



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 (CARBONO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”

Autor: Diego Romario Freire Paguay

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 HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA SINTÉTICA (CARBONO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”** elaborado por el Sr. Diego Romario Freire Paguay, portador de la cédula de ciudadanía: 1804427092, 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, **Diego Romario Freire Paguay**, con C.I. 1804427092 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Trabajo Experimental con el tema: **“OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS MÚLTIPLES (DOE/MSR) DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA SINTÉTICA (CARBONO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”** así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2022



Diego Romario Freire Paguay

C.I.: 1804427092

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, enero 2022

A handwritten signature in blue ink that reads "Diego Freire P." with a stylized flourish underneath.

Diego Romario Freire Paguay

C.I.: 1804427092

AUTOR

APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del Trabajo Experimental realizado por el estudiante Diego Romario Freire Paguay de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“OPTIMIZACIÓN DE RESPUESTAS MÚLTIPLES (DOE/MSR) DE PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXI REFORZADA CON FIBRA SINTÉTICA (CARBONO) Y NATURAL (CHAMBIRA)”**

Ambato, enero 2022

Para constancia firman

Ing. Mg, Henry Wilson Vaca Ortega
Miembro Calificador

Ing. Mg. Oscar Iván Analuiza Maiza
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y a la Virgen María por darme sabiduría, entendimiento además de guiar mis pasos que los doy día tras día, con la fe en Dios todo se puede también a mi padre Gonzalo a mi madre Mariana que desde niño siempre me inculcaron buenos valores, además sus buenos consejos que me ayudaron a llegar al objetivo, mis hermanos William y Paola que siempre me estuvieron apoyándome incondicionalmente además a mis sobrinas que siempre estuvieron ahí motivándome cada día.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento total a mi familia que son padre, madre, hermano, hermana y sobrinas, además otros familiares que siempre se han hecho llegar con consejos y sus buenos deseos.

También al Ing. Juan Paredes que me dio la oportunidad de realizar este trabajo experimental para poder llegar al objetivo soñado, también compañeros de clase que siempre estuvieron ahí con su apoyo incondicional.

Al CIDFAE (Centro de Investigación de la Fuerza Aérea Ecuatoriana) por permitir hacer uso de sus instalaciones que fueron indispensables para el conformado del nuevo material.

Un Dios le pague de todo corazón.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDIO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACION DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICES DE TABLAS	xv
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT	xix
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes Investigativos.....	1
1.3 Objetivos	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 Fundamentación Teórica.....	4
1.4.1 Los Materiales una Ciencia e Ingeniería.....	4
1.4.2 Material Hibrido.....	5
1.4.3 Material Compuesto	5
1.4.4 Elementos de un Material Compuesto	7
1.4.5 Matrices poliméricas	7
1.4.6. Resina Epoxi	9
1.4.7 Fibras de Refuerzo	10
1.4.8. Estratificación de material compuesto al vacío.....	20
1.4.9. Diseño de experimentos DOE.....	21
1.4.10. Metodología de Superficie de Respuestas (MSR)	22
1.4.11. Supuestos Paramétricos.....	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	26

2.1 Materiales.....	26
2.2 Métodos.....	29
2.2.1 Nivel o tipo de Investigación	29
2.3. Población y Muestra.....	30
2.3.1. Población.....	30
2.3.2. Muestra.....	31
2.3.3. Hipótesis.....	32
2.3.4. Señalamiento de variables de la Hipótesis	32
2.3.5. Funcionamiento de Variables.....	32
2.3.6. Diagrama de flujo del nuevo material	34
2.3.7. Ensayo para materiales.....	50
CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	53
3.1. Interpretación y tabulación de datos	53
3.1.1. Recolección de datos del ensayo de Tracción.....	53
3.1.2. Recolección de datos del ensayo a Flexión.....	86
3.1.3. Recolección de datos del ensayo a Impacto.....	123
3.2. Análisis y discusión de resultado	152
3.3. Análisis de datos a Tracción	156
3.3.1. Análisis de datos del esfuerzo a Tracción.....	156
3.3.2. Análisis de datos del módulo de elasticidad a Tracción.	162
3.3.3. Análisis de datos de la elongación	168
3.3.4. Análisis de datos de la densidad de las probetas a tracción	174
3.4. Análisis de datos a Flexión	180
3.4.1. Análisis de datos del esfuerzo a Flexión.....	180
3.4.2. Análisis de datos del módulo de elasticidad a Flexión	186
3.4.3. Análisis de datos de la deflexión.....	192
3.4.4. Análisis de datos de la densidad de las probetas a flexión.....	198
3.5 Análisis de datos a Impacto.....	204
3.5.1. Análisis de datos de la energía media de fallo	204
3.5.2 Análisis de datos de la densidad de probetas a Impacto.	210
3.6. Optimización Global	216
3.6.1 Análisis de la deseabilidad global	217
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	223
4.1 Conclusiones	223

