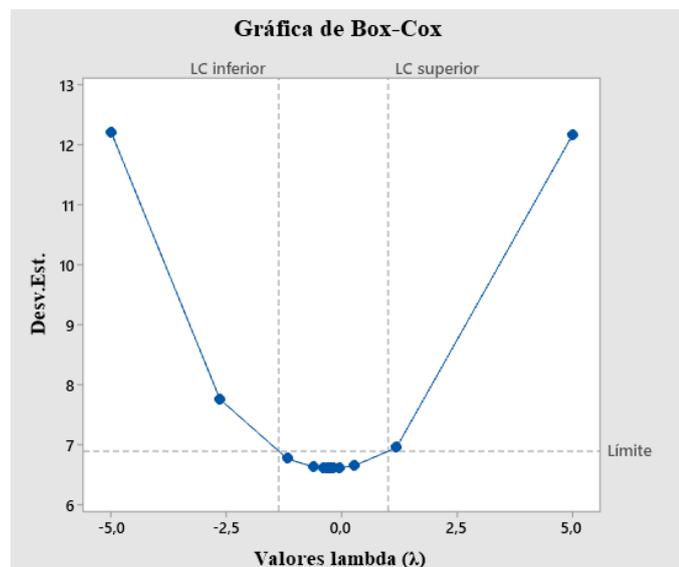


**Figura 3.2.** Prueba Independencia de residuos del Esfuerzo Máximo – Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

### Transformación de datos del esfuerzo de tracción Máximo

Conforme a la verificación del cumplimiento de los supuestos paramétricos de normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos en la respectiva propiedad mecánica, al no cumplir con el supuesto de la prueba de normalidad se procede a elaborar la transformación de datos por medio de los valores de Box – Cox, de tal manera los valores que se consideran como óptimos se presenta por los Límites LC inferior y LC superior como se presenta en la Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Valor optimo lambda ( $\lambda$ ) – Esfuerzo Máximo en Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

Al realizar la transformación nos permite verificar que el supuesto de normalidad se cumpla, por ende, el valor óptimo hallado por la transformación tiene el valor de lambda igual a 2, seguido de ello se elaboran los análisis en los supuestos de igualdad de varianza e independencia de residuos.

Tabla 3.49. Transformación de datos Box Cox - Esfuerzo Máximo.

Numero de datos (N) = 45					Valor de transformación de Box – Cox ( $\lambda$ ) = 2				
Significancia = 5%					Función aplicada: $y = (Esf. Máximo)^2$				
Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)
1	7225	4	7396	7	7569	10	3721	13	8100
1	7056	4	6724	7	4761	10	3721	13	8649
1	5776	4	5776	7	4624	10	3721	13	7056
2	8836	5	2916	8	5184	11	3969	14	7569
2	7396	5	2809	8	6400	11	5476	14	7921
2	8649	5	3721	8	8649	11	4225	14	7225
3	6241	6	3249	9	13456	12	8464	15	7225
3	9025	6	4489	9	10404	12	8836	15	8281
3	9025	6	4356	9	8649	12	6400	15	8464

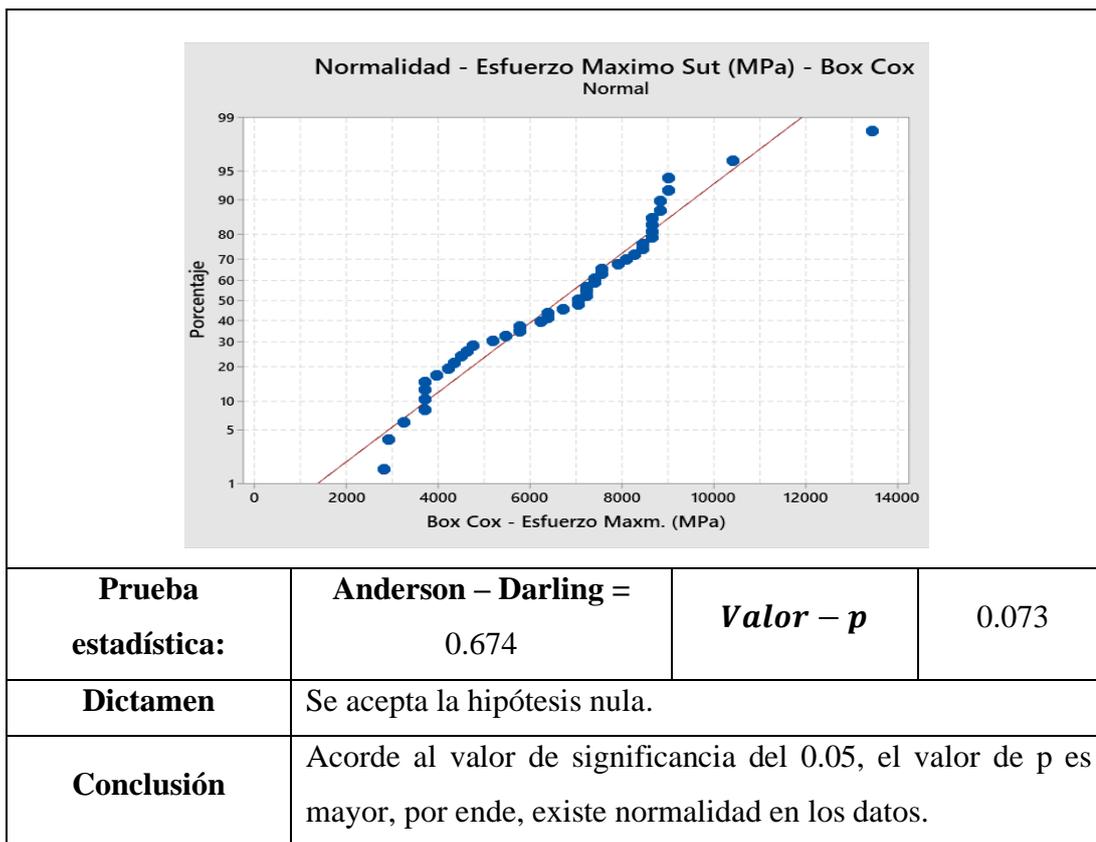
Fuente: [Autor]

### Prueba de normalidad en esfuerzo máximo de tracción datos transformados

Por medio de la prueba de normalidad se corrobora con el supuesto, de tal manera que se comprueba el cumplimiento al nivel de significancia de 0.05.

Tabla 3.50. Prueba de normalidad en datos transformados por Box Cox - Esfuerzo Máximo.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del esfuerzo Máximo poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos del esfuerzo Máximo no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$



Fuente: [Autor]

Por medio de la transformación de datos por Box Cox el supuesto cumple el requerimiento de la prueba de normalidad, dando como valor – p de 0,073, lo que nos indica que es mayor al valor de significancia que es de 5%, en la 3.52 se verifica el cumplimiento de la respectiva prueba.

### **Igualdad de varianza en esfuerzo máximo de tracción datos transformados**

De acuerdo a los datos obtenidos con la transformación de Box Cox, se procede a verificar que el supuesto cumpla con la respectiva prueba, de tal forma la prueba que surge en el análisis correspondiente es de Levene, se comprobara que el valor de p, sea mayor que el valor de significancia del 5%.

Tabla 3.51. Igualdad de varianza en datos transformados por Box Cox - Esfuerzo Máximo.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del esfuerzo Máximo poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos del esfuerzo Máximo no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$

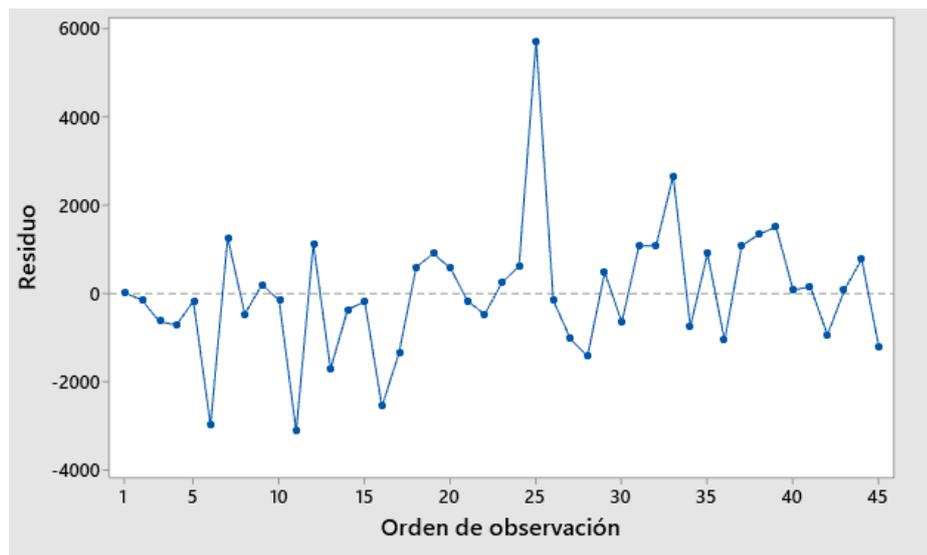
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 1,67</b>	<b>Valor – p</b>	0.129
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	Acorde al valor de p es de 0,129, se constata que los datos transformados del esfuerzo máximo tienen igualdad de varianza por ende el supuesto se cumple.		

Fuente: [Autor]

Por medio de la transformación de datos aplicados para el análisis del supuesto de igualdad de varianza se denota que el valor – p es 0.129, tal valor es mayor que el de significancia de 0.05, entonces se corrobora que los valores transformados del esfuerzo máximo a la tracción tienen igualdad de varianza.

### **Independencia de residuos esfuerzo máximo de tracción**

Por medio de observación a la figura 3.4, de independencia de residuos de los datos obtenidos por transformación de Box Cox, estos no presentan un patrón que defina un orden de tendencia, por lo que se concluye que el supuesto en independencia de residuos cumple de manera relativa al análisis paramétrico.



**Figura 3.4.** Prueba Independencia de residuos con datos transformados - Esfuerzo Máximo

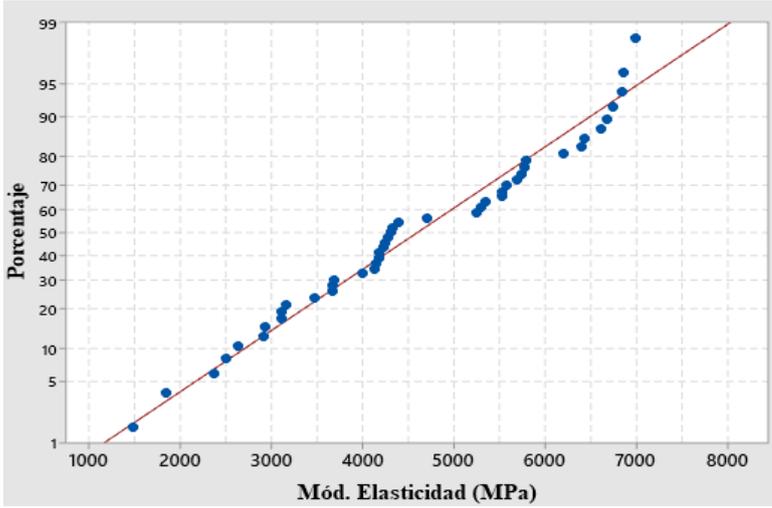
Fuente: Software Minitab

### **Prueba de normalidad en Modulo de Elasticidad en tracción**

Es de suma importancia elaborar las pruebas paramétricas que nos permitan verificar si cumple con la normalidad de los datos, en base al nivel de confiabilidad del 95% de los datos en el módulo de elasticidad en tracción deben cumplir con lo planteado, de

no ser así se procederá a elaborar la transformación de datos en donde se cumpla con el supuesto.

Tabla 3.52. Prueba de normalidad del Módulo de Elasticidad – Tracción.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Módulo de Elasticidad poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos del Módulo de Elasticidad no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
			
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Anderson – Darling =</b> 0.50	<b>Valor – p</b>	0.191
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	Acorde al valor de significancia del 0.05, el valor de p es mayor, por ende, existe normalidad en los datos de Modulo de Elasticidad.		

Fuente: [Autor]

Existe normalidad en los datos de Modulo de elasticidad, con un valor de p igual a 0,191, siendo este mayor al valor de significancia de 0,05, el supuesto se cumple y a su vez la hipótesis nula es aceptada.

### **Igualdad de varianza en Modulo de Elasticidad**

La prueba de igualdad de varianza en los datos del Módulo de Elasticidad se elabora con el 95% de confiabilidad, dentro de este método se verifica por medio de Levene,

por lo cual en esta prueba se verifica si el supuesto cumple con los parámetros de análisis el nivel de significancia es de 0.05.

Tabla 3.53. Prueba igualdad de varianzas del Módulo de Elasticidad – Tracción.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Módulo de Elasticidad en tracción poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos del Módulo de elasticidad en tracción no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 0.39</b>	<b>Valor – p</b>	0.956
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El supuesto en igualdad de varianza tiene un valor de p igual a 0.956, siendo este mayor que el valor de significancia, tal supuesto cumple con el requerimiento de análisis.		

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos en Modulo de Elasticidad de tracción

En la independencia de residuos los datos son analizados con los valores reales del Módulo de Elasticidad en tracción, en la figura 3.5, se presenta el orden de observación de tal modo, no posee uniformidad lineal en cada muestra, lo que quiere decir que los datos no siguen un patrón concreto en el orden de observación, por ende, el supuesto cumple con el respectivo análisis.

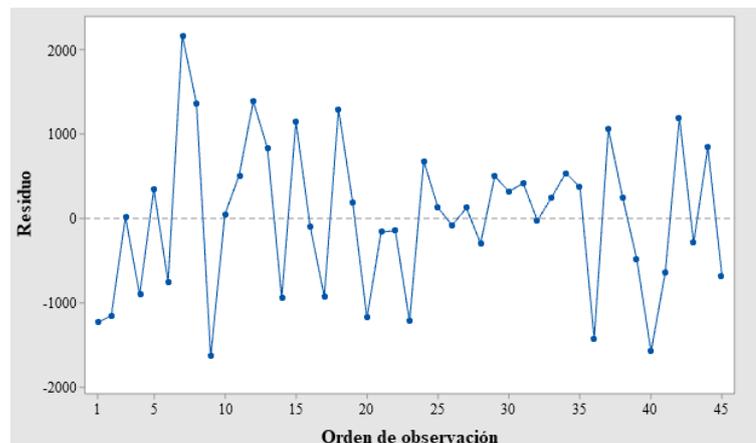


Figura 3.5. Prueba Independencia de residuos – Modulo de Elasticidad (MPa)

Fuente: Software Minitab

### Análisis de supuestos para % de Elongación de tracción

El porcentaje de elongación es una propiedad mecánica fundamental en el respectivo análisis, de tal sentido esta propiedad nos indica el alargamiento del material una vez alcanzado el esfuerzo máximo (Sut.) de ruptura, es decir en términos comunes cuantos milímetros se ha deformado de la longitud inicial, siendo esto primordial para el investigador determinar la mejor combinación de las capas de fibra natural con sus respectivas niveles de orientación ( $-45^{\circ}, 0^{\circ}, -45^{\circ}$ ) y a su vez la temperatura de curado. Dentro de ello para corroborar con las pruebas paramétricas que nos permitan verificar si cumple con la normalidad de los datos, se elabora pertinentemente el análisis de regresión Superficies de respuestas, en la figura 3.6, se denota valores significativos en la cual la gráfica de probabilidad normal presenta los puntos de los datos se asocian a la línea de tendencia permitiendo así tener normalidad en los datos.

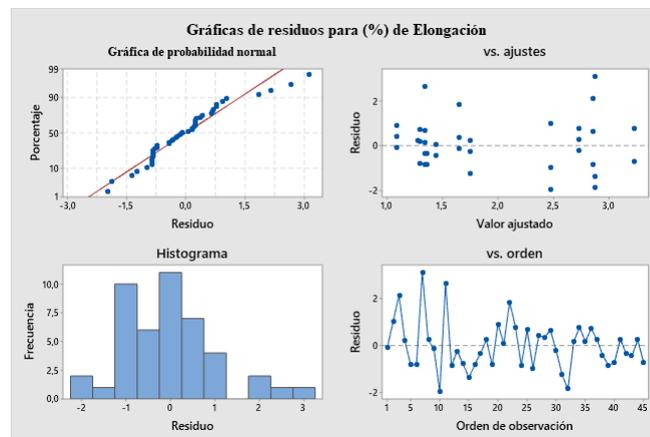


Figura 3.6. Análisis de residuos del porcentaje de elongación.

Fuente: Software Minitab

### Igualdad de varianza en esfuerzo de tracción

La prueba de igualdad de varianza en los datos del Módulo de Elasticidad se elabora con el 95% de confiabilidad, dentro de este método se verifica por medio de Levene, si el supuesto cumple con los parámetros de análisis el nivel de significancia es de 0.05.

Tabla 3.54. Prueba igualdad de varianzas – % de Elongación.

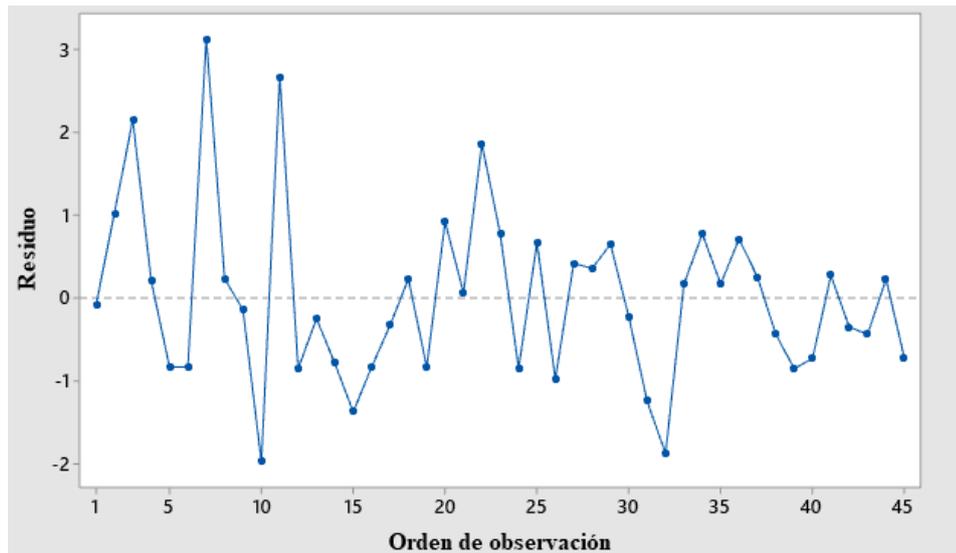
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Módulo de Elasticidad en tracción poseen igualdad de varianza.
	$H_1$ : Los datos del Módulo de elasticidad en tracción no poseen igualdad de varianza.

<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 0.65</b>	<b>Valor – p</b>	0.774
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El supuesto de igualdad de varianza posee un valor de p superior al valor de significancia, el cual se concluye de manera eficiente que el supuesto cumple con la prueba paramétrica.		

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos en los datos de tracción

En la independencia de residuos los datos son analizados con los valores reales del % de elongación en tracción, en la figura 3.7, se presenta el orden de observación de tal modo, no posee uniformidad lineal en cada muestra, lo que quiere decir que los datos no siguen un patrón concreto en el orden de observación, por ende, el supuesto cumple con el respectivo análisis.



**Figura 3.7.** Prueba Independencia de residuos – % de Elongación.

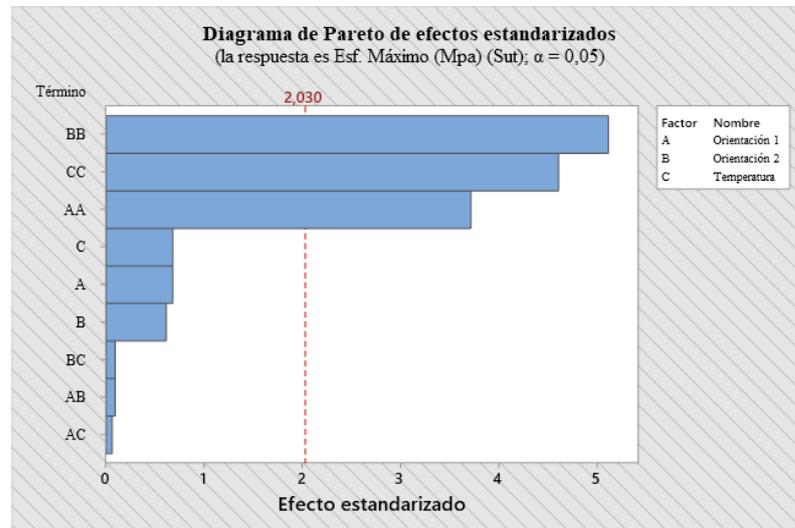
Fuente: Software Minitab

### 3.2.2. Aplicación de diseño de experimentos MSR y análisis en tracción

#### Esfuerzo Máximo de Tracción (Sut)

El análisis es elaborado en base a los datos reales del ensayo mecánico, el método de superficie de respuesta se basa en modelos de términos cuadráticos que se ajustan a los factores del respectivo estudio experimental. Principalmente se elabora el análisis

con el diagrama de Pareto, el cual cumple la funcionalidad de tomar los factores más significativos que influyen en la propiedad mecánica y obviar los factores poco influyentes en el respectivo análisis como lo presenta la figura 3.8.



**Figura 3.8.** Análisis diagrama de Pareto en el esfuerzo Máximo de tracción (Sut).

**Fuente:** Software Minitab

Los factores influyentes en el respectivo análisis son BB correspondiente a la orientación 2, seguido a ello el CC referente a la temperatura de curado y como último factor influyente AA destinada a la orientación dos, este análisis se hace referente con los términos cuadráticos del análisis de la varianza del esfuerzo máximo de tracción.

### Análisis de variancia en Esfuerzo Máximo en Tracción

Conforme al cumplimiento de los supuestos paramétricos de manera simultánea en la propiedad mecánica – Esf. Max. Tracción, se procede de manera discreta al análisis de varianza, en la tabla 3.55, se presenta el detalle de cada factor de análisis, en donde se puede concluir de forma general para la respectiva propiedad los valores obtenidos poseen diferencias significativas, el modelo global contrasta el valor de 0.000, respectivamente lo que es evidente la aplicación del MSR.

Tabla 3.55. Análisis de Varianza en el Esfuerzo Máximo en Tracción.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajuste	MC Ajuste	Valor F	Valor p
<b>Modelo</b>	9	5772,06	641,34	7,37	0,000
<b>Orientación 1</b>	1	40,04	40,04	0,46	0,502
<b>Orientación 2</b>	1	32,67	32,67	0,38	0,544
<b>Temperatura</b>	1	40,04	40,04	0,46	0,502

Análisis de Varianza					
Orientación 1*Orientación 1	1	1201,92	1201,92	13,81	0,001
Orientación 2*Orientación 2	1	2275,69	2275,69	26,15	0,000
Temperatura*Temperatura	1	1848,08	1848,08	21,23	0,000
Orientación 1*Orientación 2	1	0,75	0,75	0,01	0,927
Orientación 1*Temperatura	1	0,33	0,33	0	0,951
Orientación 2*Temperatura	1	0,75	0,75	0,01	0,927
Error	35	3046,25	87,04		
Falta de ajuste	3	281,58	93,86	1,09	0,369
Error puro	32	2764,67	86,4		
Total	44	8818,31			

Fuente: [Autor]

### Coefficiente de determinación

El modelo presenta un ajuste del 58,74%, es decir los datos son respectivamente deseables, de esta forma el modelo expresa el análisis con un porcentaje de confianza que permite optimizar de la propiedad mecánica.

Para corroborar con los datos analizados en la varianza y el coeficiente de determinación se presentan los efectos principales de las medias ajustadas, en la figura 3.9, los tres factores son representativamente influyentes en la propiedad mecánica del esfuerzo máximo de tracción por lo que se entiende mientras más prolongada sean las pendientes de las medias ajustadas mayor será la influencia del factor en la propiedad, es decir que los efectos principales son relativamente significativos.

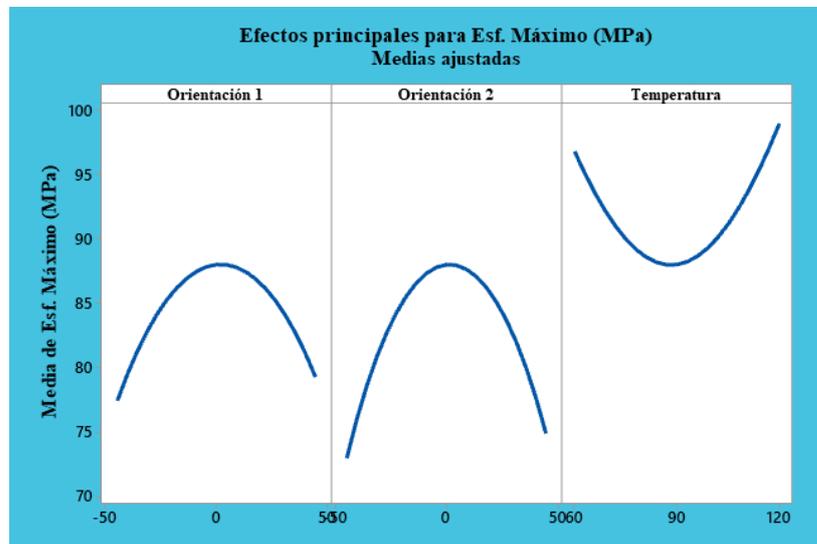


Figura 3.9. Efectos Principales del Esfuerzo Máximo - Tracción.