4.2 Recomendaciones.....	224
BIBLIOGRAFÍA.....	226

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1.- Conexión entre Ciencias Básicas y disciplinas de la Ingeniería a través de la ciencia e Ingeniería de los Materiales	5
Figura 1. 2.- Clasificación de los materiales compuestos de acuerdo a su refuerzo... 6	6
Figura 1. 3.- Elementos de un Material Compuesto	7
Figura 1. 4.- Comportamiento molecular de los tres tipos de polímeros	8
Figura 1. 5.- Clasificación de materiales compuestos por su refuerzo	11
Figura 1. 6.- Clasificación de refuerzos por fibras.....	12
Figura 1. 7.- Clasificación de fibras	12
Figura 1. 8.- Estructura de la fibra de Carbono.....	15
Figura 1. 9.- Fibra de Carbono.....	15
Figura 1. 10.- Diferentes configuraciones de tela de fibra de carbono	16
Figura 1. 11.- Tejidos comunes de la fibra de carbono.....	17
Figura 1. 12.- Árbol de Astrocaryum Chambira	19
Figura 1. 13.- Crecimientos de las palmas de Chambira	19
Figura 1. 14.- Proceso de obtención de fibra de chambira.....	20
Figura 1. 15.- Proceso de obtención de fibra de chambira.....	21
Figura 1. 16.- Clasificación de los diseños de experimentos	22
Figura 1. 17.- Diseño central compuesto para 2 y 3 factores.....	23
Figura 1. 18.- Diseño Box- Behnken para 3 factores.	23
Figura 1. 19.- Orden vs Residuos: a) no cumple con la independencia, b) si cumple con la independencia.....	25
Figura 2. 1 Diagrama de flujo del material conformado.....	35
Figura 2. 2 Distribución de las probetas a tracción, flexión e impacto.....	38
Figura 2. 3 Cálculo de la densidad de la chambira.	38
Figura 2. 4 Máquina Universal (WAW600B) para ensayos de tracción	50
Figura 2. 5 Máquina Universal (WAW600B) para ensayos de flexión.....	51
Figura 3. 1. Gráfica de probabilidad normal del esfuerzo a tracción.....	157
Figura 3. 2. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del esfuerzo a tracción	158
Figura 3. 3. Diagrama de Pareto de los efectos para el esfuerzo a tracción.....	159
Figura 3. 4. Gráfica de efectos principales para el esfuerzo a tracción.....	160
Figura 3. 5. Gráfica de interacción para el esfuerzo a tracción.....	160

Figura 3. 6. Gráfica de interacción para el esfuerzo a tracción.....	161
Figura 3. 7. Gráfica de optimización para el esfuerzo a tracción.....	162
Figura 3. 8. Gráfica de probabilidad normal del módulo de elasticidad a tracción	163
Figura 3. 9. Gráfica de probabilidad normal del módulo de elasticidad a tracción	164
Figura 3. 10. Diagrama de Pareto de los efectos para el módulo de elasticidad a tracción.....	165
Figura 3. 11. Gráfica de efectos principales para el módulo de elasticidad a tracción	166
Figura 3. 12. Gráfica de interacción para el módulo de elasticidad a tracción	166
Figura 3. 13. Gráfica de superficie del módulo de elasticidad a tracción.	167
Figura 3. 14. Gráfica de optimización para el módulo de elasticidad a tracción ...	168
Figura 3. 15. Gráfica de probabilidad normal de la elongación.....	169
Figura 3. 16. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la elongación.....	170
Figura 3. 17. Diagrama de Pareto de los efectos para la elongación	171
Figura 3. 18. Gráfica de efectos principales para la elongación	172
Figura 3. 19. Gráfica de interacción para la elongación	172
Figura 3. 20. Gráfica de superficie de la elongación.	173
Figura 3. 21. Gráfica de superficie de la elongación.	174
Figura 3. 22. Gráfica de probabilidad normal de la densidad de las probetas a tracción.....	175
Figura 3. 23. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la densidad de las probetas de tracción.....	176
Figura 3.24. Diagrama de Pareto de los efectos para la densidad de las probetas a tracción.....	177
Figura 3.25. Gráfica de efectos principales para la densidad de las probetas a traccion.....	178
Figura 3.26. Gráfica de interacción para de la densidad de las probetas a traccion.	178
Figura 3.27. Gráfica de superficie de la densidad de las probetas a tracciónn	179
Figura 3.28. Gráfica de optimización para la densidad de las probetas de la tracción	180
Figura 3.29. Gráfica de probabilidad normal del esfuerzo a flexión	181

Figura 3.30. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del esfuerzo a flexión	182
Figura 3.31. Diagrama de Pareto de los efectos para el esfuerzo a flexión	183
Figura 3.32. Gráfica de efectos principales para el esfuerzo a flexión.	184
Figura 3.33. Gráfica de interacción para el esfuerzo a flexión	184
Figura 3.34. Gráfica de interacción para el esfuerzo a flexión	185
Figura 3.35. Gráfica de optimización para el esfuerzo a flexión	186
Figura 3.36. Gráfica de probabilidad normal del módulo de elasticidad a flexión.	187
Figura 3.37. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del módulo de elasticidad a flexión.....	188
Figura 3.38. Diagrama de Pareto de los efectos para el módulo de elasticidad a flexión	189
Figura 3.39. Gráfica de efectos principales para el módulo de elasticidad a flexión.	190
Figura 3.40. Gráfica de interacción para el módulo de elasticidad a flexión.....	190
Figura 3.41. Gráfica de superficie del módulo de elasticidad a flexión.....	191
Figura 3.42. Gráfica de optimización para el módulo de elasticidad a flexión.....	192
Figura 3.43. Gráfica de probabilidad normal de la deflexión	193
Figura 3.44. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la deflexión	193
Figura 3.45. Diagrama de Pareto de los efectos para la deflexión	195
Figura 3.46. Gráfica de efectos principales para la deflexión.....	195
Figura 3.47 Gráfica de interacción para de la deflexión	196
Figura 3.48 Gráfica de superficie de la deflexión.....	197
Figura 3.49 Gráfica de optimización para la deflexión.....	198
Figura 3.50 Gráfica de probabilidad normal de la densidad de las probetas a flexión	199
Figura 3.51 Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la densidad de las probetas a flexión	199
Figura 3.52 Diagrama de Pareto de los efectos para la densidad de las probetas a flexión	201
Figura 3.53 Gráfica de efectos principales para la densidad de las probetas a flexión.	201
Figura 3.54 Gráfica de interacción para de la densidad de las probetas a flexión ..	202

Figura 3.55	Gráfica de interacción para de la densidad de las probetas a flexión..	203
Figura 3.56	Gráfica de optimización para la densidad de las probetas a flexión...	204
Figura 3.57	Gráfica de probabilidad normal de la energía media de fallo.....	205
Figura 3.58	Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la energía media de fallo	205
Figura 3.59	Diagrama de Pareto de los efectos para la energía media de fallo	207
Figura 3.60	Gráfica de efectos principales para la energía media de fallo	207
Figura 3.61	Gráfica de interacción para de la energía media de fallo	208
Figura 3.62	Gráfica de superficie de la energía media de fallo.	209
Figura 3.63	Gráfica de optimización para la energía media de fallo	210
Figura 3.64	Gráfica de probabilidad normal de la densidad a impacto	211
Figura 3.65	Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la densidad a impacto	212
Figura 3.66	Diagrama de Pareto de los efectos para la densidad a impacto	213
Figura 3.67	Gráfica de efectos principales para la densidad a impacto	214
Figura 3.68	Gráfica de interacción para de la densidad a impacto	214
Figura 3.69	Gráfica de superficie de la densidad de las probetas a impacto.	215
Figura 3.70	Gráfica de optimización para la densidad a impacto	216
Figura 3.71	Gráfica de supuestos para la deseabilidad global	217
Figura 3.72	Diagrama de Pareto de los efectos para la deseabilidad global	219
Figura 3.73	Gráfica de efectos principales para la deseabilidad global	220
Figura 3.74	Gráfica de interacción para de la deseabilidad global	220
Figura 3.75	Gráfica de superficie de la deseabilidad global (Orient. 1 y Orient. 2)221	
Figura 3.76	Gráfica de superficie de la deseabilidad global (Orient. 1 y Temp.)... 221	
Figura 3.77	Gráfica de superficie de la deseabilidad global (Orient. 2 y Temp).... 222	