Fuente: Software Minitab

En la figura 3.10, se presenta las interacciones del esfuerzo máximo de tracción, se puede observar la interacción de mayor incidencia se presenta en la Temperatura – Orientación 2 y Temperatura – Orientación 1 donde cada factor tiende a ser significativo dentro del análisis por los términos cuadráticos analizados de la respectiva propiedad.

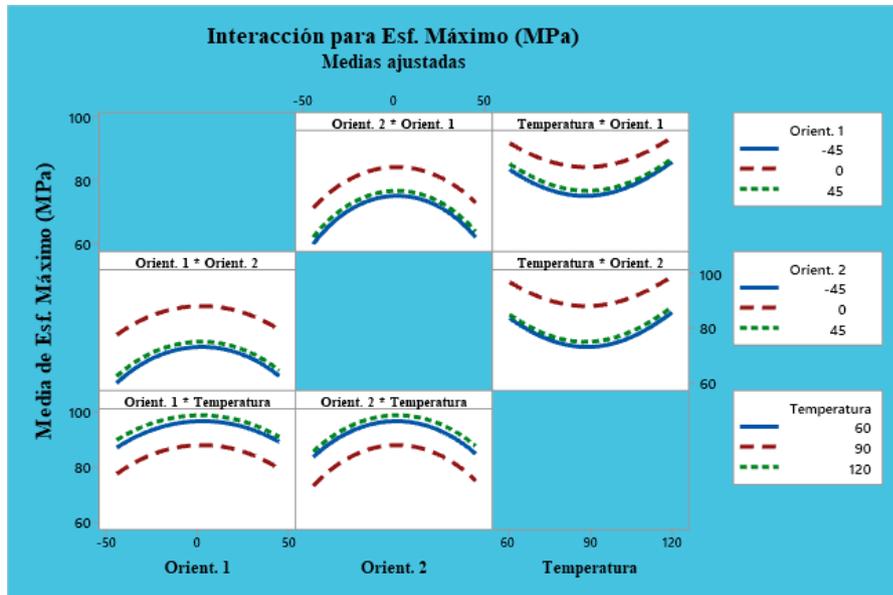
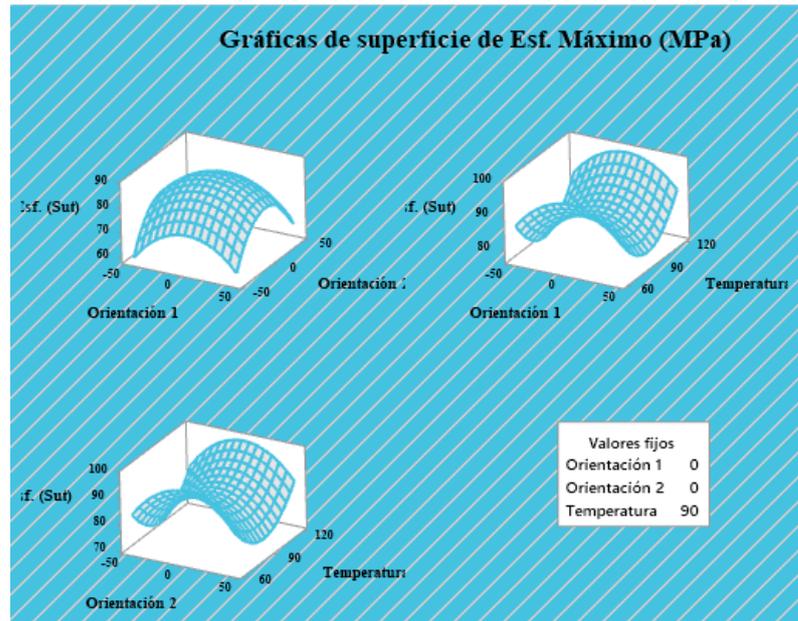


Figura 3.10. Interacciones de Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura.

Fuente: Software Minitab

Por medio de la ecuación de regresión obtenida en el análisis de varianza, se obtiene la gráfica de superficies, característicamente la figura 3.11, examina la relación de una variable de respuesta con respecto a los dos factores de entrada, de tal forma se da en el Esf. Máx. Tracción.



**Figura 3.11.** Grafica de superficie de la propiedad mecánica - Esf. Máx. Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

### **Optimización de propiedad Mecánica – Esfuerzo máximo en Tracción**

El análisis que representa el valor optimo se basa en obtener la mejor combinación en base a las variables de estudio y de acuerdo a los datos del respectivo ensayo se optimicen conjuntamente, por lo cual la optimización se da en las variables de entrada las cuales son: Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura de curado, en tal sentido el valor optimo se presenta en la tabla 3.56, con un ajuste de respuesta permitiendo de esa manera corroborar el respectivo análisis y optimización de la propiedad mecánica.

Tabla 3.56. Optimización de respuesta en el Esf. máx. Tracción

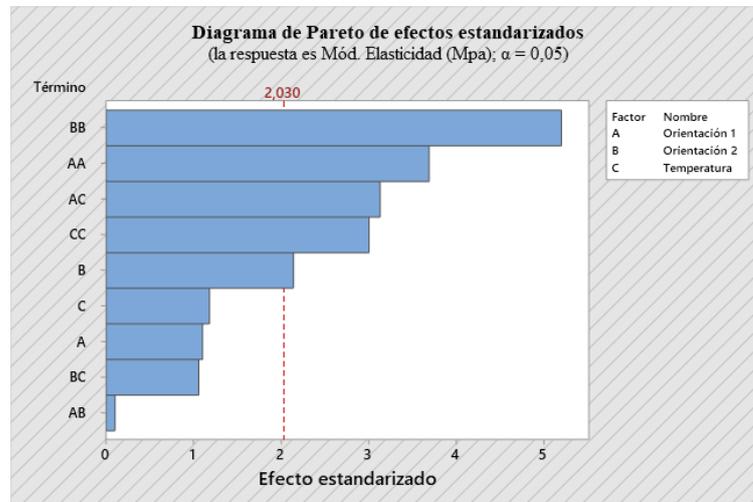
<b>Variable de entrada</b>	<b>Valor de Configuración</b>
Orientación 1	1,36364
Orientación 2	1,36364
Temperatura	120
<b>Propiedad</b>	<b>Valor Optimizado</b>
Esf. Máximo (MPa)	98,9641

Fuente: [Autor]

### **Módulo de Elasticidad de Tracción (E)**

El análisis se ejecuta en base a los datos reales del ensayo mecánico, el método de superficie de respuesta se basa en modelos de términos cuadráticos que se ajustan a los factores del respectivo estudio experimental. Principalmente se elabora el análisis

con el diagrama de Pareto, el cual cumple la funcionalidad de tomar los factores más significativos que influyen en la propiedad mecánica y obviar los factores poco influyentes en el respectivo análisis como lo presenta la figura 3.12.



**Figura 3.12.** Análisis diagrama de Pareto en el esfuerzo Máximo de tracción (Sut).

**Fuente:** Software Minitab

Los factores influyentes combinados en el respectivo análisis son BB correspondiente a la orientación 2, seguido a ello el CC referente a la temperatura de curado, el factor combinado AC Orientación 1- Temperatura y como último factor influyente AA destinada a la orientación 1, este análisis se hace referente con los términos cuadráticos del análisis de la varianza del módulo de elasticidad de tracción.

### **Análisis de variancia del Módulo de Elasticidad en Tracción**

Conforme al cumplimiento de los supuestos se procede de manera discreta al análisis de variancia, en la tabla 3.57, se presenta el detalle de cada factor de análisis, en donde se puede concluir de forma general los valores obtenidos poseen diferencias significativas, el modelo global contrasta el valor de 0.000, respectivamente lo que es evidente la aplicación del MSR y la respectiva optimización de la propiedad.

Tabla 3.57. Análisis de Varianza en el Módulo de Elasticidad - Tracción.

<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajuste</b>	<b>MC Ajuste</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	9	61252466	6805830	6,86	0,000
<b>Orientación 1</b>	1	1206017	1206017	1,21	0,278
<b>Orientación 2</b>	1	4550104	4550104	4,58	0,039
<b>Temperatura</b>	1	1387204	1387204	1,40	0,245

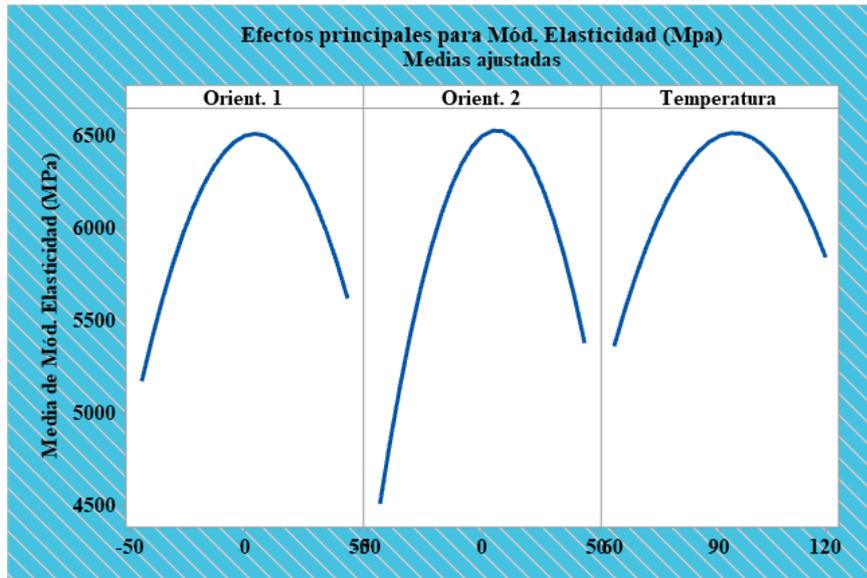
<b>Orientación 1*Orientación 1</b>	1	13508205	13508205	13,61	0,001
<b>Orientación 2*Orientación 2</b>	1	26846513	26846513	27,04	0,000
<b>Temperatura*Temperatura</b>	1	8941872	8941872	9,01	0,005
<b>Orientación 1*Orientación 2</b>	1	10800	10800	0,01	0,918
<b>Orientación 1*Temperatura</b>	1	9720000	9720000	9,79	0,004
<b>Orientación 2*Temperatura</b>	1	1110208	1110208	1,12	0,298
<b>Error</b>	35	34743414	992669		
<b>Falta de ajuste</b>	3	22659992	7553331	20,00	0,000
<b>Error puro</b>	32	12083422	377607		
<b>Total</b>	44	95995880			

Fuente: [Autor]

### **Coefficiente de determinación**

El modelo presenta un ajuste del 63,81%, es decir los datos son respectivamente deseables, de esta forma el modelo expresa el análisis con un porcentaje de confianza que permite optimizar de la propiedad mecánica.

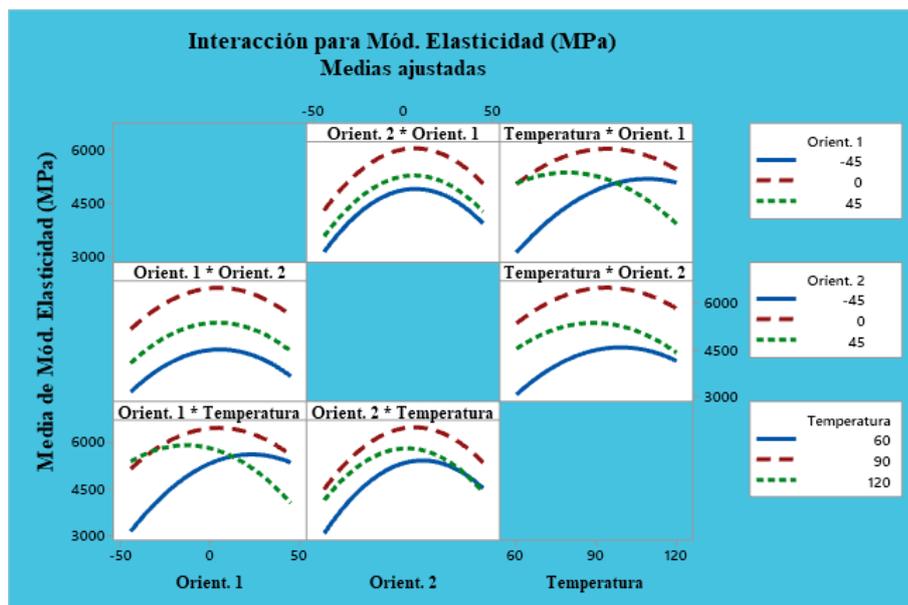
Para corroborar con los datos analizados en la varianza y el coeficiente de determinación se presentan los efectos principales de las medias ajustadas, en la figura 3.13, los tres factores son representativamente influyentes en la propiedad mecánica del Módulo de Elasticidad por lo que se entiende mientras más prolongada sea las pendientes de las medias ajustadas mayor será la influencia del factor en la propiedad es decir que los efectos principales son relativamente significativos.



**Figura 3.13.** Efectos Principales del Módulo de Elasticidad - Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

En la figura 3.14, se presenta las interacciones del Módulo de Elasticidad, se puede observar la interacción de mayor incidencia se presenta en la Temperatura – Orientación 1 y Orientación 1 – Temperatura, el factor como es la Orientación 2 tiene incidencia con efecto al poseer una prolongada curva en su pendiente, donde cada factor tiende a ser significativo dentro del análisis por los términos cuadráticos analizados de la respectiva propiedad.

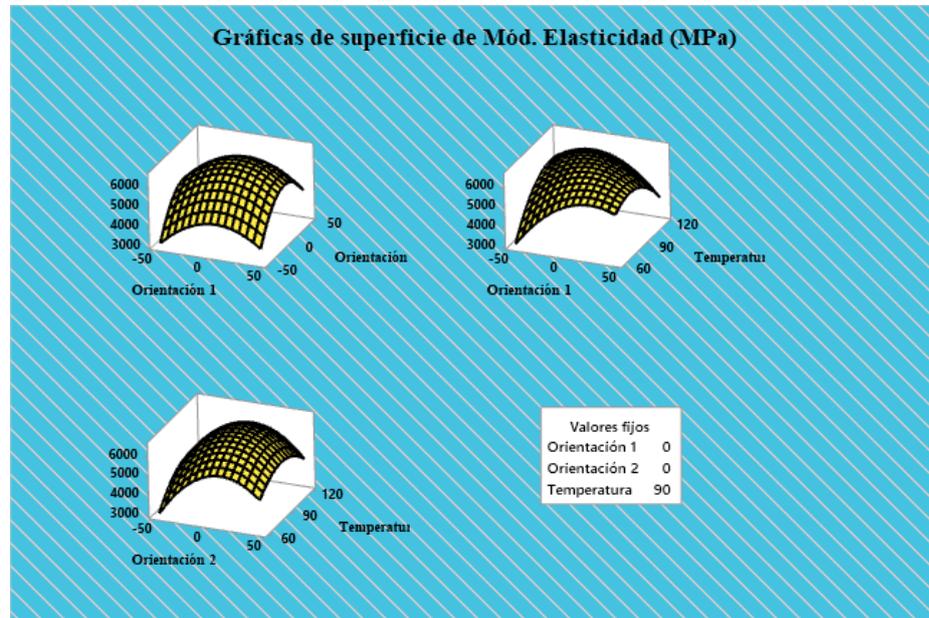


**Figura 3.14.** Interacciones de Orient.1, Orient.2 y Temperatura del Módulo de Elasticidad – Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

Por medio de la ecuación de regresión obtenida en el análisis de varianza, se obtiene la gráfica de superficies, característicamente la figura 3.15, examina la relación de una

variable de respuesta con respecto a los factores de entrada, de tal forma se da en el Módulo de Elasticidad en Tracción permite visualizar de manera directa el comportamiento que se efectúa con respecto a la propiedad mecánica y los factores de análisis correspondientemente.



**Figura 3.15.** Grafica de superficie de la propiedad mecánica – Modulo de Elasticidad en Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

### Optimización de propiedad Mecánica – Modulo de Elasticidad

El análisis que representa el valor optimo se basa en obtener la mejor combinación en base a las variables de estudio y de acuerdo a los datos del respectivo ensayo se optimicen conjuntamente, por lo cual la optimización se da en las variables de entrada las cuales son: Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura de curado, en tal sentido el valor optimo se presenta en la tabla 3.58, permitiendo de esa manera corroborar el respectivo análisis y optimización de la propiedad.

Tabla 3.58. Optimización de respuesta del Módulo de Elasticidad Tracción.

Variable de entrada	Valor de Configuración
Orientación 1	3,18182
Orientación 2	5,90909
Temperatura	92,1212
Propiedad	Valor Optimizado
Mód. Elasticidad (MPa)	6540

Fuente: [Autor]

### Porcentaje de Elongación (%) de Tracción

El análisis se ejecuta en base a los datos obtenidos del ensayo mecánico, el método de superficie de respuesta se basa en modelos de términos cuadráticos que se ajustan a los factores del respectivo estudio experimental. Principalmente se elabora el análisis con el diagrama de Pareto, el cual cumple la funcionalidad de tomar los factores más significativos que influyen en la propiedad mecánica y obviar los factores poco influyentes en el respectivo análisis como lo presenta la figura 3.16, dentro de este análisis se observa de manera directa que el factor de mayor influencia en la temperatura, de acuerdo al diagrama obtenido.

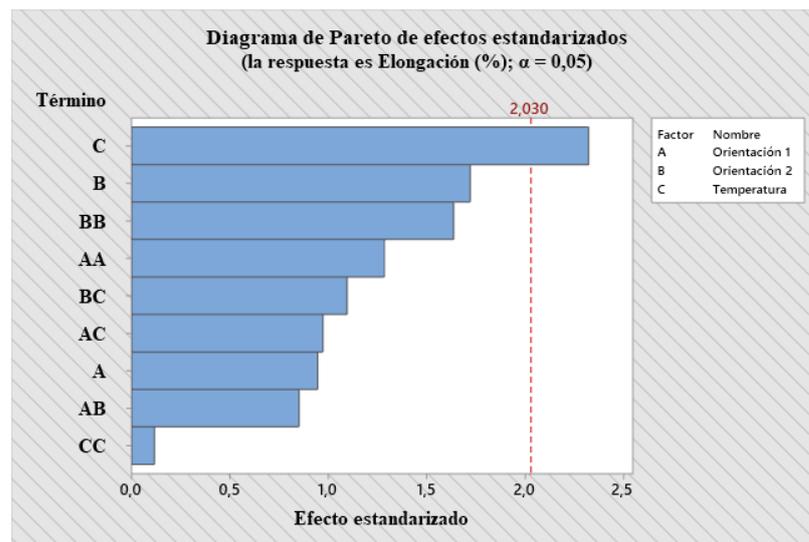


Figura 3.16. Análisis diagrama de Pareto en el esfuerzo Máximo de tracción (Sut).

Fuente: Software Minitab

### Análisis de variancia del porcentaje de Elongación en Tracción

Conforme al cumplimiento de los supuestos se procede de manera discreta al análisis de variancia del porcentaje de Elongación, en la tabla 3.59, se presenta el detalle de cada factor de análisis, en donde se puede concluir de forma general los valores obtenidos poseen diferencias significativas, el modelo global contrasta el valor de 0.000 y 0.05, respectivamente lo que es evidente la optimización de la propiedad mecánica.

Tabla 3.59. Análisis de Varianza del Porcentaje de Elongación (%) en Tracción.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajuste	MC Ajuste	Valor F	Valor p
Modelo	9	22,8875	2,54306	1,800	0,000
Orientación 1	1	1,2604	1,26042	0,890	0,942

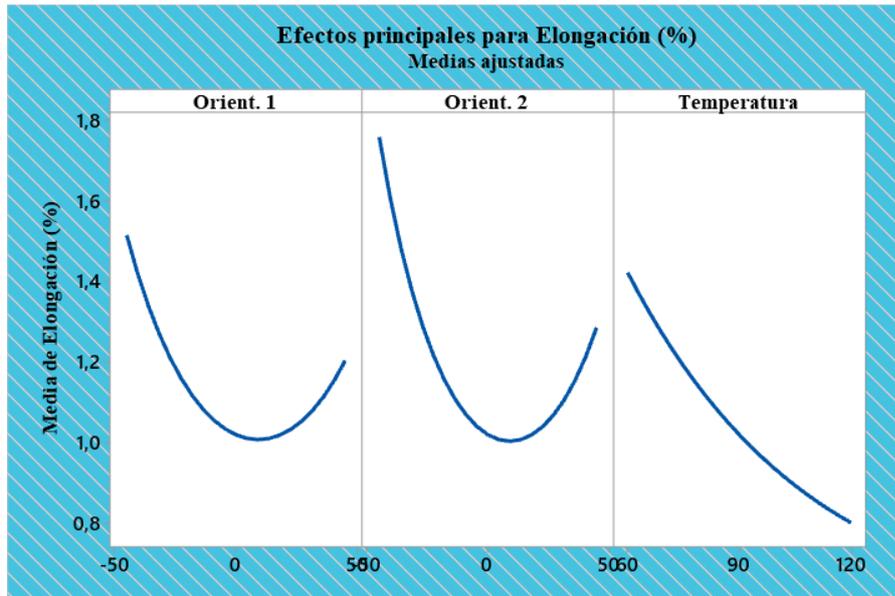
<b>Orientación 2</b>	1	4,1667	4,16667	2,960	0,978
<b>Temperatura</b>	1	7,5938	7,59375	5,390	0,392
<b>Orientación 1*Orientación 1</b>	1	2,3269	2,32692	1,650	0,003
<b>Orientación 2*Orientación 2</b>	1	3,7692	3,76923	2,680	0,000
<b>Temperatura*Temperatura</b>	1	0,0192	0,01923	0,010	0,659
<b>Orientación 1*Orientación 2</b>	1	1,0208	1,02083	0,720	0,403
<b>Orientación 1*Temperatura</b>	1	1,3333	1,33333	0,950	0,070
<b>Orientación 2*Temperatura</b>	1	1,6875	1,6875	1,200	0,645
<b>Error</b>	35	49,3125	1,40893		
<b>Falta de ajuste</b>	3	7,1458	2,38194	1,810	0,090
<b>Error puro</b>	32	42,1667	1,31771		
<b>Total</b>	44	72,2			

Fuente: [Autor]

### **Coefficiente de determinación**

El modelo presenta un ajuste del 45,84%, es decir los datos son respectivamente deseables, lo cual permite optimizar la propiedad mecánica

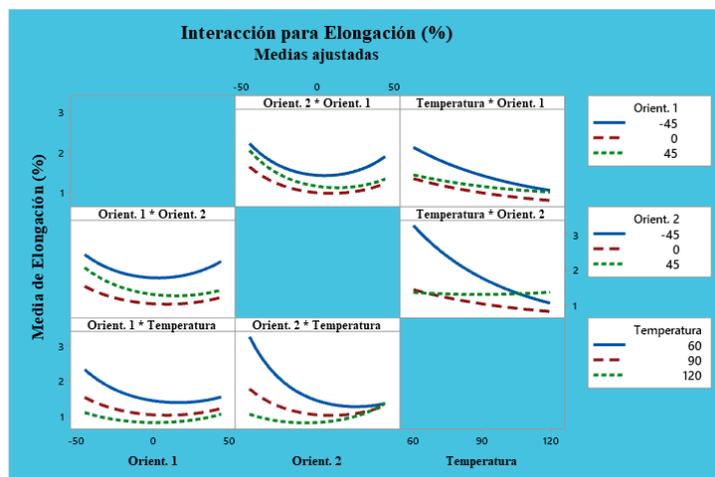
Para que los datos analizados sean avalados en la varianza y el coeficiente de determinación obtenidos por los términos cuadráticos completos, se presentan los efectos principales de las medias ajustadas, en la figura 3.17, el factor 1 que corresponde a la Orientación 1 lo cual presente una línea prolongada en su pendiente teniendo un efecto importante e influyente del factor en el análisis, el factor 2 correspondiente a la Orientación 2 presenta la línea de más prolongación, es decir el factor influye discretamente en el análisis, por último se presenta el factor 3 que nos indica la Temperatura, posee una pendiente de menor prolongación sin embargo es un factor que tiene gran importancia en el respectivo análisis. los tres factores son representativamente influyentes en la propiedad mecánica del porcentaje de Elongación es decir que los efectos principales son relativamente significativos.



**Figura 3.17.** Efectos Principales del % de Elongación - Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

En la figura 3.18, se presenta las interacciones del Porcentaje de Elongación, se puede observar la interacción de mayor incidencia se presenta en la Temperatura – Orientación 2, correspondiente a ello en las líneas que mayor se entrecruzan son de 120 °C y 60 °C, seguido a ello la interacción entre la Orientación 2 – Temperatura, se observa directamente que mayor interacción es entre 0 ° y - 45° corroborando de esa manera la influencia entre la temperatura de curado y la orientación 2 de la fibra natural en las medias ajustadas del análisis.

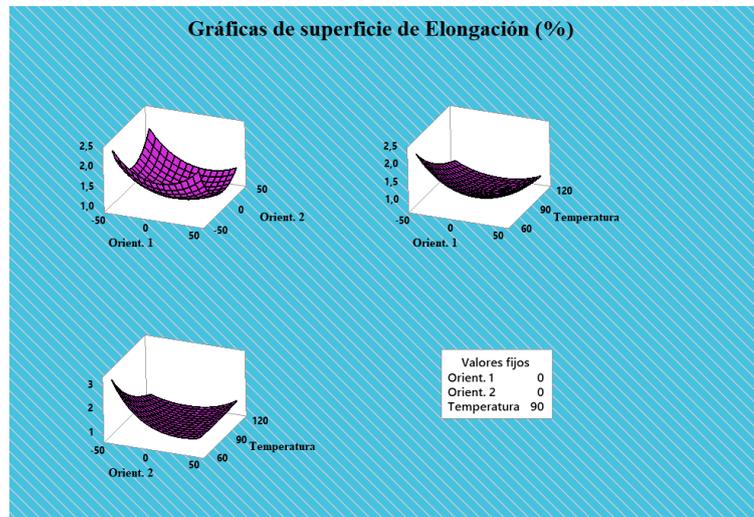


**Figura 3.18.** Interacción del % de Elongación - Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

Por medio de la ecuación de regresión obtenida en el análisis de varianza, se obtiene la gráfica de superficies, característicamente la figura 3.19, examina la relación de una variable de respuesta con respecto a los factores de entrada, de tal forma se da en el

porcentaje de elongación en Tracción permite visualizar de manera directa el comportamiento que se efectúa con respecto a la propiedad mecánica y los factores de análisis correspondientemente.



**Figura 3.19.** Grafica de superficie de la propiedad mecánica - % de Elongación en Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

### **Optimización de propiedad Mecánica – Porcentaje de Elongación**

El análisis que representa el valor optimo se basa en obtener la mejor combinación en base a las variables de estudio y de acuerdo a los datos del respectivo ensayo se optimicen conjuntamente, por lo cual la optimización se da en las variables de entrada las cuales son: Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura de curado, en tal sentido el valor optimo se presenta en la tabla 3.60, permitiendo de esa manera corroborar el respectivo análisis y optimización de la propiedad.

Tabla 3.60. Optimización de respuesta del % de Elongación en Tracción.

<b>Variable de entrada</b>	<b>Valor de Configuración</b>
Orientación 1	0,4545
Orientación 2	-7,7272
Temperatura	120
<b>Propiedad</b>	<b>Valor Optimizado</b>
Elongación (%)	0,7909

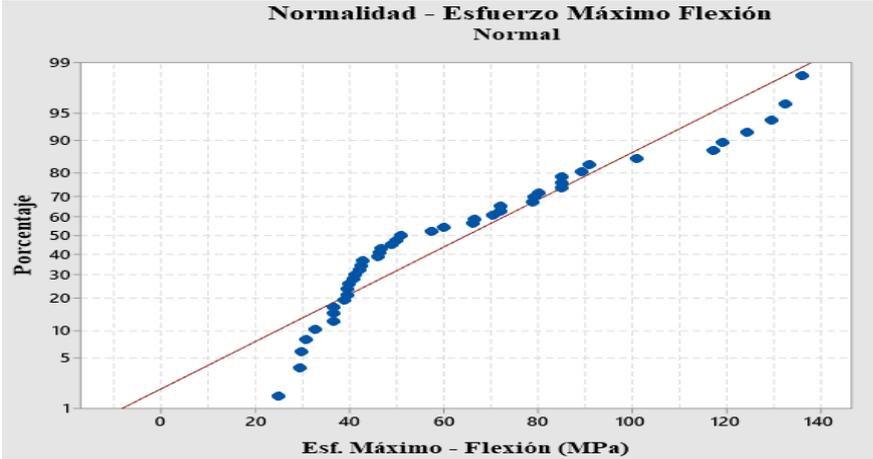
Fuente: [Autor]

### **3.2.3. Comprobación de supuestos en los datos de Flexión Prueba de normalidad para Esfuerzo Máximo de Flexión**

Para corroborar con las pruebas paramétricas que nos permitan verificar si cumple con la normalidad de los datos, en base al nivel de confiabilidad del 95% de los datos en

el Esfuerzo Máximo de Flexión deben cumplir con lo planteado, de no ser así se procederá a elaborar la transformación de datos en donde se cumpla con el supuesto.

Tabla 3.61. Prueba de normalidad del Esfuerzo Máximo - Flexión.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Esfuerzo máximo poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos del Esfuerzo máximo no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
			
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Anderson – Darling =</b> 1.712	<b>Valor – p</b>	0.005
<b>Dictamen</b>	Se rechaza la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	Acorde al valor de significancia del 0.05, el valor de p es menor al valor de significancia, de tal forma no cumple con la normalidad de datos en el respectivo análisis.		
<b>Observación</b>	Se debe elaborar un tratamiento de datos.		

Fuente: [Autor]

### Igualdad de varianza en esfuerzo máximo de flexión

La prueba de igualdad de varianza en los datos del esfuerzo máximo en flexión se elabora con el 95% de confiabilidad, dentro de este método se verifica por medio de Levene, si el supuesto cumple con los parámetros de análisis el nivel de significancia es de 0.05.

Tabla 3.62. Prueba igualdad de varianzas del Esfuerzo Máximo – Flexión.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Esfuerzo máximo en flexión poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos del Esfuerzo máximo en flexión no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 1.40</b>	<b>Valor – p</b>	0.217
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El supuesto de igualdad de varianza posee un valor de p mayor al valor de significancia, por ende, cumple con el requerimiento.		

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos del esfuerzo máximo de flexión (MPa)

En la independencia de residuos los datos son analizados con los valores reales del esfuerzo máximo de flexión, en la figura 3.20, se presenta el orden de observación el cual no sigue un patrón lineal cada muestra, lo que se concluye que el supuesto cumple con el respectivo análisis del supuesto.

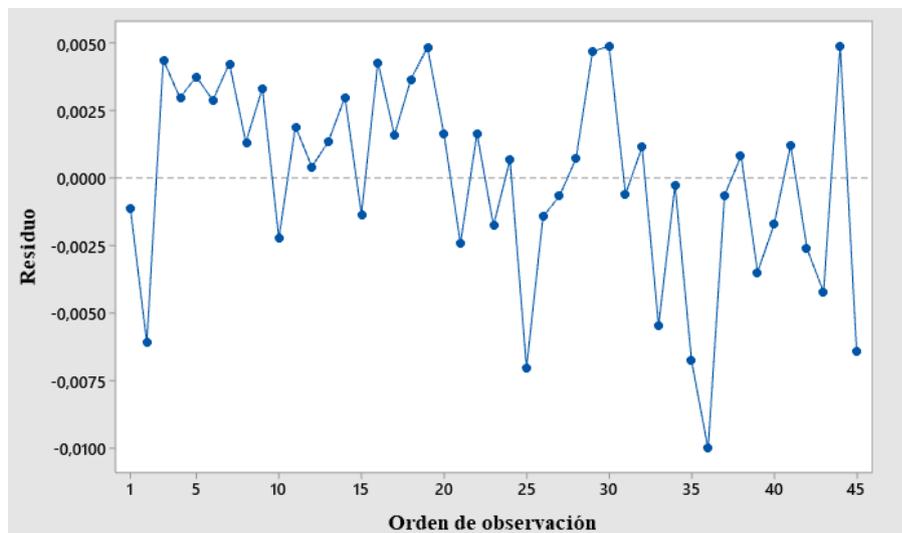


Figura 3.20. Prueba Independencia de residuos del Esfuerzo Máximo - Flexión.

Fuente: Software Minitab

### Transformación de datos Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa).

Una vez elaborado la comprobación de supuestos de normalidad, igualdad de varianza e independencia de residuos mediante el programa estadístico Minitab, se observa que el supuesto en normalidad no cumple con el requerimiento para ser aceptado de tal manera se procede a elaborar el tratamiento de datos (Transformación de datos), por lo que se utiliza el método de Box Cox. Permitiendo obtener el valor optimo mediante la aplicación del modelo de regresión lineal logrando de esa forma estabilizar los datos proporcionando de esa manera las desviaciones al ajuste de normalidad.

Tabla 3.63. Transformación de datos por Box Cox del Esfuerzo Máximo - Flexión.

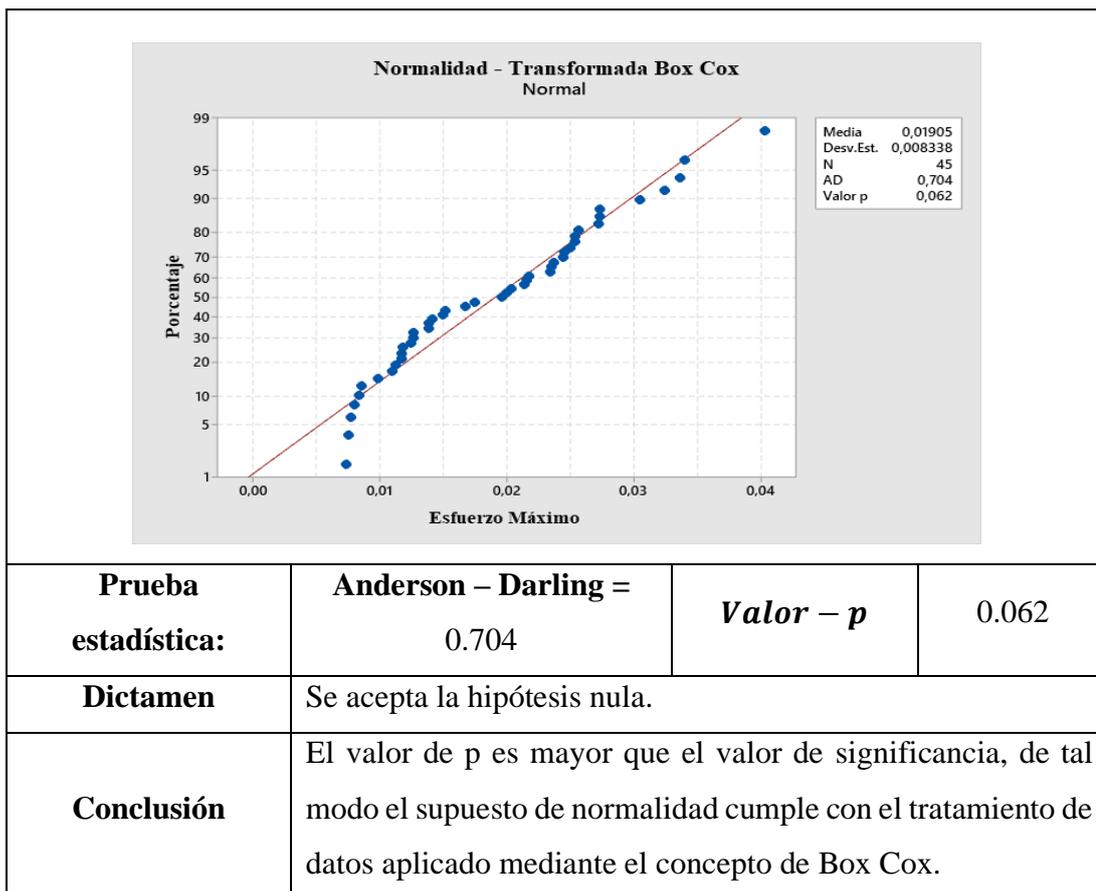
Numero de datos (N) = 45					Valor de transformación de Box – Cox ( $\lambda$ ) = -1				
Significancia = 5%					Función aplicada: $y = \frac{1}{Esf.Max. Flexión}$				
Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)
1	0,0274	4	0,0218	7	0,0077	10	0,0403	13	0,0112
1	0,0273	4	0,0235	7	0,0080	10	0,0336	13	0,0099
1	0,0340	4	0,0246	7	0,0084	10	0,0324	13	0,0110
2	0,0151	5	0,0200	8	0,0075	11	0,0250	14	0,0118
2	0,0196	5	0,0254	8	0,0085	11	0,0215	14	0,0118
2	0,0175	5	0,0237	8	0,0073	11	0,0272	14	0,0214
3	0,0127	6	0,0257	9	0,0126	12	0,0204	15	0,0167
3	0,0139	6	0,0305	9	0,0117	12	0,0244	15	0,0150
3	0,0139	6	0,0253	9	0,0125	12	0,0234	15	0,0142

Fuente: [Autor]

### Prueba de normalidad Esf. Max. Flexión datos transformados

Tabla 3.64. Prueba de normalidad en datos transformados por Box Cox - Esfuerzo Máximo de Flexión.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del esfuerzo máximo poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos del esfuerzo máximo no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$



Fuente: [Autor]

Por medio de la transformación de datos por Box Cox el supuesto cumple el requerimiento de la prueba de normalidad, dando como valor – p de 0.062, lo que nos indica que es mayor al valor de significancia que es de 0.05, en la tabla 3.64, se verifica el cumplimiento de la respectiva prueba.

### **Igualdad de varianza en Esf. Máx. Flexión datos transformados**

Con los datos transformados en la propiedad de Esf. Máx. Flexión, se verifica el cumplimiento del supuesto de igualdad de varianza. En la tabla 3.65, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 3.65. Igualdad de varianza en datos transformados por Box Cox - Esfuerzo Máximo de Flexión.

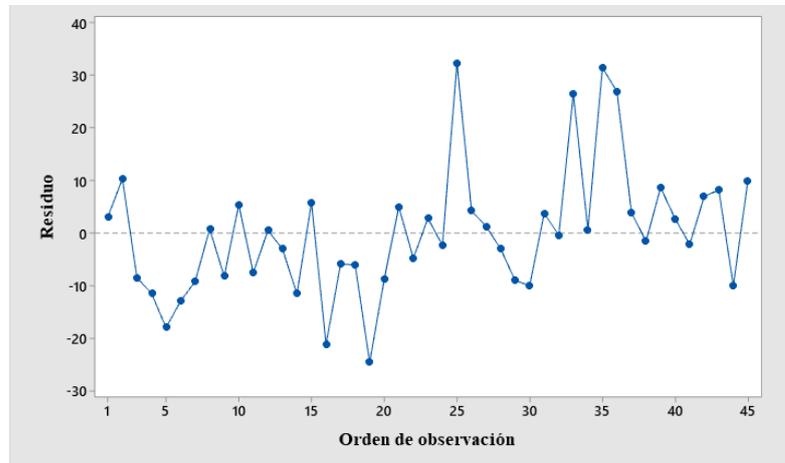
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Esf-Máx. Flexión poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos del Esf-Máx. Flexión no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$

<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 0.36</b>	<b>Valor – p</b>	0.969
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El valor de p es mayor que el valor de significancia, por lo cual el tratamiento de datos permite cumplir con el supuesto de igualdad de varianzas, por medio del tratamiento de datos.		

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos en los datos transformados Esf. Máx. Flexión

En la independencia de residuos los datos son analizados con los valores transformados del Esf. Máx. Flexión (MPa), en la figura 3.21, se presenta el orden de observación respecto al residuo el cual no sigue un patrón configurado, lo que se concluye que el supuesto cumple con el análisis.



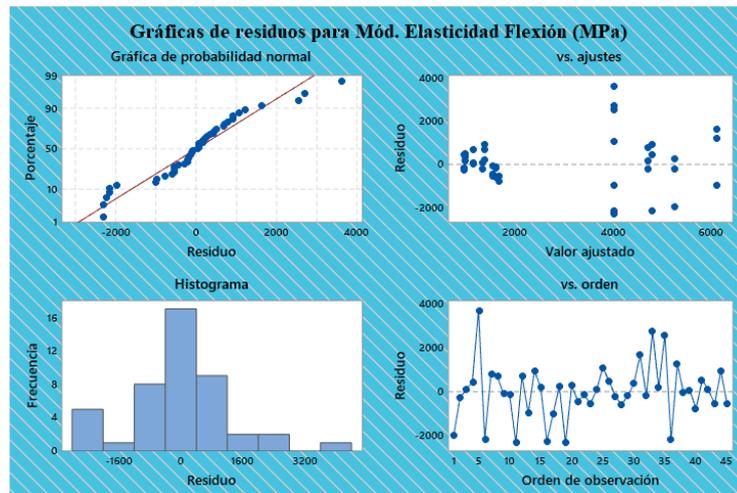
**Figura 3.21.** Prueba Independencia de residuos con datos transformados - Esfuerzo Máximo de Flexión.

Fuente: Software Minitab

### Análisis de supuestos para Módulo de Elasticidad – Flexión

El módulo de elasticidad es una propiedad mecánica fundamental en el respectivo análisis, de tal sentido esta propiedad nos indica el respectivo comportamiento en la zona plástica del material prácticamente entre la deformación unitaria y el esfuerzo aplicado, es decir en términos comunes presenta la rigidez del material, siendo esto primordial para el investigador determinar la mejor combinación de las capas de fibra natural con sus respectivas niveles de orientación (-45°,0°,-45°) y a su vez la temperatura de curado. Dentro de ello para corroborar con las pruebas paramétricas que nos permitan verificar si cumple con la normalidad de los datos, se elabora pertinentemente el análisis de regresión Superficies de respuestas, en la figura 3.22, se

denota valores significativos donde en la gráfica de probabilidad normal los datos se asocian a la línea de tendencia permitiendo así tener normalidad en los datos.



**Figura 3.22.** Análisis de residuos del módulo de elasticidad - Flexión.  
Fuente: Software Minitab

### Igualdad de varianza en Módulo de Elasticidad (MPa)

Los valores obtenidos en la propiedad mecánica son analizados de acuerdo al supuesto de igualdad de varianza, tales datos deben satisfacer el cumplimiento del análisis, en el caso de arrojar valores no recomendables, serán tratados hasta satisfacer dicho supuesto por medio de la transformación de Box Cox, permitiendo llegar al valor óptimo deseado en el respectivo tratamiento de datos.

Tabla 3.66. Prueba igualdad de varianzas del Módulo de Elasticidad - Flexión.

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Mod. Elasticidad en flexión poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos del Mod. Elasticidad en flexión no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 2,49</b>	<b>Valor - p</b>	0,020
<b>Dictamen</b>	Se rechaza la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El supuesto de igualdad de varianza posee un valor de p menor al valor de significancia, por ende, el supuesto esta fuera de lo indicado.		
<b>Observaciones:</b>	Se requiere elaborar el tratamiento de datos en la propiedad.		

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos del Módulo de Elasticidad (MPa)

Los residuos en el Módulo de Elasticidad son referentemente analizados en la independencia, tal sentido por observación del orden analítico, cada muestra no contiene un patrón de orden, por lo que se concluye que el supuesto cumple con el respectivo análisis.

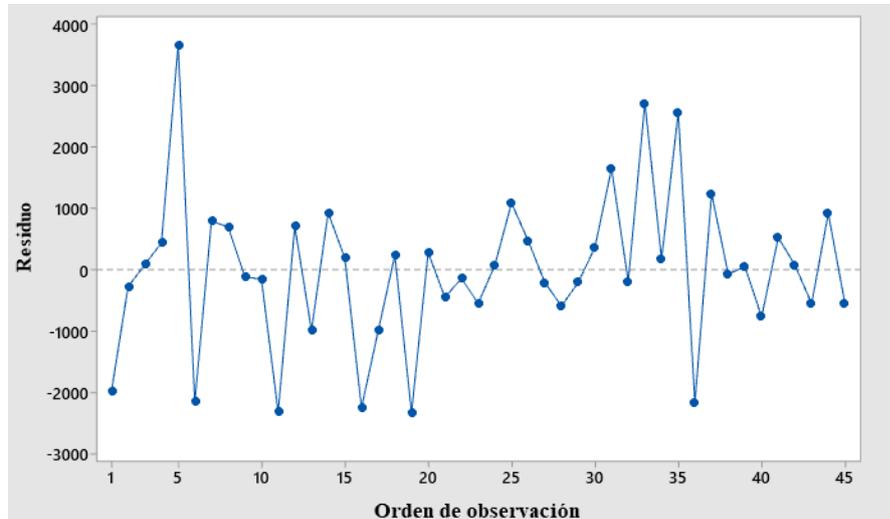


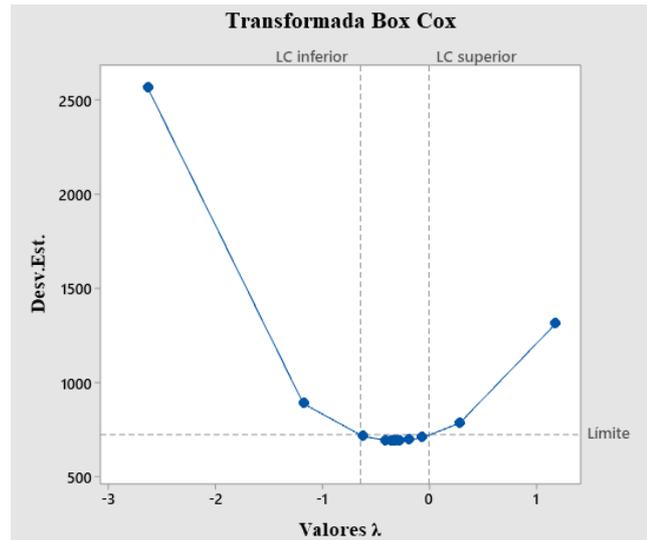
Figura 3.23. Prueba Independencia de residuos del Módulo de elasticidad - Flexión (MPa).

Fuente: Software Minitab

### Transformación de datos Modulo de Elasticidad en Flexión (MPa)

Una vez elaborado la comprobación de supuestos mediante el programa estadístico Minitab, se observa que el supuesto en igualdad de varianza no cumple con el requerimiento para ser aceptado de tal manera se procede a elaborar el tratamiento de datos (Transformación de datos), por lo que se utiliza el método de Box Cox. Permitiendo obtener el valor óptimo mediante la aplicación del modelo de regresión lineal logrando de esa forma estabilizar los datos proporcionando de esa manera las desviaciones al ajuste de normalidad.

Los supuestos paramétricos de normalidad en la propiedad mecánica – módulo de elasticidad presenta una distribución normal de los datos, por otro sentido el supuesto de igualdad de varianza no cumple con el respectivo supuesto requerido.



**Figura 3.24.** Valor optimo lambda ( $\lambda$ ) – Modulo de Elasticidad en Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

De tal manera se elabora la transformación de datos para llegar a cumplir con los supuestos paramétricos, se presenta la gráfica de control de la transformada optima de Box Cox con un valor de lambda ( $\lambda$ ) de -1, siendo este valor el indicado para cumplir con los supuestos paramétricos y lograr la igualdad en las varianzas.

Tabla 3.67. Transformación de datos Box Cox del Módulo de Elasticidad - Flexión.

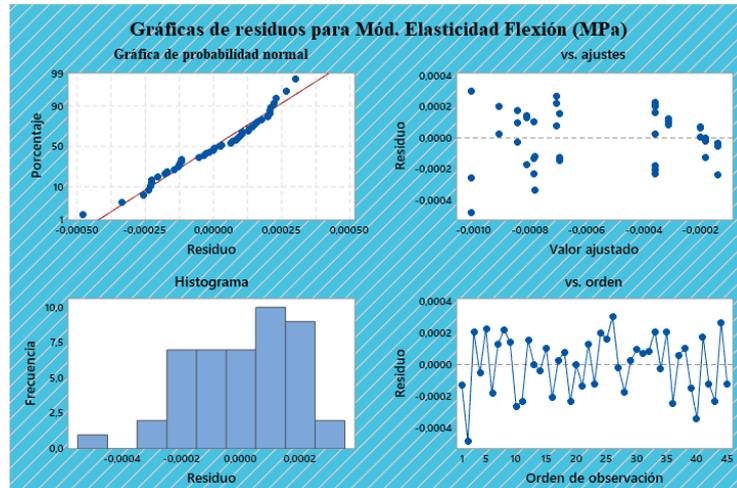
Numero de datos (N) = 45					Valor de transformación de Box – Cox ( $\lambda$ ) = -1				
Significancia = 5%					Función aplicada: $y = \frac{1}{Esf.Max. Flexión}$				
Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)	Replica	Esf. Máximo (MPa)
1	0,0009	4	0,0007	7	0,0001	10	0,0015	13	0,0003
1	0,0011	4	0,0007	7	0,0005	10	0,0013	13	0,0002
1	0,0009	4	0,0010	7	0,0006	10	0,0007	13	0,0002
2	0,0002	5	0,0007	8	0,0006	11	0,0009	14	0,0002
2	0,0002	5	0,0009	8	0,0003	11	0,0007	14	0,0002
2	0,0002	5	0,0007	8	0,0006	11	0,0010	14	0,0004
3	0,0002	6	0,0007	9	0,0002	12	0,0005	15	0,0005
3	0,0001	6	0,0007	9	0,0001	12	0,0008	15	0,0006
3	0,0001	6	0,0009	9	0,0002	12	0,0008	15	0,0004

Fuente: [Autor]

### Análisis de supuestos con los datos transformados

Al ejecutar la transformación de datos por Box Cox en el Módulo de Elasticidad – Flexión se verifican respectivamente los supuestos de normalidad, igualdad de

varianza e independencia de residuos. Conforme al diseño de superficies con términos lineales y cuadráticos completos se observa en la figura 3.25, los valores significativos se presentan en la gráfica de probabilidad normal respecto a los datos transformados se asocian directamente a la línea de tendencia del respectivo análisis permitiendo así tener normalidad en los datos.



**Figura 3.25.** Análisis de residuos del módulo de elasticidad – Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

### Igualdad de varianza del Módulo de Elasticidad datos transformados

Con los datos transformados en la propiedad del Módulo de Elasticidad se verifica el cumplimiento del supuesto de igualdad de varianza. En la tabla 3.68, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 3.68. Igualdad de varianza en datos transformados por Box Cox del Módulo de Elasticidad - Flexión.