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1.1.- Clasificación de la matrices poliméricas	7
Tabla 1.2.- Propiedades de matrices poliméricas.....	10
Tabla 1.3.- Ubicación de la fibra en la planta	13
Tabla 1.4.- Composición química de las fibras naturales	13
Tabla 1.5.- Comparación de fibras artificiales vs fibras naturales.....	14
Tabla 1.6.- Propiedades para diferentes tipos de carbono.....	17
Tabla 2. 1.- Materiales utilizados para la elaboración del material híbrido.....	26
Tabla 2. 2.- Factores, niveles y variable.....	30
Tabla 2. 3.- Matriz de Diseño de Experimentos de Box-Behnken.....	31
Tabla 2. 4.- Variable Independiente	33
Tabla 2. 5.- Variable Dependiente	33
Tabla 2. 6.- Codificación del nuevo material compuesto	36
Tabla 2. 7.- Determinación de densidad de la fibra de chambira	39
Tabla 2. 8.- Determinación de densidad de la fibra de carbono	39
Tabla 2. 9.- Determinación de densidad del material compuesto	40
Tabla 2. 10.- Determinación de densidad de la matriz epoxi	40
Tabla 2. 11.- Densidades de los materiales utilizados	40
Tabla 2. 12.- Peso de refuerzo del nuevo material	41
Tabla 2. 13.- Densidad de las probetas ensayadas a tracción	43
Tabla 2. 14.- Densidad de las probetas ensayadas a tracción	43
Tabla 2. 15.- Densidad de las probetas ensayadas a tracción	43
Tabla 2. 16.- Elaboración de las probetas para los ensayos	44
Tabla 2. 17.- Proceso para el curado y corte de probetas	49
Tabla 3. 1 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 1	53
Tabla 3. 2 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 2.....	55
Tabla 3. 3 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 3.....	57
Tabla 3. 4 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 4.....	59
Tabla 3. 5 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 5.....	62
Tabla 3. 6 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 6.....	64
Tabla 3. 7 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 7.....	66
Tabla 3. 8 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 8.....	68
Tabla 3. 9 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 9.....	71

Tabla 3. 10	Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 10.....	73
Tabla 3. 11	Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 11.....	75
Tabla 3. 12	Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso.....	77
Tabla 3. 13	Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 13.....	79
Tabla 3. 14	Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 14.....	82
Tabla 3. 15	Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 15.....	84
Tabla 3. 16	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 1.....	86
Tabla 3. 17	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 2.....	88
Tabla 3. 18	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 3.....	91
Tabla 3. 19	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 4.....	93
Tabla 3. 20	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 5.....	96
Tabla 3. 21	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 6.....	98
Tabla 3. 22	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 7.....	101
Tabla 3. 23	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 8.....	103
Tabla 3. 24	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 9.....	106
Tabla 3. 25	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 10.....	108
Tabla 3. 26	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 11.....	111
Tabla 3. 27	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 12.....	113
Tabla 3. 28	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 13.....	116
Tabla 3. 29	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 14.....	118
Tabla 3. 30	Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 15.....	121
Tabla 3. 31	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso1.....	123
Tabla 3. 32	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso2.....	125
Tabla 3. 33	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso3.....	127
Tabla 3. 34	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 4.....	129
Tabla 3. 35	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 5.....	131
Tabla 3. 36	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 6.....	133
Tabla 3. 37	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 7.....	135
Tabla 3. 38	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 8.....	137
Tabla 3. 39	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 9.....	139
Tabla 3. 40	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 10.....	141
Tabla 3. 41	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 11.....	143
Tabla 3. 42	Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 12.....	145

Tabla 3. 43 Ficha técnica del material hibrido a Impacto caso 13	147
Tabla 3. 44 Ficha técnica del material hibrido a Impacto caso 14	149
Tabla 3. 45 Ficha técnica del material hibrido a Impacto caso 15	151
Tabla 3. 46 Resultados de ensayos de tracción	153
Tabla 3. 47 Resultados de ensayos a flexión.....	154
Tabla 3. 48 Resultados de ensayos a impacto	155
Tabla 3. 49 ANOVA para el esfuerzo a tracción	158
Tabla 3. 50 ANOVA para el esfuerzo a tracción	162
Tabla 3. 51 ANOVA para el módulo de elasticidad a tracción.....	164
Tabla 3. 52 Valores predichos para el punto óptimo del módulo de elasticidad a tracción.....	168
Tabla 3. 53 ANOVA para la elongación	170
Tabla 3. 54 Valores predichos para el punto óptimo de la elongación	174
Tabla 3. 55 ANOVA para la densidad de las probetas a tracción.....	176
Tabla 3. 56 Valores predichos para el punto óptimo de la densidad de las probetas a tracción.....	180
Tabla 3. 57 ANOVA para el esfuerzo a flexión.....	182
Tabla 3. 58 Valores predichos para el punto óptimo del esfuerzo a flexión	186
Tabla 3. 59 ANOVA para el módulo de elasticidad a flexión	188
Tabla 3. 60 Valores predichos para el punto óptimo del módulo de elasticidad a flexión	192
Tabla 3. 61 ANOVA para la deflexión.	194
Tabla 3. 62 Valores predichos para el punto óptimo de la deflexión.....	198
Tabla 3. 63 ANOVA para la densidad a Flexión	200
Tabla 3. 64 Valores predichos para el punto óptimo de la densidad de las probetas a flexión	204
Tabla 3. 65 ANOVA para la energía media de fallo.....	206
Tabla 3.66 Valores predichos para el punto óptimo de la energía media de fallo ..	210
Tabla 3.67 ANOVA para la densidad a impacto.....	212
Tabla 3.68 Valores predichos para el punto óptimo de la densidad de las probetas a impacto.....	216
Tabla 3.69 Valores predichos para el punto óptimo global.....	217
Tabla 3.70 ANOVA para la deseabilidad global.....	218

RESUMEN

Por la demanda que existe hoy en día en la Ingeniería de materiales con el pasar de los días siempre se ha buscado que ayuden a mejorar las propiedades mecánicas del nuevo a diseñar así cumpliendo con la necesidad del usuario.

Se diseñaron las probetas bajo la metodología (DOE/MSR) (Box–Behnken) los cuales permitieron determinar la orientación de la fibra natural, fibra sintética y la temperatura. Los valores que se consideraron fueron -45, 0, 45 grados y la temperatura 60, 90, 120 grados centígrados. Con la ayuda de (Box–Behnken) se determinaron 15 casos con 3 réplicas para determinar las propiedades mecánicas.

Los resultados obtenidos de los tres ensayos se tabularon y se observó que la mejor combinación para obtener el óptimo material se debería realizar con la orientación1 45, grados, orientación2 35 grados y temperatura de curado 60 grados centígrados y el modelo de regresión de diseño MSR explica hasta el 95,61 por ciento la variabilidad de las propiedades, con un valor de deseabilidad global de 0,989.

Palabras clave: Fibra natural, Fibra sintética, MSR, Box Behnken, DOE

ABSTRACT

Due to the demand that exists today in Materials Engineering, as the days go by, it has always been sought to help improve the mechanical properties of the new design thus meeting the user's need.

The specimens were designed under the methodology (DOE / MSR) (Box – Behnken) which allowed to determine the orientation of the natural fiber, synthetic fiber and the temperature. The values that were considered were -45, 0, 45 degrees and the temperature 60, 90, 120 degrees Celsius. With the help of (Box – Behnken) 15 cases with 3 replicates were determined to determine the mechanical properties.

The results obtained from the three tests were tabulated and it was observed that the best combination to obtain the optimum material should be performed with orientation₁ 45 degrees, orientation₂ 35 degrees and curing temperature 60 degrees Celsius and the MSR design regression model explains up to 95.61 percent the variability of the properties, with an overall desirability value of 0.989.

Keywords: Natural fiber, Synthetic fiber, MSR, Box Behnk, DOE

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Tema

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

1.2 Antecedentes Investigativos

Se buscó varias tesis con la finalidad de obtener información para poder realizar el trabajo experimental.

De acuerdo con la investigación de C. Cunalata de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema de “ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTAS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPOXICA, REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ” el cual utiliza una metodología Box-Behnken tomando a consideración factores como orientación la fibra natural, espesores de la fibra sintética y temperatura con valores de (0°, 45°, 90°), (0, 1, 2 mm) (20°C, 50°C, 80 °C) el mismo que arroja que el material óptimo es (0° orientación, 0.76mm espesor, 42,42°C temperatura) además el modelo de regresión MSR nos dice que el 96,99 % de la variabilidad de las propiedades estudiadas, con un valor de 0.793 en la deseabilidad global. [1].