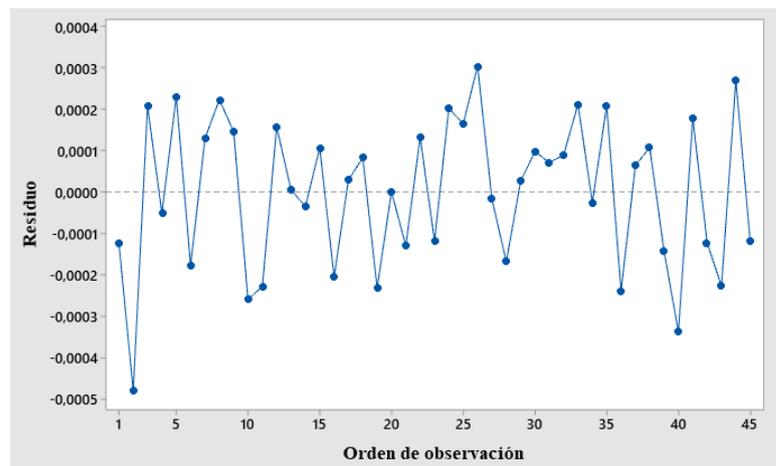
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos del Mod. Elasticidad poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos del Mod. Elasticidad no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 1.25</b>	<b>Valor – p</b>	0.292
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		

<b>Conclusión</b>	El valor de p es mayor que el valor de significancia, por lo cual el tratamiento de datos permite cumplir con el supuesto de igualdad de varianzas.
-------------------	---

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos en los datos transformados Modulo de Elasticidad

En la independencia de residuos los datos son analizados con los valores transformados del Módulo de Elasticidad, en la figura 3.26 se presenta el orden de observación respecto al residuo el cual no presenta un patrón predeterminado, lo que se concluye que el supuesto cumple con los datos transformados.



**Figura 3.26.** Prueba Independencia de residuos con datos transformados -Módulo de Elasticidad.

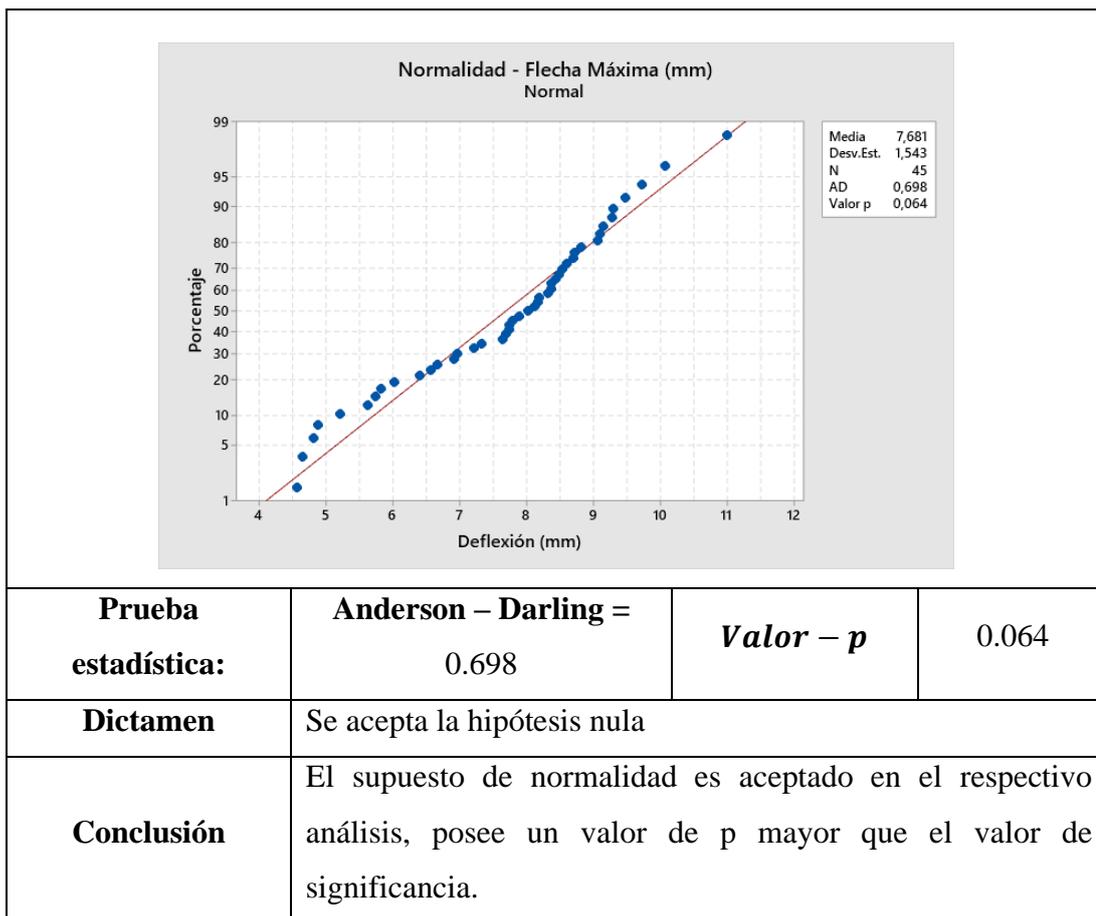
**Fuente:** Software Minitab

### Prueba de normalidad en Deflexión.

La prueba de normalidad elaborada para la verificación de supuestos en Deflexión se presenta en la tabla 3.69, dichos valores son obtenidos en base al análisis realizado en el software de Minitab.

Tabla 3.69. Prueba de normalidad – Deflexión máxima (mm).

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos en deflexión poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos en deflexión no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$



Fuente: [Autor]

### Igualdad de varianza en Deflexión

La prueba de igualdad de varianza en los datos de Deflexión (mm) posee el 95% de confiabilidad, dentro de este método se pretende cumplir con el valor de aceptación para la hipótesis nula, El valor p debe superar al valor de significancia 0.05.

Tabla 3.70. Prueba igualdad de varianzas – Deflexión máxima (mm).

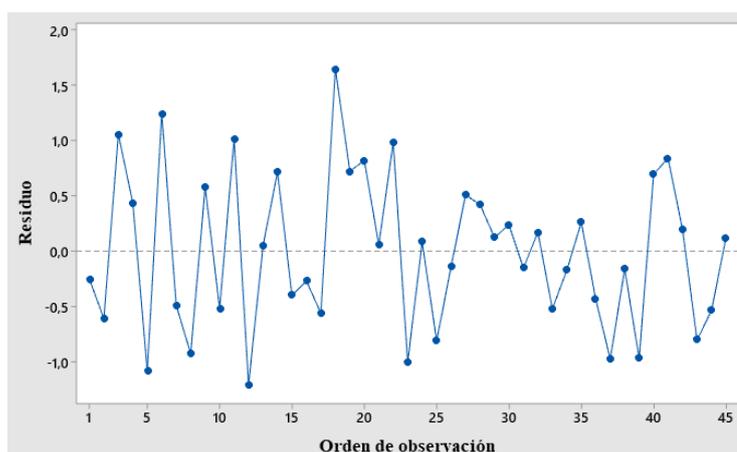
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos de la flecha máxima en flexión poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos de la flecha máxima en flexión no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 0.60</b>	<b>Valor – p</b>	0.823
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		

<b>Conclusión</b>	El supuesto referente a la deflexión de análisis cumple con el supuesto de la igualdad de varianza, tal supuesto es aceptado en el respectivo análisis.
-------------------	---

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos Deflexión

En la independencia de residuos, los datos son analizados visualmente con los valores reales de la Deflexión máxima (mm) en la figura 3.27. se presenta el orden de observación respecto al residuo el cual no sigue un patrón predeterminado, lo que se concluye que el supuesto cumple con los datos originales del respectivo análisis.

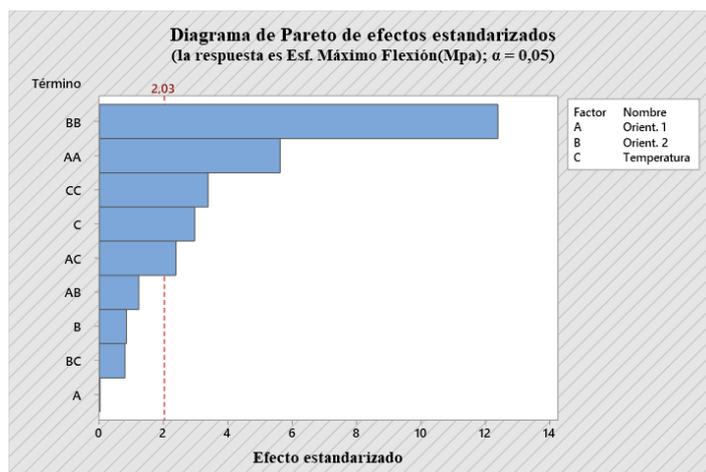


**Figura 3.27.** Prueba Independencia de residuos – Deflexión máxima (mm).

**Fuente:** Software Minitab

### 3.2.4. Aplicación de diseño de experimentos MSR y análisis en Flexión Esfuerzo Máximo – Flexión

El análisis es elaborado en base a los datos reales del ensayo mecánico, el método de superficie de respuesta se basa en modelos de términos cuadráticos que se ajustan a los factores del respectivo estudio experimental. Principalmente se elabora el análisis con el diagrama de Pareto, el cual cumple la funcionalidad de tomar los factores relevantes que influyen en la propiedad mecánica y obviar los factores poco influyentes en el respectivo análisis como lo presenta la figura 3.28.



**Figura 3.28.** Análisis diagrama de Pareto en el esfuerzo Máximo - Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

Los factores influyentes en el respectivo análisis de efectos principales del respectivo diagrama se centran en BB correspondiente a la orientación 2, seguido a ello el AA referente a la Orientación, consecuentemente el factor CC denominado como Temperatura, con ello se pretende alcanzar el factor efectivo para obtener la mejor propiedad en el Esfuerzo máximo de flexión.

### Análisis de variancia en Esfuerzo Máximo en Flexión

El análisis de la Varianza del esfuerzo máximo en Flexión se ajusta a la configuración de la orientación de las capas y la temperatura de curado, el modelo obtenido estadísticamente se presenta en la tabla 3.71, donde se concluye de manera general la existencia de valores significativos en las configuraciones que van de 0.000 a 0.05 el cual nos permite tomar la mejor decisión de acuerdo al mejor ajuste.

Tabla 3.71. Análisis de Varianza en el Esfuerzo Máximo – Flexión.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajuste	MC Ajuste	Valor F	Valor p
Modelo	9	36835,4	4092,8	21,87	0,000
Orientación 1	1	0,1	0,1	0,00	0,985
Orientación 2	1	133,2	133,2	0,71	0,405
Temperatura	1	1648,1	1648,1	8,81	0,005
Orientación 1*Orientación 1	1	5892,1	5892,1	31,49	0,000
Orientación 2*Orientación 2	1	28675,8	28675,8	153,25	0,000
Temperatura*Temperatura	1	2132,8	2132,8	11,40	0,002
Orientación 1*Orientación 2	1	282	282	1,51	0,228

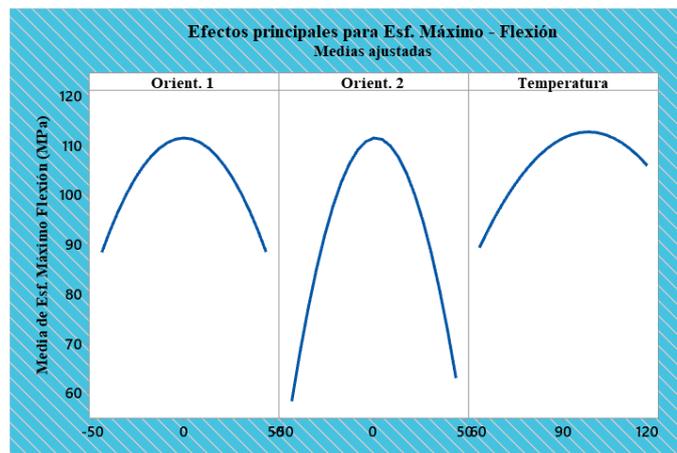
<b>Orientación 1*Temperatura</b>	1	1064,5	1064,5	5,69	0,023
<b>Orientación 2*Temperatura</b>	1	118,4	118,4	0,63	0,432
<b>Error</b>	35	6549	187,1		
<b>Falta de ajuste</b>	3	700,9	233,6	1,28	0,298
<b>Error puro</b>	32	5848	182,8		
<b>Total</b>	44	43384,3			

Fuente: [Autor]

### Coefficiente de determinación

El modelo presenta un ajuste del 84,90%, es decir los datos son respectivamente deseables, de esta forma el modelo expresa el análisis con un porcentaje de confianza que permite optimizar de la propiedad mecánica.

Para corroborar con los datos analizados en la varianza y el coeficiente de determinación se presentan gráficamente los efectos principales de las medias ajustadas, en la figura 3.29, los factores del efecto principal son relativamente significativos con las medias del esfuerzo máximo en flexión. De manera evidente en la orientación 1 y 2 se encuentra la mayor influencia a 0°, por otro lado, se denota en la temperatura el factor tiene mayor incidencia a una temperatura de 120 °C. de esta forma los efectos principales tienen incidencia en la propiedad mecánica analizada.

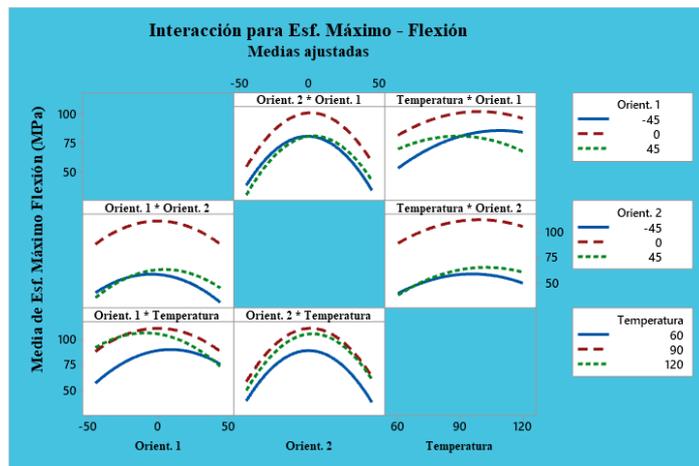


**Figura 3.29.** Efectos Principales del Esfuerzo Máximo en Flexión.

Fuente: Software Minitab

En la figura 3.30, de las interacciones del esfuerzo máximo en flexión son relativamente significativos, por lo cual se evidencia mediante las curvas de mayor interacción en la orientación 1 – Temperatura teniendo mayor incidencia en el resultado de la media ajustada de la respectiva propiedad mecánica, consecuentemente

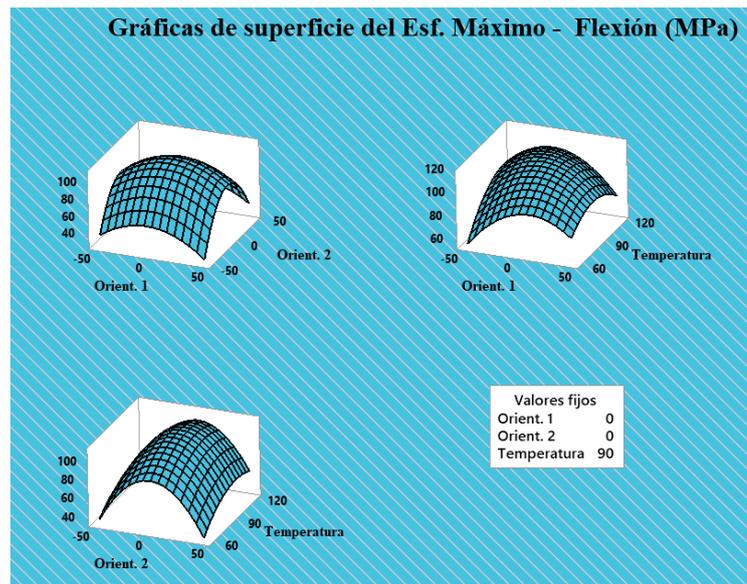
en la interacción de Temperatura – Orientación 1 se observa a los  $-45^\circ$  y  $45^\circ$  la temperatura incide en la media ajustada de la propiedad analizada.



**Figura 3.30.** Interacciones del Esfuerzo Máximo en Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

Por medio de la ecuación de regresión obtenida en el análisis de varianza, se obtiene la gráfica de superficies, característicamente la figura 3.31, examina la relación de una variable de respuesta con respecto a los dos factores de entrada, de tal forma se da en el Esfuerzo Máximo de Flexión.



**Figura 3.31.** Grafica de superficie de la propiedad mecánica - Esf. Máx. Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

### Optimización de propiedad Mecánica – Esfuerzo máximo en Flexión

El análisis que representa el valor óptimo se basa en obtener la mejor combinación en base a las variables de estudio y de acuerdo a los datos del respectivo ensayo se

optimicen conjuntamente, por lo cual la optimización se da en las variables de entrada las cuales son: Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura de curado, en tal sentido el valor optimo se presenta en la tabla 3.72, permitiendo de esa manera corroborar el respectivo análisis y optimización de la propiedad.

Tabla 3.72. Optimización de respuesta en el Esf. Máx. Flexión.

Variable de entrada	Valor de Configuración
Orientación 1	-2,2727
Orientación 2	1,3636
Temperatura	99,3939
Propiedad	Valor Optimizado
Esf. Máximo (MPa)	112,93

Fuente: Software Minitab

### Módulo de Elasticidad – Flexión

El análisis es elaborado en base a los datos reales del ensayo mecánico, el método de superficie de respuesta se basa en modelos de términos cuadráticos que se ajustan a los factores del respectivo estudio experimental. Principalmente se elabora el análisis con el diagrama de Pareto, el cual cumple la funcionalidad de tomar los factores relevantes que influyen en la propiedad mecánica y obviar los factores poco influyentes en el respectivo análisis como lo presenta la figura 3.32.

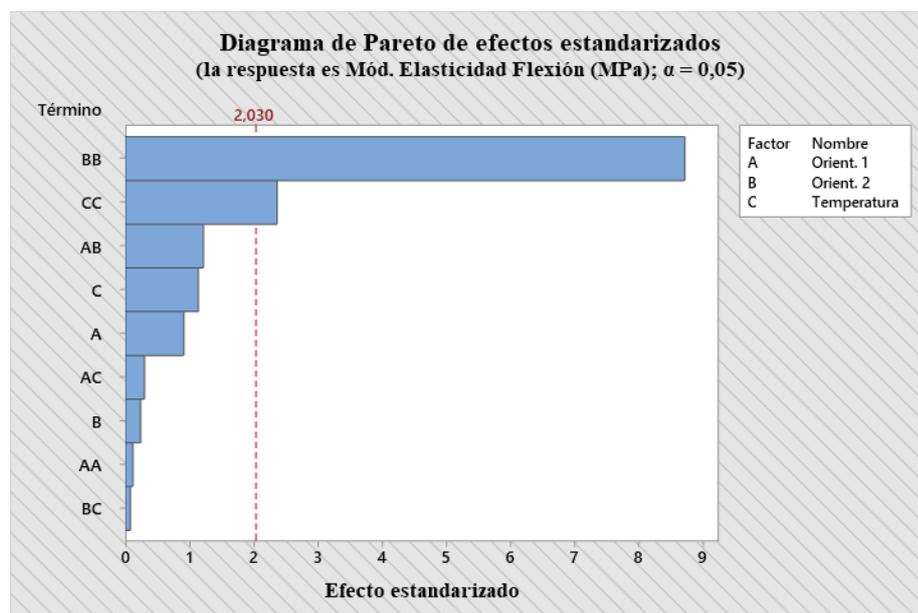


Figura 3.32. Análisis diagrama de Pareto en el esfuerzo Máximo - Flexión.

Fuente: Software Minitab

Los factores influyentes en el respectivo análisis de efectos principales del respectivo diagrama se centran en BB correspondiente a la orientación 2, consecuentemente el factor CC denominado como Temperatura, con ello se pretende alcanzar el factor efectivo para obtener la mejor propiedad en el Módulo de elasticidad de flexión.

### **Análisis de variancia del Módulo de Elasticidad en Tracción**

El análisis de la Varianza del Módulo de Elasticidad en Flexión se ajusta a la configuración de la orientación de las capas y la temperatura de curado, en la tabla 3.73, se presenta el detalle de cada factor de análisis, en donde se puede concluir de forma general los valores obtenidos poseen diferencias significativas, el modelo global lo cual se contrasta el valor de 0.000 a 0.05, respectivamente lo que es evidente la aplicación del MSR.

Tabla 3.73. Análisis de Varianza en el Módulo de Elasticidad en Flexión.

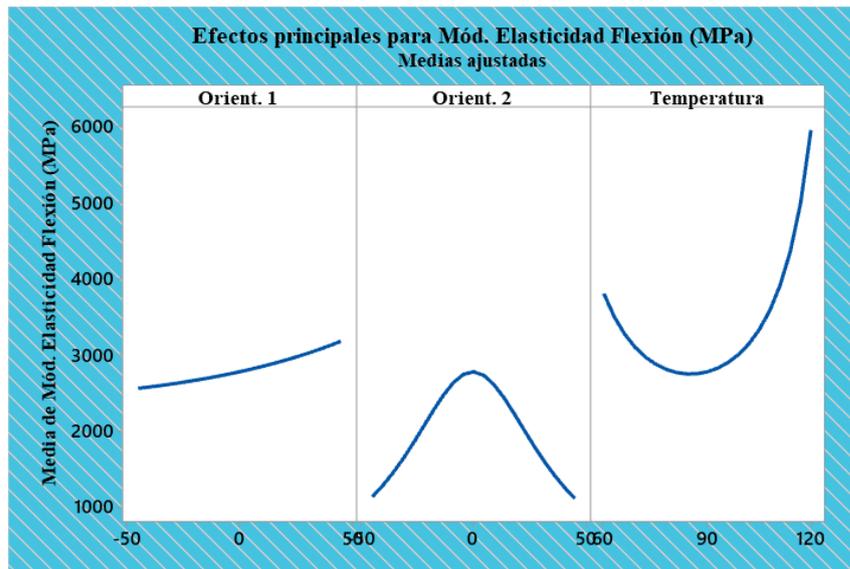
<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajuste</b>	<b>MC Ajuste</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	9	141301485	15700165	7,81	0,000
<b>Orientación 1</b>	1	1350427	1350427	0,67	0,418
<b>Orientación 2</b>	1	44721	44721	0,02	0,882
<b>Temperatura</b>	1	875162	875162	0,44	0,514
<b>Orientación 1*Orientación 1</b>	1	2594836	2594836	1,29	0,264
<b>Orientación 2*Orientación 2</b>	1	120560686	120560686	59,96	0,000
<b>Temperatura*Temperatura</b>	1	5865217	5865217	2,92	0,097
<b>Orientación 1*Orientación 2</b>	1	40021	40021	0,02	0,889
<b>Orientación 1*Temperatura</b>	1	2650800	2650800	1,32	0,259
<b>Orientación 2*Temperatura</b>	1	53734	53734	0,03	0,871
<b>Error</b>	35	70372989	2010657		
<b>Falta de ajuste</b>	3	6348839	2116280	1,06	0,381
<b>Error puro</b>	32	64024149	2000755		
<b>Total</b>	44	211674474			

Fuente: [Autor]

### **Coefficiente de determinación**

El modelo presenta un ajuste del 66,75%, es decir los datos son respectivamente deseables, de esta forma el modelo expresa el análisis con un porcentaje de confianza que permite optimizar de la propiedad mecánica.

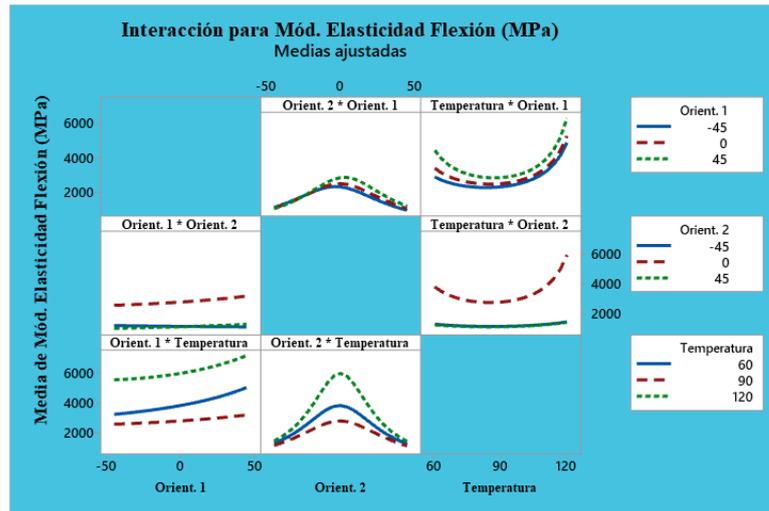
Para corroborar con los datos analizados en la varianza y el coeficiente de determinación se presentan gráficamente los efectos principales de las medias ajustadas, en la figura 3.33, los factores del efecto principal son relativamente significativos con las medias del módulo de elasticidad. De manera evidente en la orientación 1 el valor de mayor incidencia se da a los 45°, con respecto a la orientación 2 se encuentra la mayor influencia a 0°, por otro lado, se denota en la temperatura el factor tiene mayor incidencia a una temperatura de 120 °C. de esta forma los efectos principales tienen incidencia en la propiedad mecánica analizada.



**Figura 3.33.** Efectos Principales del Módulo de Elasticidad - Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

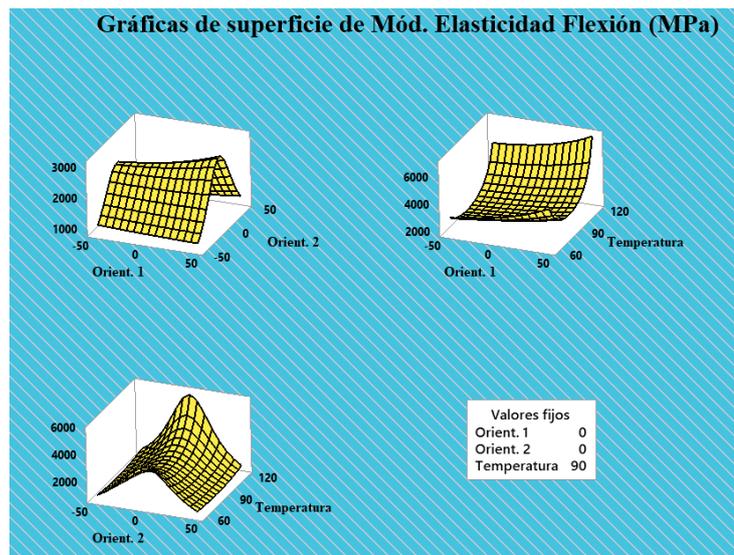
En la figura 3.34, de las interacciones del esfuerzo máximo en flexión son relativamente significativos, por lo cual se evidencia mediante las curvas de mayor interacción en la orientación 2 – Temperatura teniendo mayor incidencia en el resultado de la media ajustada de la respectiva propiedad mecánica, consecuentemente en la interacción de Temperatura – Orientación 1 se observa a los 120 °C con la orientación a 45 grados tiene mayor interacción en la media ajustada de la propiedad analizada.



**Figura 3.34.** Interacción del Módulo de Elasticidad - Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

Por medio de la ecuación de regresión obtenida en el análisis de varianza, se obtiene la gráfica de superficies, característicamente la figura examina la relación de una variable de respuesta con respecto a los factores de entrada, de tal forma se da en el Módulo de Elasticidad lo cual permite visualizar de manera directa el comportamiento que se efectúa con respecto a la propiedad mecánica y los factores de análisis correspondientemente.



**Figura 3.35.** Grafica de superficie de la propiedad mecánica – Modulo de Elasticidad en Tracción.

**Fuente:** Software Minitab

### Optimización de propiedad Mecánica – Módulo de Elasticidad

El análisis que representa el valor optimo se basa en obtener la mejor combinación en base a las variables de estudio y de acuerdo a los datos del respectivo ensayo se

optimicen conjuntamente, por lo cual la optimización se da en las variables de entrada las cuales son: Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura de curado, en tal sentido el valor optimo se presenta en la tabla 3.74, permitiendo de esa manera corroborar el respectivo análisis y optimización de la propiedad.

Tabla 3.74. Optimización de respuesta del Módulo de Elasticidad - Flexión.

Variable de entrada	Valor de Configuración
Orientación 1	45
Orientación 2	3,18182
Temperatura	120
Propiedad	Valor Optimizado
Mód. Elasticidad (MPa)	7265,73

Fuente: [Autor]

### Análisis de varianza en Deflexión (mm)

El análisis es elaborado en base a los datos reales del ensayo mecánico, el método de superficie de respuesta se basa en modelos de términos cuadráticos que se ajustan a los factores del respectivo estudio experimental. Principalmente se elabora el análisis con el diagrama de Pareto, el cual cumple la funcionalidad de tomar los factores relevantes que influyen en la propiedad mecánica y obviar los factores poco influyentes en el respectivo análisis como lo presenta la figura 3.36.

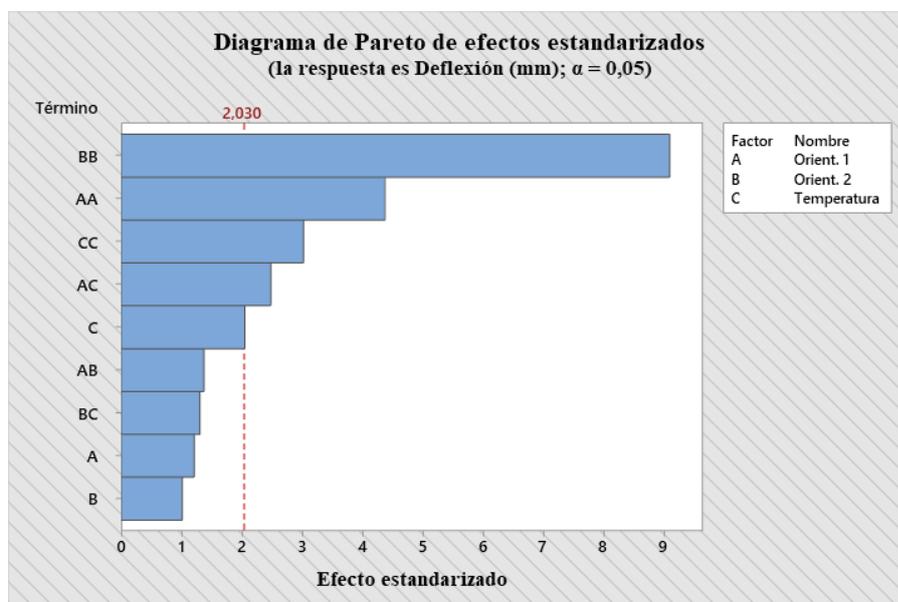


Figura 3.36. Análisis diagrama de Pareto en el esfuerzo Máximo - Flexión.

Fuente: Software Minitab

Los factores influyentes en el respectivo análisis de efectos principales del respectivo diagrama se centran en la orientación 2, orientación 1 y consecuentemente en la temperatura, respectivamente cada factor se asocia a la suma de cuadrados obtenidos en el respectivo análisis con ello se pretende alcanzar el factor efectivo para obtener el mejor resultado en la propiedad mecánica analizada.

### **Análisis de variancia en Deflexión**

El análisis de la Varianza en deflexión se ajusta a la configuración de la orientación de las capas y la temperatura de curado, en la tabla 3.75, se presenta el detalle de cada factor de análisis, en donde se puede concluir de forma general los valores obtenidos poseen diferencias significativas, el modelo global contrasta el valor de 0.000 a 0.05, respectivamente lo que es evidente la aplicación del MSR.

Tabla 3.75. Análisis de Varianza – Deflexión máxima.

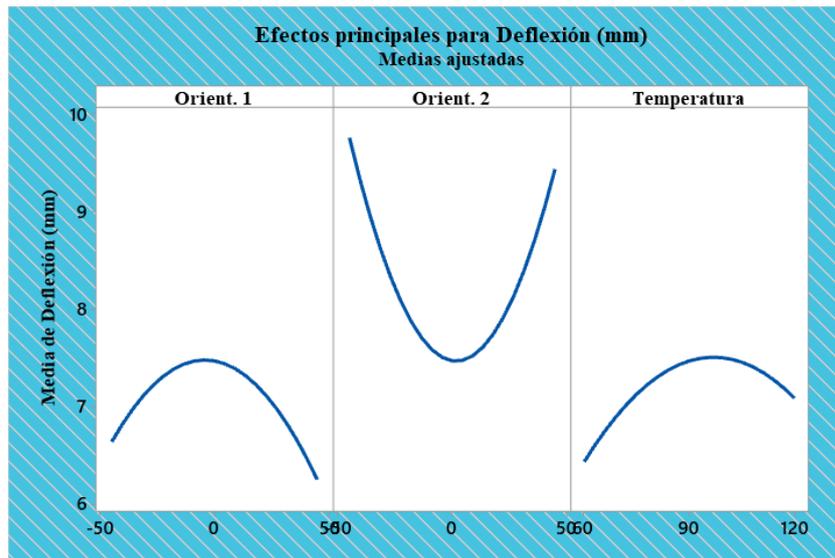
<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajuste</b>	<b>MC Ajuste</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	9	83,313	9,2571	15,13	0,000
<b>Orientación 1</b>	1	0,897	0,8971	1,47	0,234
<b>Orientación 2</b>	1	0,627	0,6273	1,03	0,318
<b>Temperatura</b>	1	2,561	2,5611	4,19	0,048
<b>Orientación 1*Orientación 1</b>	1	11,682	11,6819	19,1	0,000
<b>Orientación 2*Orientación 2</b>	1	50,478	50,478	82,52	0,000
<b>Temperatura*Temperatura</b>	1	5,588	5,5882	9,14	0,005
<b>Orientación 1*Orientación 2</b>	1	1,153	1,1532	1,89	0,178
<b>Orientación 1*Temperatura</b>	1	3,763	3,7632	6,15	0,018
<b>Orientación 2*Temperatura</b>	1	1,044	1,0443	1,71	0,200
<b>Error</b>	35	21,41	0,6117		
<b>Falta de ajuste</b>	3	5,362	1,7872	3,56	0,025
<b>Error puro</b>	32	16,049	0,5015		
<b>Total</b>	44	104,724			

Fuente: [Autor]

### **Coefficiente de determinación**

El modelo presenta un ajuste del 79,56%, es decir los datos son respectivamente deseables, de esta forma el modelo expresa el análisis con un porcentaje de confianza que permite optimizar de la propiedad mecánica.

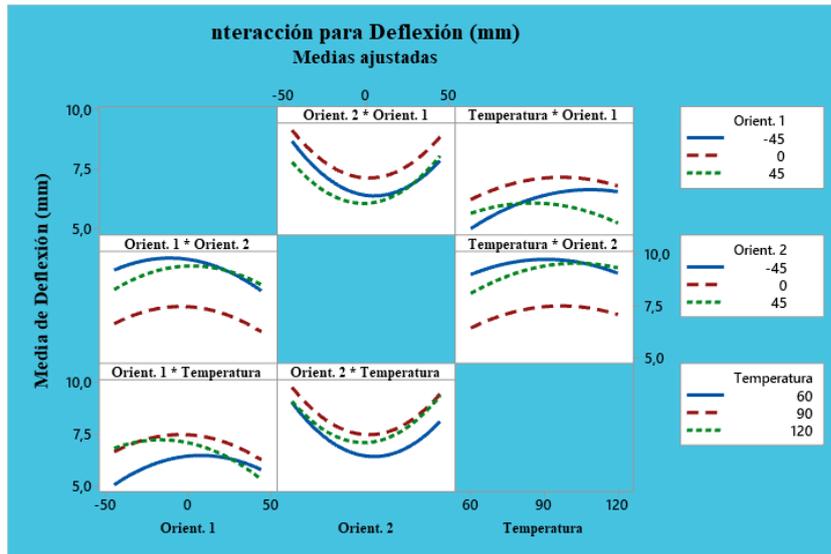
Para corroborar con los datos analizados en la varianza y el coeficiente de determinación se presentan gráficamente los efectos principales de las medias ajustadas, en la figura 3.37, los factores del efecto principal son relativamente significativos con las medias de la propiedad mecánica en deflexión. De manera evidente en la orientación 1 el valor de mayor incidencia se da a los 0° debido a su línea de pendiente que se encuentra con mayor prolongación, con respecto a la orientación 2 se encuentra la mayor influencia a -45°, por otro lado, se denota en la temperatura el factor tiene mayor incidencia a una temperatura de 90 °C. de esta forma los efectos principales tienen incidencia en la propiedad mecánica analizada acorde a la línea de su pendiente con mayor prolongación.



**Figura 3.37.** Efectos Principales – Deflexión máxima.

**Fuente:** Software Minitab

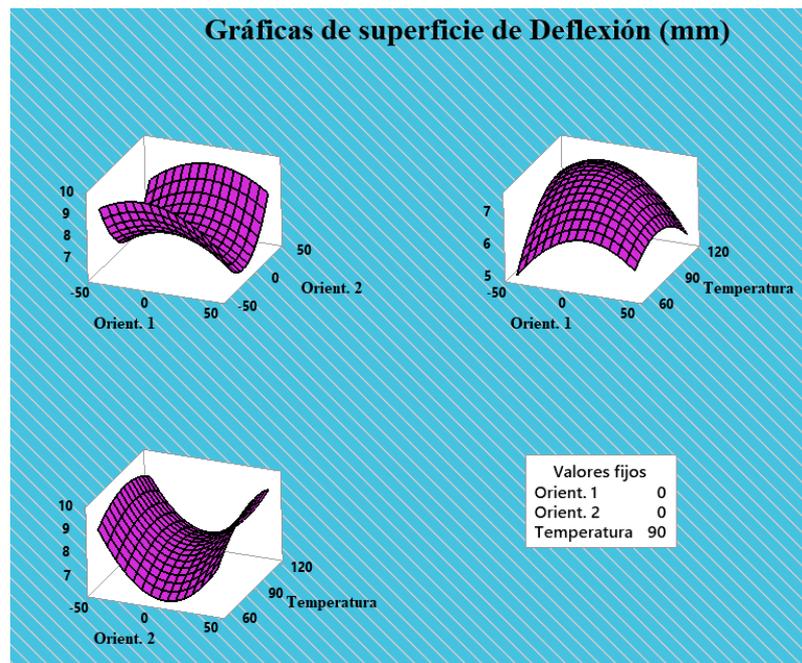
En la figura 3.38, de las interacciones de deflexión son relativamente significativos, por lo cual se evidencia mediante las curvas de mayor interacción en la orientación 1 – orientación 2 teniendo mayor interacción en el resultado de la media ajustada de la respectiva propiedad mecánica, consecuentemente en la interacción de Temperatura – Orientación 2 se observa a los 120 °C tiene mayor interacción en la media ajustada de la propiedad analizada.



**Figura 3.38.** Interacción de la propiedad mecánica – Deflexión máxima.

**Fuente:** Software Minitab

Por medio de la ecuación de regresión obtenida en el análisis de varianza, se obtiene la gráfica de superficies, característicamente la figura 3.39, examina la relación de una variable de respuesta con respecto a los factores de entrada, de tal forma se da en el Módulo de Elasticidad en Tracción permite visualizar de manera directa el comportamiento que se efectúa con respecto a la propiedad mecánica y los factores de análisis correspondientemente.



**Figura 3.39.** Grafica de superficie de la propiedad mecánica – Deflexión.

**Fuente:** Software Minitab

### Optimización de propiedad Mecánica – Deflexión

El análisis que representa el valor optimo se basa en obtener la mejor combinación en base a las variables de estudio y de acuerdo a los datos del respectivo ensayo se optimicen conjuntamente, por lo cual la optimización se da en las variables de entrada las cuales son: Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura de curado, en tal sentido el valor optimo se presenta en la tabla 3.76, permitiendo de esa manera corroborar el respectivo análisis y optimización de la propiedad.

Tabla 3.76. Optimización de respuesta Deflexión.

Variable de entrada	Valor de Configuración
Orientación 1	-45
Orientación 2	7,7272
Temperatura	60
Propiedad	Valor Optimizado
Deflexión (mm)	4,970

Fuente: [Autor]

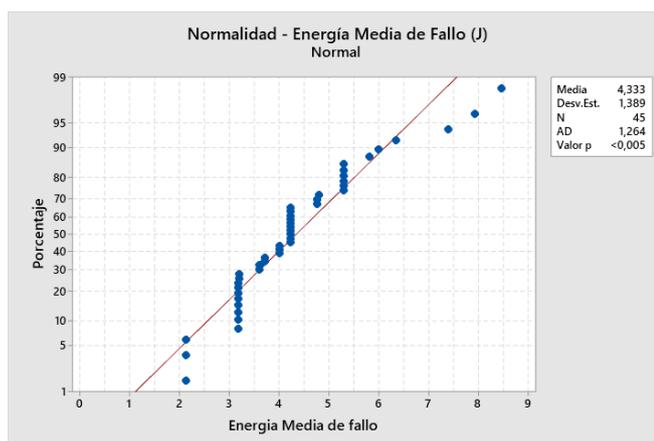
### 3.2.5. Comprobación de supuestos en los datos de Impacto

#### Prueba de normalidad para Energía Media de Fallo (J)

La prueba de normalidad elaborada para la verificación de supuestos en los datos de Energía Media de Fallo (J) se presenta en la siguiente tabla, dichos valores son obtenidos en base al análisis realizado en el software de Minitab, con un nivel de confiabilidad del 95% respectivamente.

Tabla 3.77. Prueba de normalidad – Energía Media de Fallo (J).

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos en Energía Media de Fallo poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos en Energía Media de Fallo no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$



<b>Prueba estadística:</b>	<b>Anderson – Darling =</b> 1.264	<b>Valor – p</b>	0.005
<b>Dictamen</b>	Se rechaza la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El valor de significancia es mayor que el valor P, en tal sentido el supuesto en la prueba de normalidad es insatisfactorio en el respectivo análisis.		
<b>Observación</b>	Los datos de Energía Media de fallo deben ser tratados.		

Fuente: [Autor]

### Igualdad de varianza en Energía Media de Fallo (J)

La prueba de igualdad de varianza en los datos de Energía media de fallo posee el 95% de confiabilidad, dentro de este método se pretende cumplir con el valor de aceptación para la hipótesis nula, El valor p debe superar al valor de significancia 0.05.

Tabla 3.78. Prueba igualdad de varianzas – Energía Media de Fallo (J).

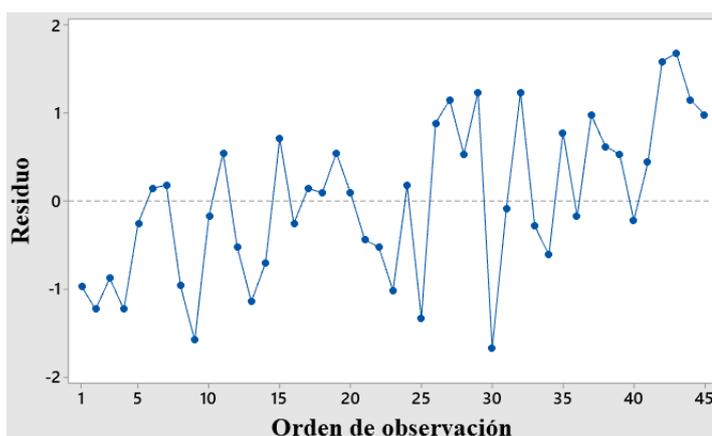
<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos de Energía de fallo poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos de Energía de fallo no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 0.24</b>	<b>Valor – p</b>	0.994
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		

<b>Conclusión</b>	El supuesto referente a Energía Media de fallo con respecto al análisis cumple con el supuesto de la igualdad de varianza, tal supuesto es aceptado en el respectivo análisis.
-------------------	--

Fuente: [Autor]

### **Independencia de residuos de Energía Media de Fallo (J)**

En la independencia de residuos, los datos son analizados visualmente con los valores reales de la Energía Media de Fallo (F), en la figura 3.40, se presenta el orden de observación respecto al residuo, el cual cada dato analizado no presenta un orden yacente, lo que se concluye que el supuesto cumple con el análisis.



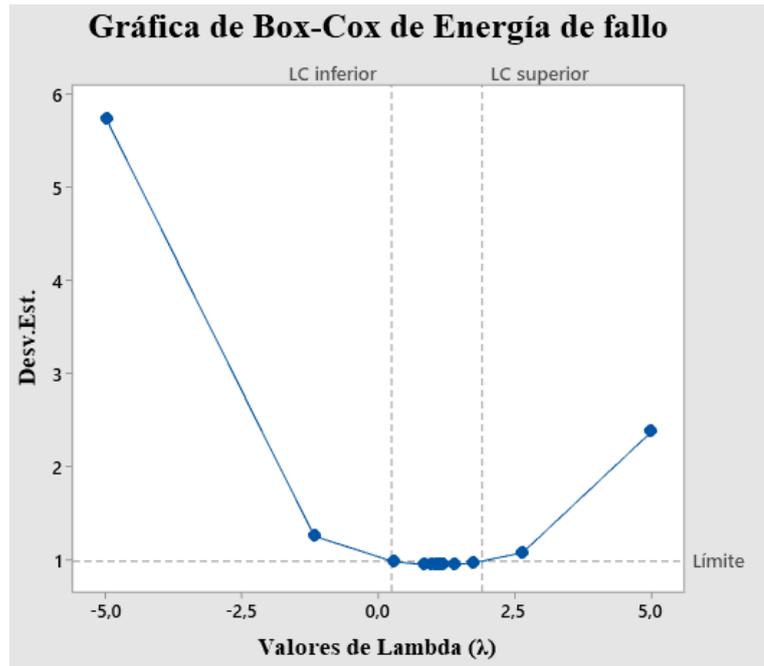
**Figura 3.40.** Prueba Independencia de residuos – Energía Media de Fallo (J).

**Fuente:** Software Minitab

### **Transformación de datos Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa).**

Una vez elaborado la comprobación de supuestos mediante el programa estadístico Minitab, se observa que el supuesto en igualdad de varianza no cumple con el requerimiento para ser aceptado, de tal manera se procede a elaborar el tratamiento de datos (Transformación de datos), por lo que se utiliza el método de Box Cox. Permitiendo obtener el valor óptimo mediante la aplicación del modelo de regresión lineal logrando de esa forma estabilizar los datos y a su vez los ajustes en las desviaciones para cumplir con el supuesto de normalidad.

Los supuestos paramétricos de normalidad se encuentran fuera del rango aceptable del supuesto paramétrico en la propiedad mecánica, por otro sentido el supuesto de igualdad de varianza cumple con lo requerido como a su vez la independencia de residuos.



**Figura 3.41.** Valor optimo lambda ( $\lambda$ ) – Modulo de Elasticidad en Flexión.

**Fuente:** Software Minitab

De tal manera se elabora la transformación de datos para llegar a cumplir con los supuestos paramétricos en la figura 3.41, se presenta la gráfica de control de la transformada optima de Box Cox con un valor de lambda ( $\lambda$ ) de 0 correspondiente a la regresión lineal del Logaritmo natural (Ln) en función de la propiedad mecánica, siendo este valor el indicado para cumplir con los supuestos paramétricos y lograr el supuesto de normalidad.

Tabla 3.79. Transformación de datos Box Cox – Energía Media de Fallo (J).

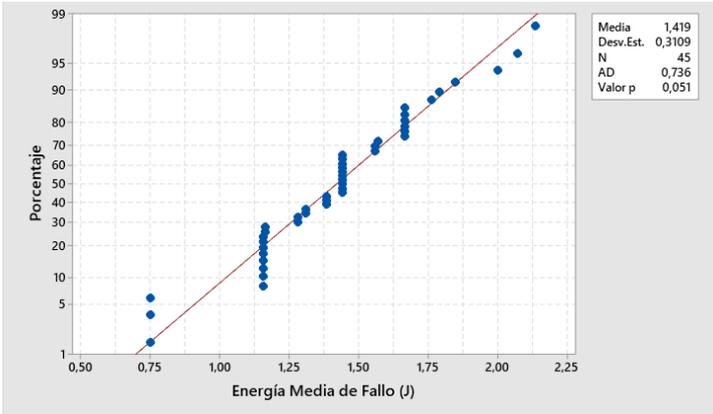
Numero de datos (N) = 45				Valor de transformación de Box – Cox ( $\lambda$ ) = 0					
Significancia = 5%				Función aplicada: $y = \ln(\text{Ener. Fallo})$					
Replica	E. fallo (J)	Replica	E. fallo (J)	Replica	E. fallo (J)	Replica	E. fallo (J)	Replica	E. fallo (J)
1	1,386	4	0,749	7	1,163	10	1,155	13	1,309
1	1,568	4	1,155	7	1,280	10	1,442	13	1,560
1	1,791	4	1,442	7	1,386	10	1,665	13	1,761
2	2,002	5	1,442	8	1,163	11	1,155	14	1,309
2	2,071	5	1,665	8	1,280	11	1,442	14	1,442
2	2,135	5	1,848	8	1,386	11	1,665	14	1,560
3	1,155	6	1,155	9	0,749	12	1,155	15	0,749

Replica	E. fallo (J)								
3	1,442	6	1,442	9	1,155	12	1,442	15	1,155
3	1,665	6	1,665	9	1,442	12	1,665	15	1,442

Fuente: [Autor]

### Prueba de normalidad datos transformados Energía Media de Fallo

Tabla 3.80. Prueba de normalidad en datos transformados por Box Cox - Energía Media de Fallo (J).

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos en Energía Media de fallo poseen distribución normal		
	$H_1$ : Los datos en Energía Media de fallo no poseen distribución normal		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
			
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Anderson – Darling =</b> 0.736	<b>Valor – p</b>	0.051
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El valor de p es mayor que el valor de significancia, de tal modo el supuesto de normalidad cumple con el tratamiento de datos aplicado mediante el concepto de Box Cox.		

Fuente: [Autor]

Por medio de la transformación de datos por Box Cox el supuesto cumple el requerimiento de la prueba de normalidad, dando como valor – p de 0.051, lo que nos indica que el valor es mayor al de significancia que es de 0.05, en la tabla 3.80, se verifica el cumplimiento de la respectiva prueba.

### Igualdad de varianza en Energía Media de fallo datos transformados

Con los datos transformados en la propiedad de Energía Media de fallo, se verifica el cumplimiento del supuesto de igualdad de varianza. En la tabla 3.81, se detallan los resultados obtenidos.

Tabla 3.81. Igualdad de varianza en datos transformados por Box Cox - Energía Media de Fallo (J).

<b>Hipótesis</b>	$H_0$ : Los datos de en Energía Media de fallo poseen igualdad de varianza.		
	$H_1$ : Los datos en Energía Media de Fallo no poseen igualdad de varianza.		
<b>Nivel de significancia</b>	$\alpha = 0.05$	<b>Numero de datos</b>	$N = 45$
<b>Prueba estadística:</b>	<b>Levene = 0.36</b>	<b>Valor - p</b>	0.97
<b>Dictamen</b>	Se acepta la hipótesis nula.		
<b>Conclusión</b>	El valor de p es mayor que el valor de significancia, por lo cual el tratamiento de datos permite cumplir con el supuesto de igualdad de varianzas, por medio del tratamiento de datos.		

Fuente: [Autor]

### Independencia de residuos en los datos transformados de Energía Media de fallo

En la independencia de residuos los datos son analizados con los valores transformados la Energía Media de fallo, en la figura 3.42, se presenta el orden de observación respecto al residuo el cual no sigue un patrón configurado, lo que se concluye que el supuesto cumple con el análisis.