Según en la investigación obtenida de P. Mazón de la Universidad Técnica de Ambato con trabajo experimental de “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y TEJIDO DE FIBRAS NATURALES DE CAÑA GUADUA Y ALGODÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES” el cual utilizo dos fibras naturales que son algodón y guadua más un refuerzo de matriz epóxica, además dichas fibras tiene una orientación (0°, 45° y 135°) respectivamente las mismas que se sometieron a un proceso de conformado al vacío el cual se determinó que el material óptimo es a 0° dando resultados en tracción 131,65 MPa, flexión 128,541 MPa e impacto 6.01 J [2].

En el trabajo experimental de H. Erazo de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema “ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE VIDRIO Y ABACÁ EN MATRIZ POLIMÉRICAS DE RESINA POLIÉSTER PARA DETERMINAR LA MEJOR CONFIGURACIÓN” el cual utiliza dos fibras naturales que es algodón y abacá + una fibra sintética vidrio + una matriz de resina poliéster además factores a considerar como orientación y tipo de sacado. Mediante un análisis estadístico se obtiene que la configuración óptima es: 20% FV+7,75 Fab (45°) + 2,25% Fal (135°) también un valor de deseabilidad global de 0,825 y el modelo de regresión factorial nos da hasta el 95,72% la variabilidad de las propiedades mecánicas analizadas.[3].

En la investigación de J. Anderson y J. Whitcomb bajo el tema de “MIXTURE DOE UNCOVERS FORMULATIONS QUICKER” nos explica que la metodología DOE es una de las tantas técnicas estadística que se utilizan para optimizar cualquier tipo de proceso, es indispensable tener factores a dos niveles para poder combinar los mismos, otro factor es el número de réplicas del cual se obtiene una medida de error, además este método se basa en dos dimensiones utilizando como punto de partida un equilátero el cual representa 3 elementos de mezcla donde su diseño parte de dos variables que son dependientes e independientes, por lo cual se utiliza un software para observarlo de mejor manera, pero para obtener precisión se debe trabajar con restricciones para obtener una investigación deseada. [4].

Según la investigación realizado por I. Romli, N. Alias, S, Mohd, D. Abdul con el tema de “FACTORIAL STUDY ON THE TENSILE STRENGTH OF A COIR FIBER REINFORCED EPOXY COMPOSITE” el mismo que utiliza un diseño de experimentos factorial tomando en cuenta factores como volumen, el tiempo de curado y la carga de compresión la misma que se realizó con 18 casos para ensayos a tracción el cual permitió determinar que la fracción de volumen de fibra de coco, el tiempo de curado son los factores con más relevancia para el ensayo de tracción del nuevo conformado, además que la carga de compresión aplicada tiene un valor sin importancia [5].

Según en la investigación de D. Torres de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema de “OPTIMIZACIÓN (DOE-MEZCLAS) DEL MATERIAL HÍBRIDO CON REFUERZOS DE FIBRA DE ABACÁ, FIBRA DE CABUYA Y FIBRA DE VIDRIO

DE MATRIZ DE RESINA EPÓXICA Y SU INCIDENCIA SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN, TRACCIÓN E IMPACTO” el cual busca mejorar las propiedades mecánicas utilizando materiales como fibra de vidrio (FV), fibra de abacá (FA), fibra de cabuya (FC) y una matriz epóxica, utilizando la metodología de diseño de mezclas obteniendo como resultado que las óptimas fracciones volumétricas fueron: FV un 0,261%, FA 0,003% FC 0,036% y la matriz epóxica 0,7%, cumpliendo con el objetivo principal de una mezcla que debe ser siempre igual a 1 [6].

Según en la investigación realizado por F. Ayala y F. Contreras de la Universidad de las Fuerzas Armadas del Ecuador con el tema “CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL COMPOSITE UV FOTOCURABLE RESINA ASTROCARYUM CHAMBIRA ECUATORIANA” en búsqueda de un nuevo material compuesto donde utiliza resina fotocurable UV + fibra de Astrocayum (chambira) por lo cual se caracterizó sus propiedades químicas, físicas, y mecánicas para compararlos con otras fibras del entorno Ecuatoriano, lo cual se obtuvo propiedades de poder calorífico, porcentajes de lignina y celulosa, densidades lineales y volumétricas. Para poder determinar la caracterización mecánica se realizó probetas a 0°, 45° y 90° aplicando normas ASTM e ISO también se utilizó un software de simulación FEM (Finite Element Method), además aplicaron métodos de criterios de falla de materiales como Tsai-hill y Puck obteniendo así el óptimo conformado en comparación con otros materiales. Determinando que la fibra Astrocaryum es una nueva alternativa para el uso industrial de materiales [7].

Según la investigación de E.H. Agung, S.M. Sapun, N.M. Hamdan, H.M.D.K. Zaman y U. Mustofa, Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación, Universidad de Putra Malaysia bajo el tema de: “OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ABACA FIBRE-REINFORCED HIGH IMPACT POLYSTYRENE (HIPS) COMPOSITES USING BOX-BEHNKEN DESIGN OF EXPERIMENTS” el cual realiza un estudio para la optimización de factores en las propiedades mecánicas del nuevo material analizando el porcentaje en peso de fibra de abacá como refuerzo, porcentaje en peso de agente de acoplamiento y porcentaje en peso de modificador de impacto; utilizando una metodología estadística de Box-Behnken donde se obtuvieron valores de determinación hasta 0.9817 [8].

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Determinar la optimización de respuestas múltiples (DOE/MSR) de propiedades mecánicas del material híbrido usando un matriz epóxica reforzada con fibra sintética (carbono) y fibra natural (chambira)

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros de obtención del proceso de fabricación del material compuesto de fibra de chambira más fibra de carbono.
- Determinar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto bajo las normas de tracción (ASTM D3039), flexión (ASTM D7264) e impacto (ASTM D5625).
- Determinar cuáles de las varias combinaciones es la óptima para aprovechar adecuadamente las propiedades mecánicas del nuevo material híbrido.

1.4 Fundamentación Teórica

1.4.1 Los Materiales una Ciencia e Ingeniería

En la actualidad los materiales siempre con el pasar del día se ha visto con la necesidad de mejorar sus propiedades, ya que el mundo va evolucionando constantemente, gracias a estos estudios, diseños y otros se ha podido abastecer la demanda así mejorando las propiedades del material a estudiar por ende las mismas es gran aporte para la economía mundial. La Ingeniería en materiales se encarga de estudiar minuciosamente sus propiedades mecánicas, físicas, su estructura y otros aspectos a considerar para procesarlo en productos cumpliendo con la necesidad de la sociedad. [8].

En la Figura 1.1 se puede observar que existe varias conexiones entre distintos tipos de ciencias, la ciencia de la Ingeniería de materiales se lo puede relacionar hasta con la medicina ya que hoy en día existes prótesis que llevan partículas de diferentes materiales la mismas que se realiza un estudio minucioso para poder cumplir con los estándares requeridos.

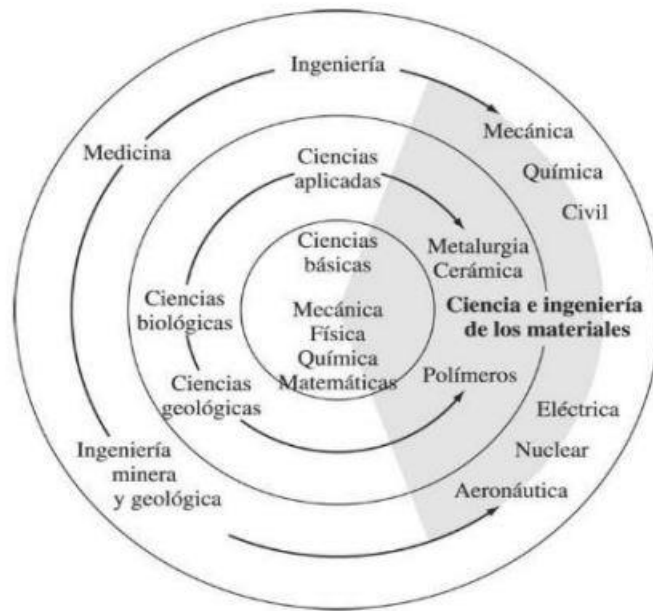


Figura 1. 1.- Conexión entre Ciencias Básicas y disciplinas de la Ingeniería a través de la ciencia e Ingeniería de los Materiales

Fuente: [9]

1.4.2 Material Híbrido

Un material híbrido es la unión de dos elementos casi siempre estos elementos pueden ser de naturaleza orgánica y la otra parte es inorgánica una vez conformando los dos elementos se forma una estructura diferente de los dos, los materiales híbridos han crecido a gran escala la misma que es de gran importancia debido que hay técnicas, procesos y experimentos así logrando que dos elementos no compatibles se vuelvan compatibles el uno al otro. [10], [11].