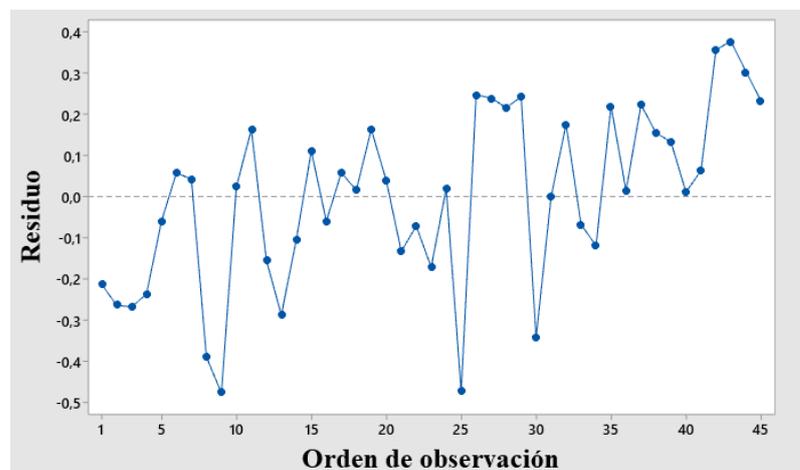


Figura 3.42. Prueba Independencia de residuos con datos transformados - Energía Media de Fallo (J).

Fuente: Software Minitab

### 3.2.6. Aplicación de diseño de experimentos MSR y análisis en Impacto Energía de fallo

El análisis es elaborado en base a los datos reales del ensayo mecánico, el método de superficie de respuesta se basa en modelos de términos cuadráticos completos que se ajustan a los factores del respectivo estudio experimental. Principalmente se elabora el análisis con el diagrama de Pareto, el cual cumple la funcionalidad de tomar los factores relevantes que influyen en la propiedad mecánica y obviar los factores poco influyentes en el respectivo análisis como lo presenta la figura 3.43.

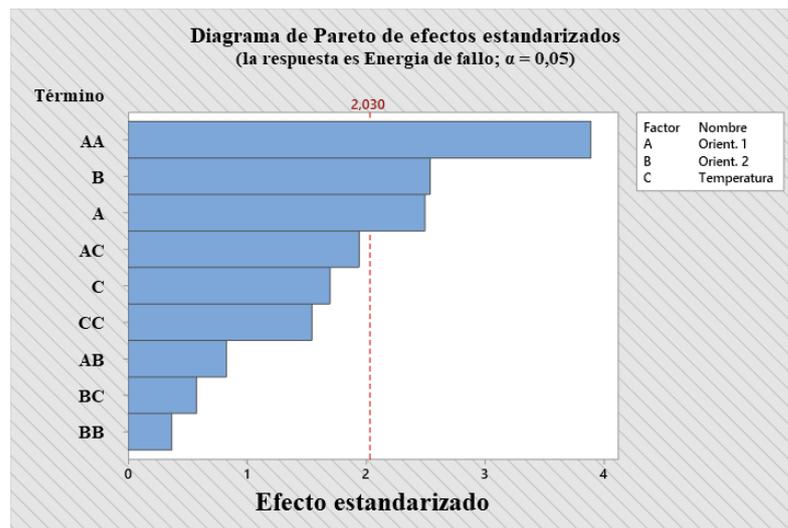


Figura 3.43. Análisis diagrama de Pareto – Energía media de fallo.

Fuente: Software Minitab

Los factores influyentes en el respectivo análisis de efectos principales del respectivo diagrama se centran en A correspondiente a la orientación 1, consecuentemente el factor B denominado como orientación 2, siendo estos los mayores influyentes de la propiedad de energía de impacto.

#### Análisis de variancia en Energía Media de Fallo (J)

El análisis de la Varianza de la Energía Media de Fallo se ajusta a la configuración de la orientación de las capas y la temperatura de curado, el modelo obtenido estadísticamente se presenta en la tabla 3.82, donde se concluye de manera general la existencia de valores significativos en las configuraciones que van de 0.000 a 0.05 el cual nos permite tomar la mejor decisión de acuerdo al mejor ajuste.

Tabla 3.82. Análisis de Varianza – Energía Media de Fallo.

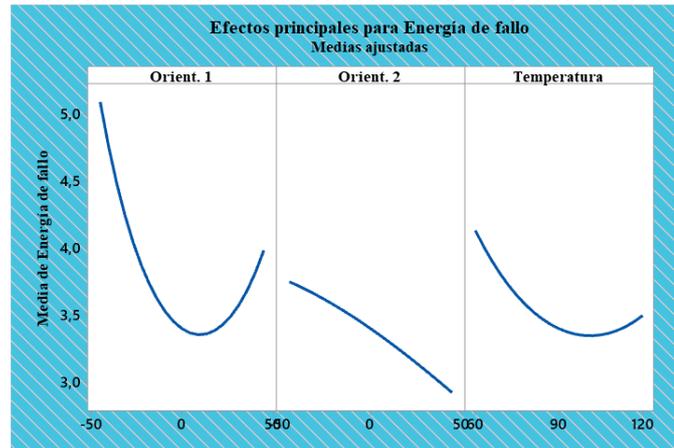
<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>GL</b>	<b>SC Ajuste</b>	<b>MC Ajuste</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>	<b>GL</b>
<b>Modelo</b>	9	2,20061	0,244512	4,17	0,001
<b>Orientación 1</b>	1	0,36447	0,364467	6,22	0,018
<b>Orientación 2</b>	1	0,37712	0,377123	6,43	0,016
<b>Temperatura</b>	1	0,16877	0,168771	2,88	0,099
<b>Orientación 1*Orientación 1</b>	1	0,88476	0,884763	15,1	0,000
<b>Orientación 2*Orientación 2</b>	1	0,0079	0,007898	0,13	0,716
<b>Temperatura*Temperatura</b>	1	0,13987	0,139868	2,39	0,131
<b>Orientación 1*Orientación 2</b>	1	0,04004	0,04004	0,68	0,414
<b>Orientación 1*Temperatura</b>	1	0,22072	0,220724	3,77	0,060
<b>Orientación 2*Temperatura</b>	1	0,01942	0,019419	0,33	0,569
<b>Error</b>	35	2,05134	0,05861		
<b>Falta de ajuste</b>	3	0,25819	0,086064	1,54	0,224
<b>Error puro</b>	32	1,79315	0,056036		
<b>Total</b>	44	4,25195			

Fuente: [Autor]

### **Coefficiente de determinación**

El modelo presenta un ajuste del 51,76%, es decir los datos son respectivamente deseables, de esta forma el modelo expresa el análisis con un porcentaje de confianza que permite optimizar de la propiedad mecánica.

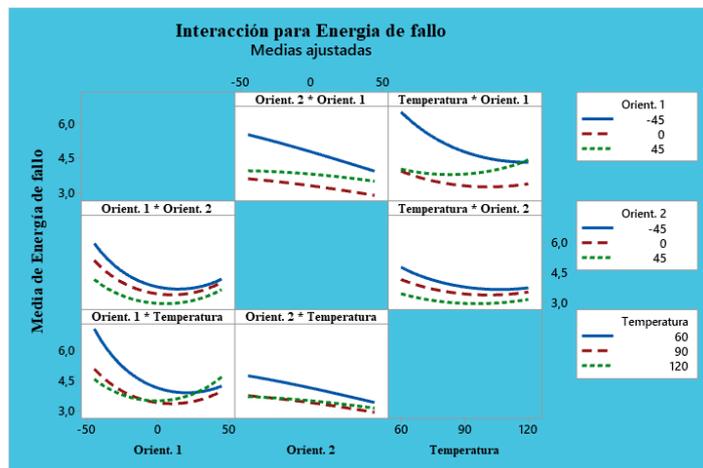
Para corroborar con los datos analizados en la varianza y el coeficiente de determinación se presentan gráficamente los efectos principales de las medias ajustadas, en la figura 3.44, los factores del efecto principal son relativamente significativos con las medias de la energía de fallo. De manera evidente en la orientación 1 el valor de mayor incidencia se da a los  $-45^\circ$ , con respecto a la orientación 2 se encuentra la mayor influencia a  $-45^\circ$ , por otro lado, se denota en la temperatura el factor tiene mayor incidencia a una temperatura de  $60^\circ\text{C}$ . de esta forma los efectos principales tienen incidencia en la propiedad mecánica analizada acorde a la línea de su pendiente con mayor prolongación.



**Figura 3.44.** Efectos Principales de la Energía Media de Fallo.

**Fuente:** Software Minitab

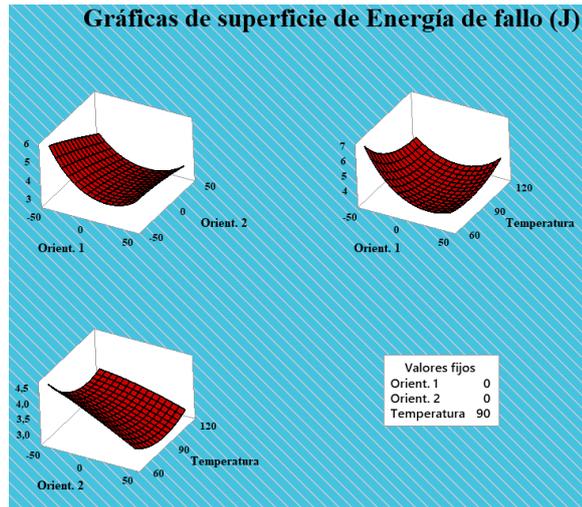
En la figura 3.45, de las interacciones de la energía de fallo en impacto son relativamente significativos, por lo cual se evidencia mediante las curvas de mayor interacción en la orientación 1 – temperatura teniendo mayor interacción en el resultado de la media ajustada de la respectiva propiedad mecánica, consecuentemente en la interacción de Temperatura – Orientación 1 se observa a los 120 °C tiene mayor interacción en la media ajustada de la propiedad analizada.



**Figura 3.45.** Interacciones de factores de la Energía Media de Fallo.

**Fuente:** Software Minitab

Por medio de la ecuación de regresión obtenida en el análisis de varianza, se obtiene la gráfica de superficies, característicamente la figura examina la relación de una variable de respuesta con respecto a los dos factores de entrada, de tal forma se da en la energía de fallo.



**Figura 3.46.** Grafica de superficie de la propiedad mecánica – Energía media de Fallo.

**Fuente:** Software Minitab

### Optimización de propiedad Mecánica – Energía Media de Fallo

El análisis que representa el valor optimo se basa en obtener la mejor combinación en base a las variables de estudio y de acuerdo a los datos del respectivo ensayo se optimicen conjuntamente, por lo cual la optimización se da en las variables de entrada las cuales son: Orientación 1, Orientación 2 y Temperatura de curado, en tal sentido el valor optimo se presenta en la tabla 3.83, permitiendo de esa manera corroborar el respectivo análisis y optimización de la propiedad.

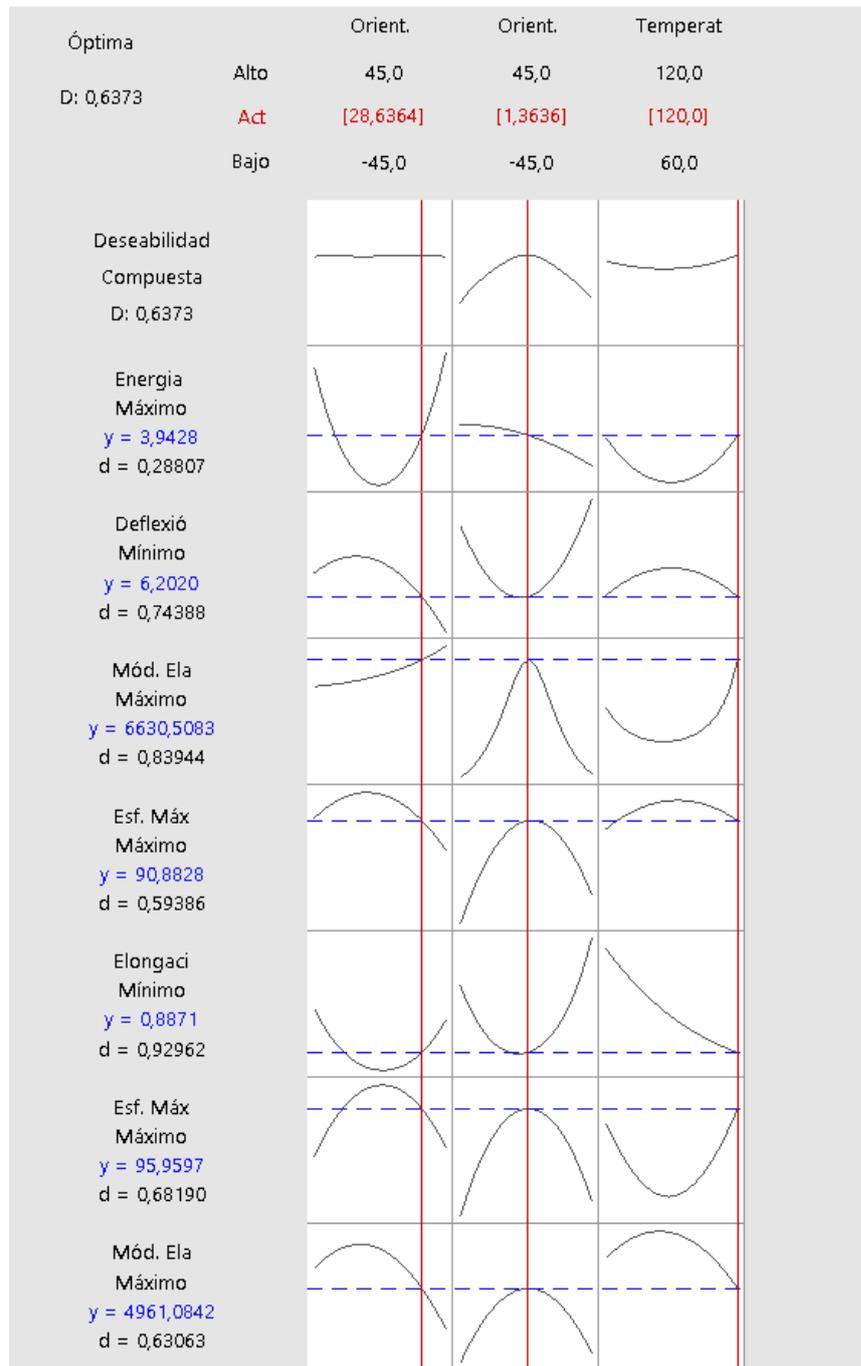
Tabla 3.83. Optimización de respuesta – Energía media de Fallo.

Variable de entrada	Valor de Configuración
Orientación 1	-45
Orientación 2	-45
Temperatura	60
Propiedad	Valor Optimizado
Energía de fallo	8,64413

Fuente: [Autor]

### 3.2.7. Optimización simultanea de repuestas de las propiedades mecánicas

Por medio del respectivo análisis de optimización de respuesta, se obtiene la deseabilidad global de los respectivos análisis, de tal manera la deseabilidad analizada es el compuesto de todas las propiedades mecánicas analizadas con anterioridad, en tal sentido se presenta de manera general el valor óptimo de la deseabilidad conforme al respectivo análisis.



**Figura 3.47.** Deseabilidad óptima de las propiedades Mecánicas del Material Híbrido.

**Fuente:** Software Minitab

La deseabilidad correspondiente posee un valor de 0.6373, es mayor que cero, por lo cual es deseable a la respuesta, los valores de la configuración óptima se presentan en la tabla 3.84, de tal forma la orientación 1, orientación 2 y temperatura de curado óptimos presentan correspondencia a la respuesta analizada. Los valores obtenidos mediante el análisis de varianza y la ecuación de regresión presente se denotan los resultados globales de la optimización del material híbrido.

Tabla 3.84. Optimización de respuesta – Material Híbrido.

<b>Variable de entrada</b>	<b>Valor de Configuración</b>
Orientación 1	28,6364
Orientación 2	1,3636
Temperatura	120
<b>Propiedad</b>	<b>Valor Optimizado</b>
Energía de fallo (J)	3,943
Deflexión (mm)	6,202
Mód. Elasticidad Flexión (MPa)	6631
Esf. Máximo Flexión (MPa)	90,88
Elongación (%)	0,8871
Mód. Elasticidad – Tracción (MPa)	4961
Esf. Máximo – Tracción (MPa)	95,96

Fuente: [Autor]

### 3.3.Verificación de hipótesis

Correspondiente a los análisis elaborados en cada propiedad mecánica se da por consiguiente la respectiva verificación de hipótesis “La aplicación del análisis estadístico DOE – MSR en el material híbrido con refuerzos de fibra de vidrio, fibra de chambira y de matriz de resina epoxi permitirá la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto”, de manera simultánea el análisis para la respectiva verificación (ANOVA) se desarrolla en la deseabilidad global del compuesto ya que abarca de manera general el análisis de la respectivas propiedades mecánicas de la respectiva investigación.

#### **Análisis de varianza en la Deseabilidad Global de las Propiedades Mecánicas**

El análisis de la Varianza de la Deseabilidad Global se ajusta a la configuración de la orientación de las capas y la temperatura de curado, el modelo obtenido estadísticamente se presenta en la tabla 3.85, donde se concluye de manera general la existencia de valores significativos en las configuraciones que van de 0.000 a 0.05 el cual nos permite tomar la mejor decisión de acuerdo al mejor ajuste respectivamente.

Tabla 3.85. Análisis de Varianza de la deseabilidad global de las propiedades mecánicas.

<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>Fuente</b>	<b>GL</b>	<b>SC Ajuste</b>	<b>MC Ajuste</b>	<b>Valor F</b>	<b>Valor p</b>
<b>Modelo</b>	9	1,0543	0,117144	1069,32	0,000
<b>Orientación 1</b>	1	0,0045	0,004449	40,61	0,000
<b>Orientación 2</b>	1	0,0023	0,002282	20,83	0,000
<b>Temperatura</b>	1	0,0220	0,022035	201,14	0,000
<b>Orientación 1*Orientación 1</b>	1	0,0004	0,000420	3,83	0,012
<b>Orientación 2*Orientación 2</b>	1	0,9320	0,932041	8507,93	0,000
<b>Temperatura*Temperatura</b>	1	0,0438	0,043833	400,12	0,000
<b>Orientación 1*Orientación 2</b>	1	0,0039	0,003905	35,64	0,000
<b>Orientación 1*Temperatura</b>	1	0,0065	0,006539	59,69	0,000
<b>Orientación 2*Temperatura</b>	1	0,0010	0,000990	9,03	0,006
<b>Error</b>	35	0,0038	0,000110		
<b>Falta de ajuste</b>	3	0,0038	0,001278	*	*
<b>Error puro</b>	32	0,0000	0,000000		
<b>Total</b>	44	1,0581			

Fuente: [Autor]

El modelo presenta un ajuste del 99.6% del análisis de varianza de la Deseabilidad Global, de tal manera el modelo presenta la efectividad de las propiedades mecánicas es así el valor – p del respectivo análisis nos permite concluir la hipótesis del respectivo trabajo de investigación.

Ho: La aplicación del análisis estadístico DOE – MSR en el material híbrido con refuerzos de fibra de vidrio, fibra de chambira y de matriz de resina epoxi no permitirá la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

H1: La aplicación del análisis estadístico DOE – MSR en el material híbrido con refuerzos de fibra de vidrio, fibra de chambira y de matriz de resina epoxi permitirá la optimización de las propiedades mecánicas del material compuesto.

**El modelo global del análisis de varianza presenta un valor – p de 0.000, de tal forma no se acepta la hipótesis nula.** Las diferencias de significancia presentes en los respectivos tratamientos analizados, se entiende que el respectivo estudio permite presentar el caso óptimo, por tal manera se da a concluir que la aplicación del Análisis por medio de la Metodología de Superficie de Respuesta (DOE – MSR) admitió optimizar las respectivas propiedades mecánicas (Tracción, Flexión, Impacto) del material híbrido con refuerzos de fibra vidrio, fibra chambira y de matriz de resina epoxi.

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones

La presente investigación experimental fue desarrollada bajo la aplicación de la metodología estadística en diseño de experimentos DOE - MSR, para la optimización de las propiedades mecánicas de tracción, flexión, impacto del material híbrido que se conformó por refuerzos del tejido de la fibra natural de chambira, fibra de vidrio y matriz de resina epoxi tal compuesto se dio con los factores de entrada como son orientación 1, orientación 2 de la fibra natural y temperatura de curado de esa manera y conforme a los resultados obtenidos en la respectivos análisis del trabajo experimental se llega a obtener las siguientes conclusiones:

- Por medio de la metodología de superficie de respuesta se creó el diseño de Box Behnken, involucrando de esa manera los factores de entrada los cuales poseen los grados de orientación destinados con los niveles bajo, medio y alto (-45,0,45 grados) y su temperatura de curado con niveles semejantes (60,90,120 grados centígrados) obteniendo así tres replicas por medio de 15 corridas base, dando un total de 45 corridas para cada propiedad mecánica a ser ensayada.
- Con el proceso de bolsa de vacío se obtuvo el respectivo conformado del material híbrido, deliberando los excesos de matriz en el Peel Fly y Breather correspondientemente esto permitió tener mejor vínculo entre los refuerzos de las fibras de chambira alojadas entre los diferentes niveles.
- Tras la ejecución de los respectivos ensayos mecánicos de Tracción, Flexión e Impacto acorde a la Normativa de ensayos para materiales compuestos ASTM D3039/D3039M – 17, ASTM D7264/D7264M – 21 y ASTM D5628 – 18, bajo la terminología de los incisos 3.1, 3.2 y 3.3, se consiguió los resultados de las propiedades mecánicas de las cuales fueron ensayadas un total de 135 probetas correspondientemente a la norma.
- Se concluye entre las propiedades mecánicas obtenidas como son Esfuerzo máximo en tracción – flexión, Módulos de Elasticidad en tracción y flexión, porcentaje de elongación, Deflexión y energía media de fallo se elaboró la comprobación de las pruebas de normalidad, igualdad de varianzas e independencia de residuos, constatando de manera general en el análisis el valor de p sea mayor de 0,05 para cumplir con los respectivos valores, en tal proceder,

en las propiedades de Esfuerzo máximo de tracción y flexión, módulo de elasticidad en flexión y energía media de fallo no cumplen el supuesto paramétricos, por lo que se elaboró la transformación de los datos por la transformada de Box – Cox dando lugar al cumplimiento de las respectivas pruebas.

- La deseabilidad global del análisis posee el valor de 0,6373, los resultados de optimización de las propiedades mecánicas para el esfuerzo máximo de tracción son de 95,96 MPa, Modulo de elasticidad en tracción es de 4961 MPa, porcentaje de elongación es de 0,8871 %, Esfuerzo máximo en flexión es de 90,88 MPa, Modulo de Elasticidad en flexión es de 6631 MPa, Deflexión 6,202 mm y en la energía media de fallo el valor de 3,94. (J).

#### **4.2.Recomendaciones**

- Es recomendable elaborar investigaciones previas al estudio basado en la metodología del diseño de superficies, para alcanzar el objetivo del investigador durante todo el proceso de elaboración del respectivo trabajo.
- En el proceso del conformado del material se debe considerar el pegado total de la bolsa de vacío para evitar deserción de la parte interna del conformado del material, el tiempo necesario para una completa adherencia del material es de 24 horas.
- El tiempo de curado en el horno no debe exceder el tiempo límite de 2 horas de curado, para evitar el calcinado erróneo de las respectivas laminas del material hibrido.
- Las probetas a ser cortadas deben tener las superficies planas para evitar ineficiencia en los cortes de las respectivas muestras, posterior a ello se debe codificar todas las muestras para ser identificadas en el ensayo mecánico necesario.
- Para obtener la optimización global del material hibrido, se debe considerar los datos reales de los respectivos ensayos mecánicos, de los cuales servirán para tener mayor eficiencia y confianza en los respectivos análisis.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] H. Voltz, A. Filho and R. Vilarim, "Hybrid composites with glass fiber and natural fibers of sisal, coir, and luffa sponge", *Composite materials*, vol. 55, no 5, pp. 717-728, sep. 2020.
- [2] A. Tamayo Duque, "Obtención y caracterización de materiales compuestos de matriz poliéster reforzados con fibra de cabuya mediante estratificación", trabajo de fin de grado, Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [3] L. Cañas, J. Tristanchó y J. Taborda, "Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio", *DYNA*, vol. 84, no 202, pp. 34 - 41, sep. 2017.
- [4] A. Dulaimy, A. Fares, A. Sammarraie and M. Atteaa, "Effect of fiberglass form on the tensile and bending characteristic of epoxy composite material", *AIMS Materials Scien*, vol. 7, no 5, pp. 583 - 595, aug. 2020.
- [5] A. Fernández, "Aplicación de técnicas de modelado para la optimización de la energía generada en pilas de combustible microbianas", trabajo fin de grado Univ. Pol. Cartagena, 2019.
- [6] H. Erazo, "Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abacá en matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración", trabajo fin de grado Univ. Técnica de Ambato, 2019.
- [7] M. K. a. H. Makil, "Application of Design of Experiment (DOE) for Parameters Optimization in Compression Moulding for Flax Reinforced Biocomposites", *ELSEVIER*, vol. 5, no 19, pp. 433 - 440, aug. 2016.
- [8] P. Askeland, *Ciencia e ingeniería de los materiales*, México: Thomson, 2004.
- [9] A. Besednjak, *Materiales compuestos - Procesos de fabricación de embarcaciones*, Barcelona: UPC Press, 2005.
- [10] G. Espinoza, y J. Hidalgo, "CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS PARA LA APLICACIÓN EN LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO MONOPLAZA TIPO FORMULA SAE", trabajo de fin de grado, Univ. Pol. Salesiana, Cuenca, 2016.

- [11] J. Peinado, "Estimación Numérica de propiedades Mecánicas del Material Compuesto Reforzado por Partículas Mediante Elementos Finitos", trabajo de fin de grado Madrid Univ. Carlos III de Madrid, 2015.
- [12] F. Stupenengo, "Materiales compuestos", en Materiales y materias primas, Buenos Aires, Argentina: INET, 2011, pp. 7 - 16.
- [13] M. Barrera, M. Hidalgo y J. Mina "Compuestos Laminados de Matriz Polimérica Reforzados con Fibras Naturales: Comportamiento Mecánico", Scientia et Technica, vol. 17, no 51, pp. 51-59, aug. 2012.
- [14] M. Criado, C. Vera, P. Downey y M. Soto "Influencia de la fibra de vidrio en las propiedades físico - mecánicas del hormigón", Ingeniería de Construcción, vol. 20, no 3, pp. 201 - 212, dec. 2005.
- [15] J. Gil, M. Camacho y S. Barroso, Introducción al conocimiento de los materiales y a sus aplicaciones, Madrid: UNED, 2010.
- [16] H. Sarrión, "Propiedades y aplicaciones de los polimeros sintéticos en la construcción", trabajo de fin de grado, Univ. Pol. de Valencia, 2018.
- [17] C. Pérez, "Naval Composites: Los materiales compuestos y la industria naval", trabajo de fin de grado, Univ. Pol. Catalunya, 2016.
- [18] O. Rodríguez, "Deposito de nanotubos de carbono sobre fibras de aramida para el monitoreo resistivo de deformación y falla en materiales compuestos laminados jerárquicos de polipropileno reforzados con fibras de aramida y nanotubos de carbono, tesis doctoral, Cent. Invest. Cient. de Yucatán, 2017.
- [19] C. Páez, "OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIPROPILENO REFORZADO CON FIBRAS DE ABÁCA MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN" trabajo de fin de grado Esc. Pol. Nacional, 2007.
- [20] A. Tualombo, "DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO A PARTIR DE FIBRAS NATURALES PARA LA UTILIZACION EN VIVIENDAS", trabajo de fin de grado, Univ. FFAA - ESPE, 2015.
- [21] C. Villegas y B. González, "FIBRAS TEXTILES NATURALES SUSTENTABLES Y NUEVOS HÁBITOS DE CONSUMO", Redalyc.org, vol. 8, no 13, pp. 31 - 45, nov. 2013.

- [22] C. Pérez González, "PROPUESTA DE UN SOPORTE BASADO EN FIBRA DE CARBONO Y RESINAS TERMOESTABLES", tesis doctoral, Univ. de Madrid, 1997.
- [23] M. Vázquez, "DESARROLLO DE MATERIALES COMPUESTOS JERÁRQUICOS BASADOS EN FIBRA DE CARBONO CONTINUA Y NANOPARTÍCULAS DE GRAFENO", tesis doctoral Univ. de Madrid, 2017.
- [24] A. Guemes y N. Martín, Ciencia de materiales para ingenieros, Madrid: PEARSON, 2012.
- [25] V. Radeva, "MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRA", Ciencia y Sociedad, vol. 31, no 4, pp. 544 - 564, oct. 2006.
- [26] G. Morales, "PROCESADO Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADOS CON NANOFIBRAS DE CARBONO PARA APLICACIONES TECNOLÓGICAS", tesis doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 2008.
- [27] J. Arruti, "LA TÉCNICA DE BOLSA DE VACÍO EN CÁMARA DE VACÍO PARA LA FABRICACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ EPOXI", INGENIERÍA UC, vol. 23, no 1, pp. 22 - 29, ene. 2016.
- [28] V. Gómez, "CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DE MATERIALES COMPUESTOS MANUFACTURADOS FUERA DE AUTOCLAVE", trabajo de fin de máster, Posgrado Inter. de Ciencia y Tecnología - Querétaro, 2017.
- [29] U. Pineda, "CARACTERIZACIÓN DE PROCESOS DE INFUSIÓN DE RESINA MEDIANTE VISIÓN ARTIFICIAL", tesis doctoral, Univ. CEU Cardenal Herrera, 2013.
- [30] H. Gutiérrez y Román de la Vara, Análisis y diseño de experimentos, México: McGraw-Hill, 2008.
- [31] E. Hernández, "ESTUDIO COMPARATIVO DE DISEÑOS EXPERIMENTALES DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE FACTORES LIMITANTES EN PROCESOS INDUSTRIALES", trabajo de fin de máster, Ints. Tecn. de Monterrey, 2008.
- [32] J. Cabrera, "Optimización de variables de proceso para la reducción del tiempo de reproceso en el reactor tipo Batch, en la manufactura de adhesivos PU por

medio de diseño experimental MSR", trabajo de fin de máster, CIATEC, México, León, 2014.

- [33] V. Bacio Parra, "Optimización Multi-Objetivo en el Problema de Metodología de Superficie Multi-Respuesta", trabajo de fin de máster, CIMAT, México, Guanajuato, 2007.
- [34] R. Hernán, *Fundamentos y ensayos en materiales metálicos*, Argentina; Buenos Aires: MDC MACHINE S.A, 2006.
- [35] X. Rodríguez, "Propiedades mecánicas Ensayos", en *Ensayos físicos*, Madrid: SINTESIS, 2019, pp. 46 - 55.

## ANEXOS

### ANEXO 1



### ANEXO 2



## ANEXO 3



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

## ANEXO 4



★ ★ ★

**PR2032**  
**Laminating Resin**  
**For Composite Parts**

★ ★ ★

**NEW HARDENER**

### DESCRIPTION

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

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

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

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

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

### PRODUCT SPECIFICATIONS

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

### HANDLING and CURING

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

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

Page 1

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

## PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

### TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



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

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

### PACKAGING WEIGHTS



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

### SAFETY and HANDLING

PTM&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, face shield or other items as required to prevent contact with the skin. In case of skin contact, immediately wash with soap and water, followed by a rinse of the area with vinegar, and then a further wash with soap and water. The vinegar will neutralize the hardener and lessen the chances of long term effects. Use goggles, a face shield, safety glasses or other items as required to prevent contact with the eyes. If material gets in to the eyes, immediately flush with water for at least 15 minutes and call a physician. Generally, keep the work area as uncluttered and clean as possible, and clean up any minor spills immediately to prevent accidental skin contact at a later time. Keep tools clean and properly stored. Dispose of trash and empty containers properly. Do not use any of these types of products until Material Safety Data Sheets have been read and understood.

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



## PTM&W Industries, Inc.

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

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

# ANEXO 5

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



Designation: D3039/D3039M – 17

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

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

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

### 1. Scope

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

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

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

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

### 2. Referenced Documents

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

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

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

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

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

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

D3878 Terminology for Composite Materials

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

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

E83 Practice for Verification and Classification of Extensometer Systems

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

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

E132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature

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

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

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

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

E1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages

### 3. Terminology

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

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

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

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

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

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

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

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

### 3.3 Symbols:

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

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

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

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

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

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

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

*h*—coupon thickness.

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

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

*n*—number of coupons per sample population.

*P*—force carried by test coupon.

*P<sup>f</sup>*—force carried by test coupon at failure.

*P<sup>max</sup>*—maximum force carried by test coupon before failure.

*s<sub>n-1</sub>*—standard deviation statistic of a sample population for a given property.

*w*—coupon width.

*x<sub>i</sub>*—test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

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

$\delta$ —extensional displacement.

$\epsilon$ —general symbol for strain, whether normal strain or shear strain.

$\epsilon$ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

$\sigma$ —normal stress.

$\nu$ —Poisson's ratio.

## 4. Summary of Test Method

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

## 5. Significance and Use

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

- 5.1.1 Ultimate tensile strength,
- 5.1.2 Ultimate tensile strain,
- 5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,
- 5.1.4 Poisson's ratio, and
- 5.1.5 Transition strain.

## 6. Interferences

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

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

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

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

## 7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

**NOTE 2**—Grip surfaces that are lightly serrated, approximately 1 serration/mm [25 serrations/in.], have been found satisfactory for use in wedge-action grips when kept clean and sharp; coarse serrations may produce grip-induced failures in 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 ( $B_y$ ) and width plane ( $B_z$ ) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

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

**7.2.5.3** The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1 and Eq 2 use these indicated strains to calculate the ratio of the percentage of bending strain to average extensional strain for each bending plane of the alignment coupon. Plotting percent bending versus axial average strain is useful in understanding trends in the bending behavior of the system.

**7.2.5.4** Problems with failures during gripping would be reason to examine bending strains during the gripping process

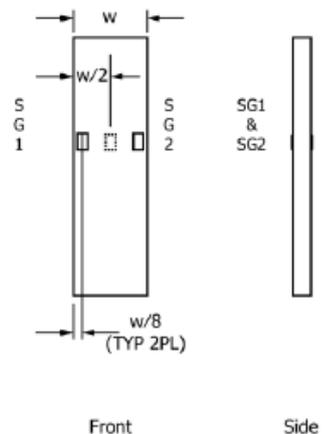


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation force range for the typical transducer location. Excessive failures near the grips would be reason to evaluate bending strains near the grip at high loading levels. While the maximum advisable amount of system misalignment is material and location dependent, good testing practice is generally able to limit percent bending to a range of 3 to 5 % at moderate strain levels (>1000  $\mu\epsilon$ ). A system showing excessive bending for the given application should be readjusted or modified.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_2}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

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

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, %;
- $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ , and  $\epsilon_3$  = indicated longitudinal strains displayed by Gages 1, 2, and 3, respectively, of Fig. 1,  $\mu\epsilon$ ; and
- $\epsilon_{ave}$  =  $((\epsilon_1 + \epsilon_2)/2 + \epsilon_3)/2$

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 ( $\epsilon_{ave}$ ) 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  $\epsilon_{ave}$  of no less than 1000  $\mu\epsilon$ . If these conditions can not be met, the test configuration should be adjusted prior to performing further system alignment evaluation.

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

**7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection**—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].<sup>3</sup> Gage calibration certification shall comply with Test Methods E251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the

weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.<sup>4</sup>

**7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites** in accordance with Practice E1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

**7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials.** Resistances of 350  $\Omega$  or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

**7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere.** Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

**7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage.** The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 14.

**7.3.2 Extensometers**—For most purposes, the extensometer gage length should be in the range of 10 to 50 mm [0.5 to 2.0 in.]. Extensometers shall satisfy, at a minimum, Practice E83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E83. For extremely stiff materials, or for measurement of transverse strains, the fixed error allowed by Class B-1 extensometers may be significant, in which case Class A extensometers should be considered. The extensometer shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing, and the weight of the extensometer should not induce bending strains greater than those allowed in 6.3.

NOTE 4—It is generally less difficult to perform strain calibration on extensometers of longer gage length as less precision in displacement is required of the extensometer calibration device.

**7.4 Conditioning Chamber**—When conditioning materials at nonlaboratory environments, a temperature/vaporlevel-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to

<sup>3</sup> A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- $\Omega$  resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

<sup>4</sup> Tuttle, M. E. and Brinson, H. F., "Resistance-Foil Strain-Gage Technology as Applied to Composite Materials," *Experimental Mechanics*, Vol 24, No. 1, March 1984; pp. 54-65; errata noted in Vol 26, No. 2, June 1986, pp. 153-154.

within  $\pm 3^{\circ}\text{C}$  [ $\pm 5^{\circ}\text{F}$ ] and the required relative vapor level to within  $\pm 3\%$ . Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

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

**8. Sampling and Test Specimens**

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

**Note 5**—If specimens are to undergo environmental conditioning to equilibrium, and are of such type or geometry that the weight change of the material cannot be properly measured by weighing the specimen itself (such as a tabbed mechanical coupon), then use another traveler coupon of the same nominal thickness and appropriate size (but without tabs) to determine when equilibrium has been reached for the specimens being conditioned.

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

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

**8.2.1 General Requirements:**

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

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

**TABLE 1 Tensile Specimen Geometry Requirements**

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

<sup>a</sup> See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

**8.2.2 Specific Recommendations:**

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

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

**TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations<sup>a</sup>**

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, <sup>b</sup>
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [ 7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

<sup>a</sup> Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

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

**8.2.2.4 Friction Tabs**—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the force into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see [Note 2](#)) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used must be able to withstand significant compressive forces. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.

**8.2.2.5 Tab Material**—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]ns laminate configuration. The tab material is commonly applied at 45° to the force direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

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

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

where:

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

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

**8.2.3 Detailed Examples**—The minimum requirements for specimen design discussed in [8.2.1](#) are by themselves insuffi-

cient to create a properly dimensioned and toleranced coupon drawing. Dimensionally toleranced specimen drawings for both tabbed and untabbed forms are shown as examples in [Fig. 2](#) (SI) and [Fig. 3](#) (inch-pound). The tolerances on these drawings are fixed, but satisfy the requirements of [Table 1](#) for all of the recommended configurations of [Table 2](#). For a specific configuration, the tolerances on [Fig. 2](#) and [Fig. 3](#) might be able to be relaxed.

### 8.3 Specimen Preparation:

**8.3.1 Panel Fabrication**—Control of fiber alignment is critical. Improper fiber alignment will reduce the measured properties. Erratic fiber alignment will also increase the coefficient of variation. The specimen preparation method shall be reported.

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

**8.3.3** If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels being tension tested. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods [D792](#). Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method [D3171](#), or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method [D2584](#). The void content equations of Test Methods [D2734](#) are applicable to both Test Method [D2584](#) and the matrix digestion procedures.

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

## 9. Calibration

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

## 10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method [D5229/D5229M](#); however, if the test requestor does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, no conditioning is required and the test specimens may be tested as prepared.

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

**NOTE 6**—The term moisture, as used in Test Method [D5229/D5229M](#), includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

- DRAWING NOTES:
1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
  2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  
NO DECIMAL     .1     .3  
                         ±.3     ±.1     ±.3
  3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF  $\pm .5^\circ$ .
  4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO  $\perp$  WITHIN  $\pm .5^\circ$ .
  5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6- $\sqrt{r}$  (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  $\perp$ , 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.

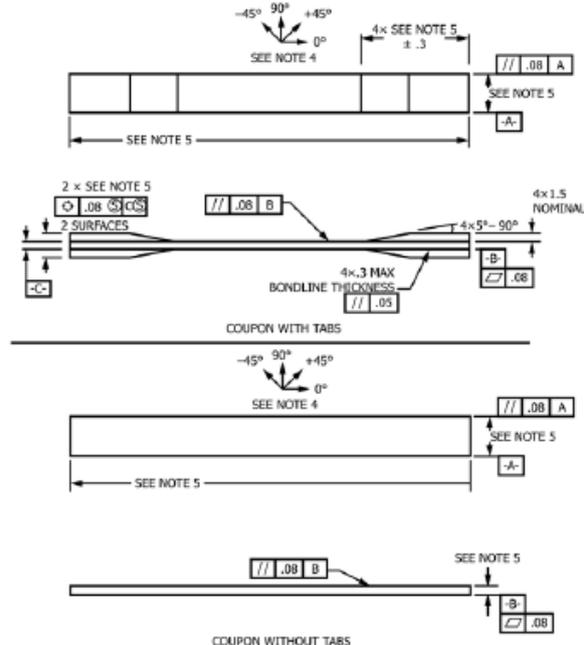


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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

## 11. Procedure

### 11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

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

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

### 11.2 General Instructions:

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

11.2.2 Following final specimen machining, measure the specimen. The thickness and width shall be measured at three places in the gage section and report the averages of the thickness and width for the calculation of area to the accuracy in 7.1. Determine the specimen area as  $A = w \times h$ . Record the average area in units of  $\text{mm}^2$  ( $\text{in.}^2$ ).

NOTE 8—The test requester may request that additional measurements be performed after the machined specimens have gone through any conditioning or environmental exposure.

11.3 *Speed of Testing*—Set the speed of testing to effect a nearly constant strain rate in the gage section. If strain control is not available on the testing machine, this may be approximated by repeated monitoring and adjusting of the rate of force application to maintain a nearly constant strain rate, as measured by strain transducer response versus time. The strain rate should be selected so as to produce failure within 1 to 10 min. If the ultimate strain of the material cannot be reasonably estimated, initial trials should be conducted using standard

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:  

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ±.5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN ±.5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 64V (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICRONDINCHES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [A], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

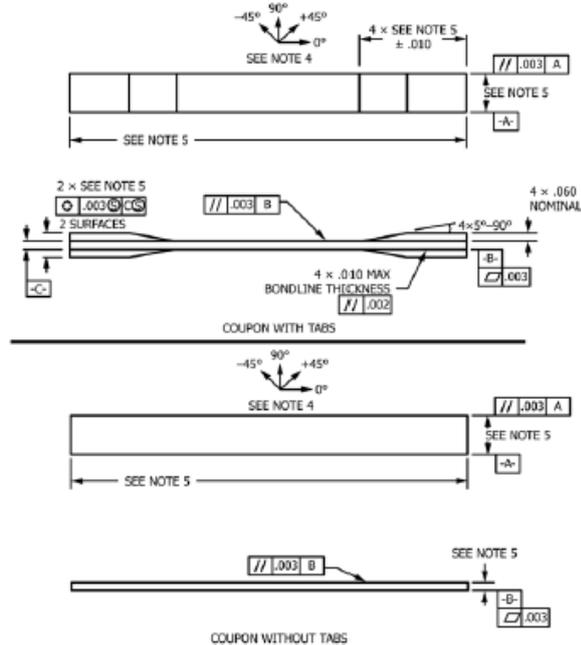


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

speeds until the ultimate strain of the material and the compliance of the system are known, and the strain rate can be adjusted. The suggested standard speeds are:

11.3.1 *Strain-Controlled Tests*—A standard strain rate of 0.01 min<sup>-1</sup>.

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

**Note 9**—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as elevated temperature testing of a moist specimen place unre-

alistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded. In the case where there is no fluid exposure control, the percentage moisture loss of the specimen prior to test completion may be estimated by placing a conditioned traveler coupon of known weight within the test chamber at the same time as the specimen is placed in the chamber. Upon completion of the test, the traveler coupon is removed from the chamber, weighed, and the percentage weight calculated and reported.

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

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

**NOTE 10**—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of emery cloth (suggested grit of 80 to 180) between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

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

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 4, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (4)$$

where:

- $\epsilon_f$  = indicated strain from front transducer,  $\mu\epsilon$ ;
- $\epsilon_b$  = indicated strain from back transducer,  $\mu\epsilon$ ; and
- $B_y$  = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the force to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record force versus crosshead displacement (and force versus strain, if extensometers are utilized) continuously or at frequent regular intervals. For this test method, a sampling rate of 2 to 3 data recordings per second, and a target minimum of 100 data points per test are recom-

mended. If a transition region or initial ply failures are noted, record the force, strain, and mode of damage at such points. Record the method used to determine the initial failure (visual, acoustic emission, etc.). If the specimen is to be failed, record the maximum force, the failure force, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

**NOTE 11**—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes force versus head displacement data and force versus time data.

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

12. Validation

12.1 Values for ultimate properties shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious flaw, unless such flaw constitutes a variable being studied. Retests shall be performed for any specimen on which values are not calculated.

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

13. Calculation

13.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 5 and report the results to three significant figures. If the tensile modulus is to be calculated, determine the tensile stress at each required data point using Eq 6.

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

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

where:

- $F^{tu}$  = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- $P^{max}$  = maximum force before failure, N [lbf];
- $\sigma_i$  = tensile stress at *i*th data point, MPa [psi];
- $P_i$  = force at *i*th data point, N [lbf]; and
- $A$  = average cross-sectional area from 11.2.2, mm<sup>2</sup> [in.<sup>2</sup>].

13.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 7 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (7)$$

where:

- $\epsilon_i$  = tensile strain at *i*th data point,  $\mu\epsilon$ ;
- $\delta_i$  = extensometer displacement at *i*th data point, mm [in.]; and
- $L_g$  = extensometer gage length, mm [in.].

13.3 *Tensile Modulus of Elasticity*:

**NOTE 12**—To minimize potential effects of bending it is recommended

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending $\mu\epsilon$
Start Point $\mu\epsilon^A$	End Point $\mu\epsilon$	
1000 <sup>B</sup>	3000	2000

<sup>A</sup> 1000  $\mu\epsilon$  = 0.001 absolute strain.

<sup>B</sup> This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fall below 6000  $\mu\epsilon$ , a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

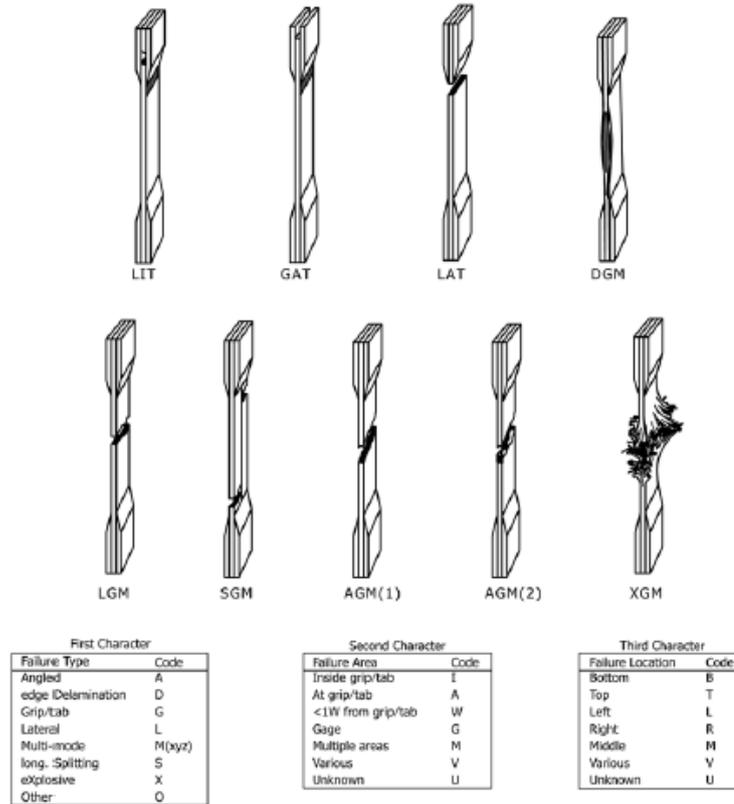


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

13.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 8. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

13.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

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

where:

- $E^{\text{chord}}$  = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$  = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\varepsilon$  = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

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

NOTE 13—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

13.4 *Poisson's Ratio:*

NOTE 14—If bonded resistance strain gages are being used, the error

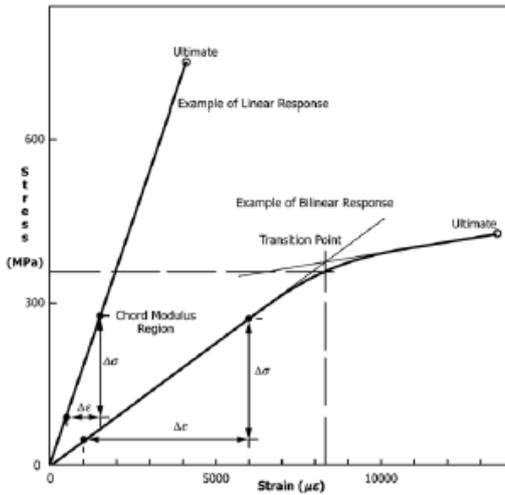


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson's ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

13.4.1 *Poisson's Ratio By Chord Method*—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied force),  $\epsilon_t$ , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied force),  $\epsilon_l$ , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 9 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

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

where:

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

13.4.2 *Tensile Poisson's Ratio (Other Definitions)*—Other definitions of Poisson's ratio may be evaluated and reported at the user's direction. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

13.5 *Transition Strain*—Where applicable, determine the transition strain from either the bilinear longitudinal stress versus longitudinal strain curve or the bilinear transverse strain versus longitudinal strain curve. Create a best linear fit or chord line for each of the two linear regions and extend the lines until they intersect. Determine to three significant digits the longi-

tudinal strain that corresponds to the intersection point and record this value as the transition strain. Report also the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined. A graphical example of transition strain is shown in Fig. 5.

13.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

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

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

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

where:

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

## 14. Report

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

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

- 14.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.
- 14.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.
- 14.1.15 Dimensions of each test specimen.
- 14.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.
- 14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.
- 14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.
- 14.1.19 Number of specimens tested.
- 14.1.20 Speed of testing.
- 14.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.
- 14.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.
- 14.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.
- 14.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.
- 14.1.25 Individual strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure force was less than the maximum force before failure.
- 14.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.
- 14.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.
- 14.1.28 If another definition of modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.
- 14.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

- 14.1.30 If another definition of Poisson's ratio is used in addition to the chordwise definition, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.
- 14.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.
- 14.1.32 If transition strain is determined, the method of linear fit (if used) and the strain ranges over which the linear fit or chord lines were determined.
- 14.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.
- 14.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

**15. Precision and Bias<sup>5</sup>**

- 15.1 *Precision:*
  - 15.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D3039/D3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.
  - 15.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of force application and displacement/strain measurement, speed of force application, alignment of test specimen with applied force, parallelism of the grips, grip pressure, and type of force control (displacement, strain, or force).
  - 15.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).
  - 15.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D3039/D3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.
  - 15.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.
  - 15.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

**TABLE 4 Precision Statistics**

Material	$\bar{x}$	$s_x$	$S_y$	$S_H$	$S/\bar{x}, \%$	$S_H/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.36	0.29	0.37	0.44	2.96	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

<sup>5</sup> A research report is available from ASTM International Headquarters. Request RR:D30-1003.

15.1.7 An interlaboratory test program was conducted where an average of five specimens each, of six different materials and lay-up configurations, were tested by nine different laboratories.<sup>6</sup> Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 4 are defined as:

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

15.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of  $S_r/X$  and  $S_R/X$  represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability

**TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation**

Parameter	Average of $S_r/X$ , %	Average of $S_R/X$ , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

ity (within laboratory precision) and reproducibility (between laboratory precision) of the tension test parameters. Overall, this indicates that the failure strain measurements exhibit the least repeatability and reproducibility of all the parameters measured while modulus was found to provide the highest repeatability and reproducibility of the parameters measured.

15.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, material and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

## 16. Keywords

16.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

<sup>6</sup> International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D3039/D3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

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

## ANEXO 6

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



Designation: D7264/D7264M – 21

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

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

#### 1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

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

#### 2. Referenced Documents

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

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

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

D883 Terminology Relating to Plastics

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

D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins

D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics

D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials

D3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

##### 2.2 Other Documents:<sup>3</sup>

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

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

Current edition approved Jan. 1, 2021. Published February 2021. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2015 as D7264/D7264M – 15. DOI: 10.1520/D7264\_D7264M-21.

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

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

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

3. Terminology

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

3.3 Symbols:

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

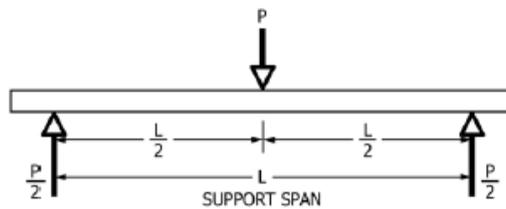


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

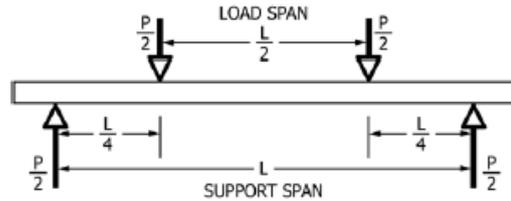


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.

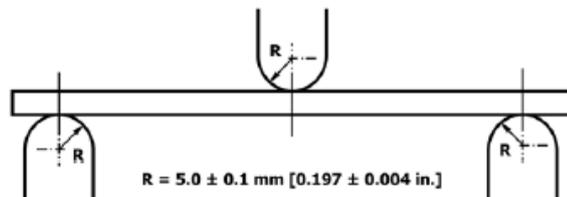
6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the ±45° direction. The 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.

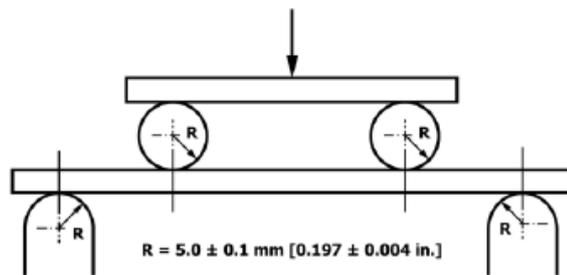
**7. Apparatus**

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



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



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

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

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

indentation and burrs, with all sharp edges relieved. The radii of the loading nose and supports shall be  $5.0 \pm 0.1$  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  $\pm 0.02$  mm [ $\pm 0.001$  in.] is adequate for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of  $\pm 0.1$  mm [ $\pm 0.004$  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  $\pm 1$  % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

**7.5 Conditioning Chamber**—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within  $\pm 3$  °C [ $\pm 5$  °F] and the required vapor level to within  $\pm 3$  % 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  $\pm 3$  °C [ $\pm 5$  °F] and the required vapor level to within  $\pm 5$  % relative humidity.

**8. Test Specimens**

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

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

**DRAWING NOTES:**

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

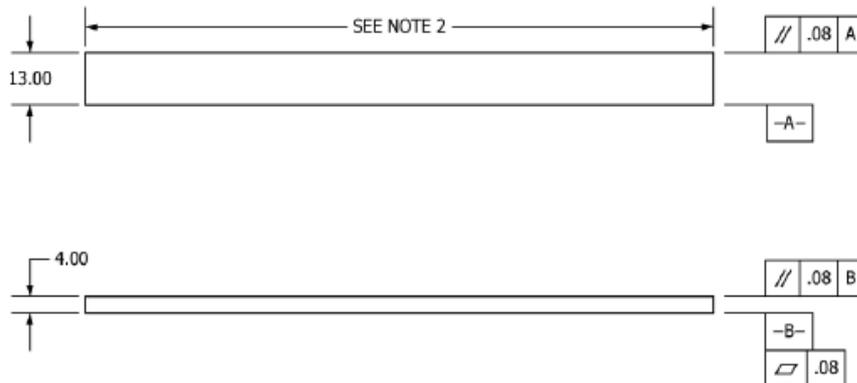


FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

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

DRAWING NOTES:

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

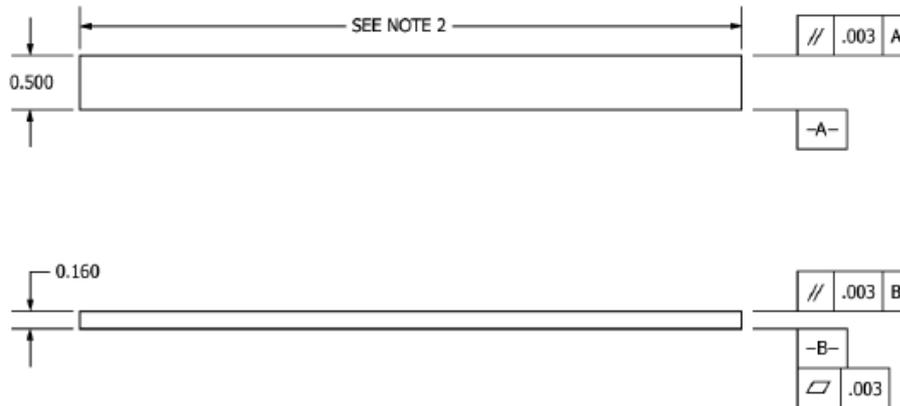


FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

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

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

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

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

8.3 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels as the test samples. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D2584. Void content may be evaluated from the equations of Test Method D2734 and is applicable to both Test Methods D2584 and D3171.

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

### 9. Number of Test Specimens

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

### 10. Conditioning

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

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

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

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

### 11. Procedure

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

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

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

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

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

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

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

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

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

12. Validation

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

13. Calculation

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

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

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

where:

- $\sigma$  = 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.<sup>4</sup> Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

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

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

where:

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

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

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

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

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

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

where:

- $\varepsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- $\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],
- $L$  = support span, mm [in.], and
- $h$  = thickness of beam, mm [in.].

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

$$\varepsilon = \frac{48\delta h}{11L^2} \quad (4)$$

<sup>4</sup> For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

where:

- $\delta$  = mid-span deflection, mm [in.],
- $\varepsilon$  = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- $L$  = support span, mm [in.], and
- $h$  = thickness of beam, mm [in.].

**13.7 Flexural Modulus of Elasticity:**

**13.7.1 Flexural Chord Modulus of Elasticity**—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (5)$$

where:

- $E_f^{chord}$  = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
- $\Delta\sigma$  = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
- $\Delta\varepsilon$  = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

**13.7.1.1** Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

Note 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.<sup>5</sup> For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

**13.7.2 Flexural Secant Modulus of Elasticity**—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

**13.7.2.1 For Procedure A:**

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- $E_f^{secant}$  = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- $L$  = support span, mm [in.],
- $b$  = width of beam, mm [in.],
- $h$  = thickness of beam, mm [in.] and
- $m$  = slope of the secant of the force-deflection curve.

**13.7.2.2 For Procedure B:**

<sup>5</sup> For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

$$E_f^{corrected} = \frac{11L^3m}{64bh^3} \quad (7)$$

where  $E_f^{corrected}$ ,  $m$ ,  $L$ ,  $b$ , 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:

$$x = \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{x}$$

where:

- $x$  = average value or sample mean,
- $x_i$  = value of single measured or derived property,
- $n$  = number of specimens,
- $s_{n-1}$  = estimated standard deviation,
- $CV$  = coefficient of variation in percentage.

#### 14. Report

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

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

14.1.12 Method of preparing the test specimens, including specimen labeling scheme and method, specimen geometry, sampling method, and specimen cutting method.

14.1.13 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

14.1.14 Type of test machine, grips, jaws, alignment data, and data acquisition sampling rate and equipment type.

14.1.15 Dimensions of each specimen to at least three significant figures, including specimen width, thickness, and overall length.

14.1.16 Conditioning parameters and results, and the procedure used if other than that specified in this test method.

14.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

14.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

14.1.19 Number of specimens tested.

14.1.20 Load-span length, support-span length, and support span-to-thickness ratio.

14.1.21 Loading and support nose type and dimensions.

14.1.22 Speed of testing.

14.1.23 Transducer placement on the specimen, transducer type, and calibration data for each transducer used.

14.1.24 Force-deflection curves for each specimen. Note method and offset value if toe compensation was applied to force-deflection curve.

14.1.25 Tabulated data of flexural stress versus strain for each specimen.

14.1.26 Individual flexural strengths and average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population. Note if the failure load was less than the maximum load prior to failure.

14.1.27 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.28 Strain range used for the flexural chord modulus of elasticity determination.

14.1.29 Individual values of flexural chord modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.30 If an alternate definition of flexural modulus of elasticity is used in addition to chord modulus, describe the method used, the resulting correlation coefficient (if applicable), and the strain range used for the evaluation.

14.1.31 Individual values of the alternate (see above) flexural modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

14.1.32 Individual maximum flexural stresses, and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) values for the population. Note any test in which the failure load was less than the maximum load before failure.

14.1.33 For flexural modulus only tests: maximum load applied, strain at maximum applied load, and calculated flexural modulus of elasticity ( $E_f$ ).

14.1.34 Individual maximum flexural strains and the average, standard deviation, and coefficient of variation (in

percent) values for the population. Note any test that was truncated to 2 % strain.

14.1.35 Failure mode and location of failure for each specimen.

**15. Precision and Bias**

15.1 *Precision*—The data required for the development of precision is not currently available for this test method.

15.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

**16. Keywords**

16.1 fiber-reinforced composites; flexural properties; stiffness; strength

**ANNEXES**

**(Mandatory Information)**

**A1. MEASURING AND SETTING SPAN**

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

*A1.2 Measurement of Span:*

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

*A1.3 Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*

—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

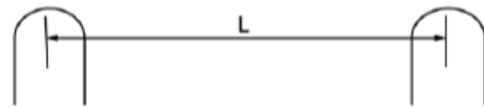


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

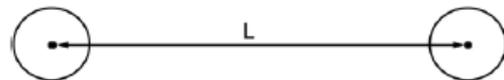


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

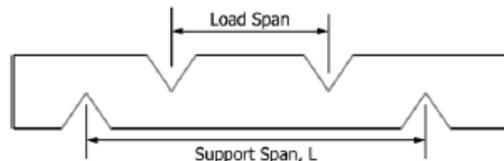


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be

determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

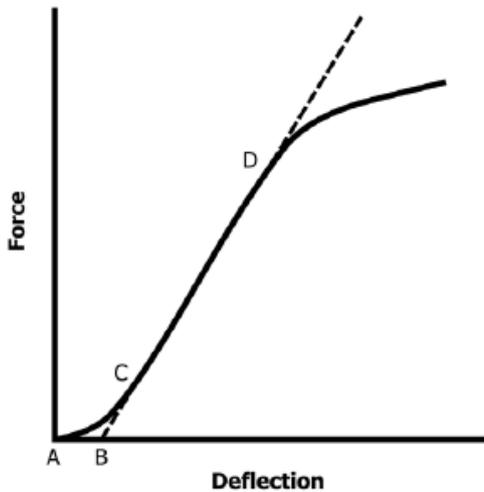


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

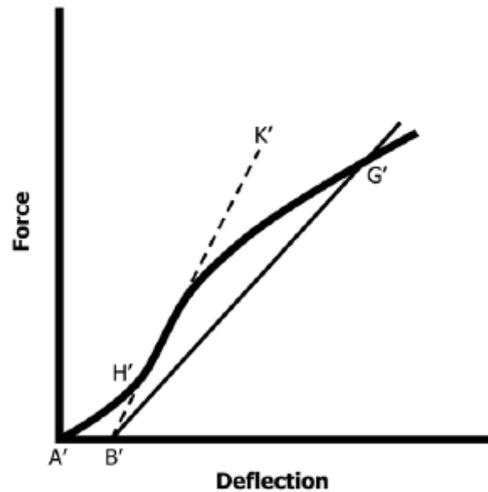


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

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

## ANEXO 7

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



Designation: D5628 – 18

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

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

#### 1. Scope\*

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

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

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

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the 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:*<sup>2</sup>

D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing

D883 Terminology Relating to Plastics

D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics

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

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved May 1, 2018. Published June 2018. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2010 as D5628 – 10. DOI: 10.1520/D5628-18.

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

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

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

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

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

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

2.2 *ISO Standards:*<sup>3</sup>

ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing

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

#### 3. Terminology

3.1 *Definitions:*

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

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

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

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2950, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Tue Mar 23 10:09:29 EDT 2021  
Downloaded/printed by

Escuela Politecnica Nacional (Escuela Politecnica Nacional) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

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).<sup>4</sup> 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.

<sup>4</sup>The 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

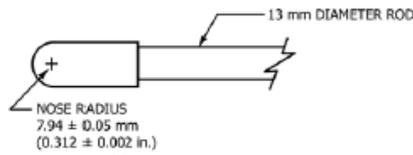


FIG. 1 (a)

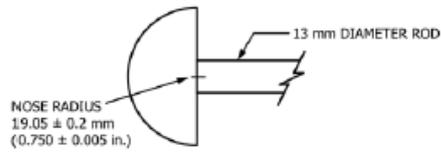
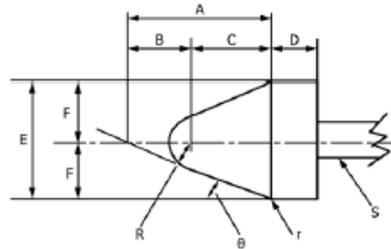


FIG. 1 (c)

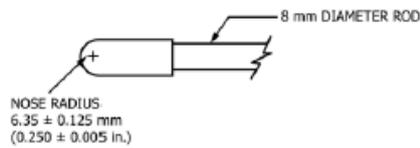


FIG. 1 (d)

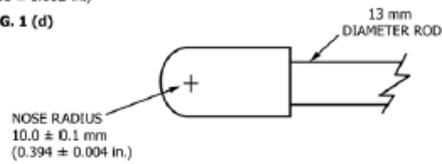


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±2 %.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) <sup>A</sup>	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

<sup>A</sup> Larger diameter shafts shall be used.

FIG. 1 Top Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

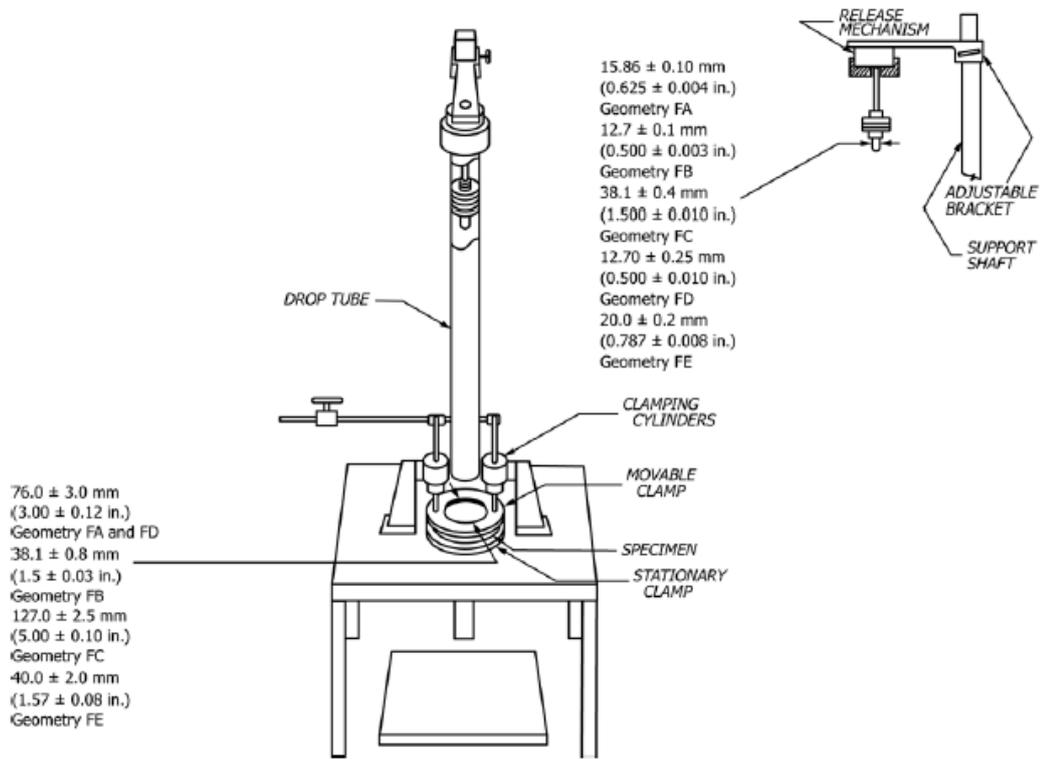


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

reasonable temperature and humidity, thus representing actual use environments. However, this test method is intended primarily for rating materials under specific impact conditions.

**7. Apparatus**

**7.1 Testing Machine**—The apparatus shall be constructed essentially as is shown in Fig. 2. The geometry of the specimen clamp and tup shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

**7.1.1 Specimen Clamp**—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp constructed as shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter shall be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter shall be 38.1 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter shall be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp constructed as shown in Fig. 4 is required. The inside diameter shall be 40 ± 2 mm (1.57 ± 0.08 in.) (see Table 1). For Geometries FA, FB, FC, and FD, the inside edge of the upper or supporting surface of the lower clamp shall be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius shall be 1 mm (0.04 in.).

**7.1.1.1** Contoured specimens shall be firmly held in a jig so that the point of impact will be the same for each specimen.

**7.1.2 Tup Support**, capable of supporting a 13.5-kg (30-lb) mass, with a release mechanism and a centering device to ensure uniform, reproducible drops.

*NOTE 3*—Reproducible drops are ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

**7.1.3 Positioning Device**—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

**7.2 Tup:**

**7.2.1** The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10-mm (0.625 ± 0.004-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

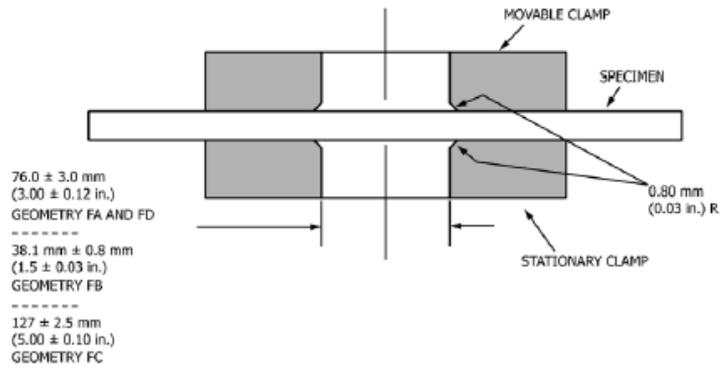


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

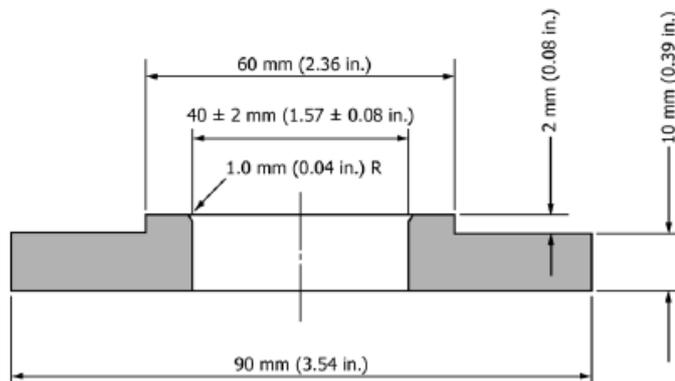


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

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  $12.7 \pm 0.1$  mm ( $0.500 \pm 0.003$  in.) with a conical ( $50^\circ$  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  $38.1 \pm 0.4$  mm ( $1.5 \pm 0.015$  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  $90^\circ$  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  $12.70 \pm 0.25$ -mm ( $0.500 \pm 0.010$ -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  $90^\circ$  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  $20.0 \pm 0.2$ -mm ( $0.787 \pm 0.008$ -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  $\pm 1\%$ .

## 8. Hazards

### 8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

## 9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section 14.

## 10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5% from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5% are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with

ISO 6603-1 the test specimen shall be  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) in diameter or  $60 \pm 2$  mm ( $2.4 \pm 0.08$  in.) square with a thickness of  $2 \pm 0.1$  mm ( $0.08 \pm 0.004$  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  $0.660 \pm 0.008$  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:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

- $s_w$  = estimated standard deviation, mass, kg
- $s_h$  = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for  $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$ . If the value is  $<0.3$ , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_w = G_{s_w} f \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h = G_{s_h} f \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

- $s_h$  = estimated standard deviation of the mean height, mm,
- $s_w$  = estimated standard deviation of the mean mass, kg, and

$G$  = factor that is a function of  $s/d$  (see Appendix X2).

A sample computation of  $s_w$  is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of  $G$  at other levels of  $s/d$ , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_h w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

$S_{MFE}$  = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

## 14. Report

14.1 Report the following information:

- 14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,
- 14.1.2 Method of preparation of specimens,
- 14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		$V_r$	$r$
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) <sup>a</sup>	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) <sup>a</sup>	11.8	14.9	42.2

<sup>a</sup> 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 robin<sup>5</sup> 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 (Bruce-ton 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.

<sup>5</sup> Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, <i>J</i>	Values Expressed as Percent of the Mean	
		<i>V<sub>w</sub></i>	<i>r</i>
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

*V<sub>w</sub>* = within-laboratory coefficient of variation of the mean.  
*r* = 2.83 *V<sub>w</sub>*.

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)																				<i>n<sub>x</sub></i>	<i>n<sub>o</sub></i>	<i>i</i>	<i>n<sub>i</sub></i>	<i>i</i> <i>n<sub>i</sub></i>	<i>i<sup>2</sup>n<sub>i</sub></i>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20							
9.00						X															1	0	2	1	2	4	
8.00					O		X	X				X		X							4	1	1	4	4	4	4
7.00		X		O				O	X		O		O		X		X		O		4	5	0	4	0	0	
6.00	O		O								O						O		O		0	5					
Totals																					9	11		9	6	8	
																					( <i>N<sub>x</sub></i> )	( <i>N<sub>o</sub></i> )		( <i>N</i> )	( <i>A</i> )	( <i>B</i> )	

$w_0 = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$   
 $w = w_0 + d(A/N - 0.5)$   
 $= 7.00 + 1.00(6/9 - 0.5)$   
 $= 7.17 \text{ kg}$   
 $s = 1.620 \sqrt{d^2((N-1)/N^2) + 0.029}$   
 $= 1.620 \sqrt{1.00^2((9-1)/9^2) + 0.029}$   
 $= 0.77 \text{ kg}$   
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$   
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035(0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/t</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 10) that may impact the use of this standard. (May 1, 2018)

- (1) Revised Sections 5, 6, 7, 10 and 12 to remove permissive language.
- (2) Revised 7.4.
- (3) Revised Section 15 Precision and Bias to ASTM D4968-17 guidelines.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

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

## ANEXO 8

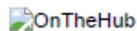
Factura del pedido: 100718485254

OnTheHub <noreply@kivuto.com>

Vie 22/10/2021 17:14

Para: Paredes Salinas Juan Gilberto <jgparedes@uta.edu.ec>

**\*\* Este es un mensaje automático - por favor, no responda ya que no recibirá respuesta. \*\***



Estimado Juan Paredes:

Gracias por el pedido.

Todos los detalles sobre su pedido, incluido cualquier clave del producto, código de activación o vínculo de descarga necesarios (si es el caso), están disponibles en su tienda web en [Su cuenta/Pedidos](#).

Si es redirigido a la página de inicio de sesión interna de su organización, tendrá que iniciar sesión con las credenciales proporcionadas por su organización.

### Resumen de pedido

Número de pedido: 100718485254  
Fecha del pedido: 2021-10-22 18:12  
Hora de verano del Este

### Información del pedido

Nombre: Juan Paredes  
Correo electrónico: jgparedes@uta.edu.ec  
Tarjeta de crédito: Visa \*\*\*\*\*9264  
Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en su estado de su cuenta.

### Dirección de facturación

Juan Paredes  
Ambato - Montalvo  
Camino real y león febres cordero  
Ambato 180215  
Ecuador

Ítems (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

---

Vea los detalles para recuperar los artículos de su pedido.

	Importe
<b>1. Minitab Statistical Software: Cloud App &amp; Windows Desktop (12-Mo Rental) - Subscription</b>	<b>\$54.99</b>
<hr/>	
<b>Subtotal:</b>	<b>\$54.99</b>
<b>Impuestos:</b>	<b>--</b>
<b>Total:</b>	<b>\$54.99</b>

Asegúrese de que toda la información listada a continuación sea correcta y guarde esta factura para su registro.

Si tiene alguna pregunta, consulte la [página de Ayuda de la tienda web](#).

Gracias,  
[OnTheHub](#)