1.4.3 Material Compuesto

Un material compuesto es la unión de dos materiales diferentes dando como resultado un material mejorado en sus características y propiedades, las mismas propiedades que no pertenecen a ninguno de los dos materiales anteriores [12].

Este tipo de compuestos se obtiene al unir dos materiales, así obteniendo propiedades que no se puede obtener con los materiales que lo conforman principalmente, dando así mejoras en propiedades mecánicas tales como dureza, resistencia, conductividad térmica, resistencia a la corrosión entre otros [13].

1.4.3.1 Clasificación de los materiales compuestos

Clasificación se basa principalmente en su matriz y el refuerzo [12], [9].

a. Clasificación en función de su matriz.

- Materiales compuestos de matriz metálica: Poseen fibras metálicas las mismas que ayudan a mejorar su resistencia a altas temperaturas.
- Materiales compuestos de matriz cerámica: Se obtiene mejoras en resistencia y tenacidad siempre y cuando este en rango de temperaturas bajas.
- Materiales compuestos de matriz polimérica: Es la unión entre un polímero como matriz más fibras naturales o sintéticas obteniendo mejoras en propiedades mecánicas.

b. Clasificación en función de su refuerzo

Se puede clasificar en función de su forma, tamaño y otros aspectos.



La clasificación de los composites tiene una gran variedad las mismas que tiene sus características principales y utilizadas según lo necesite. Hoy en día los más comunes y utilizados son los refuerzos con fibras ya que existen fibras naturales y sintéticas que tiene excelentes propiedades

Figura 1. 2.- Clasificación de los materiales compuestos de acuerdo a su refuerzo

Fuente: [14]

1.4.4 Elementos de un Material Compuesto

En la Figura 1.3. se puede observar los elementos de un material compuesto que son: la fase primaria (matriz) fase secundaria (refuerzo o fibra) e interfaz. La fase primaria es la responsable de las propiedades mecánicas y soportar todo tipo de carga, el refuerzo ayuda a la matriz a obtener mejores propiedades mecánicas y el interfaz es donde se une las fases continuas y discontinuas [15].

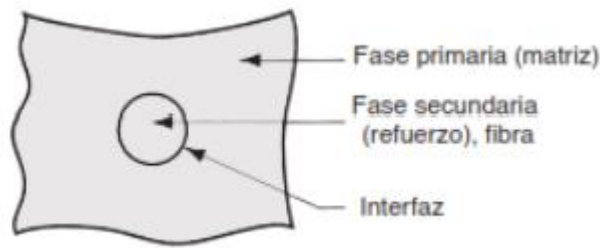


Figura 1. 3.- Elementos de un Material Compuesto

Fuente: [16]

1.4.5 Matrices poliméricas

Las matrices poliméricas tienen una gran demanda en varias industrias ya que brindan mejoras en las propiedades mecánicas además se pueden utilizar en aplicaciones que requiera baja densidad, tiene un buen desempeño a temperatura ambiente, su conformado es fácil de realizar. Se caracteriza porque son livianos, económicos y posee una gran presentación, además, se pueden clasificar en diferentes formas además en la Tabla 1.1 se puede observar algunos ejemplos de matrices poliméricas. [17], [14].

Tabla 1.1.- Clasificación de las matrices poliméricas

Resinas	Calificación
Elastoméricas	Poliuretanos (PU) Siliconas (SI)
Termoplásticos	Polipropileno (PP) Poliámidas (PA)
Termoestables	Poliésteres insaturados (UP) Poliepóxicos (EP) Fenoplastos (PF)

Fuente: [16]

Los polímeros son clasificados de distintas formas estas pueden ser por sus moléculas sintetizadas, por su estructura molecular su familia química y otros aspectos a considerar.



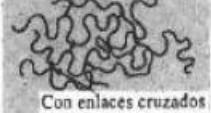
Comportamiento	Estructura general	Diagrama
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles	
Termoestable	Red rígida tridimensional	 Con enlaces cruzados
Elastómero	Cadenas lineales con enlaces cruzados	 Con enlaces cruzados

Figura 1. 4.- Comportamiento molecular de los tres tipos de polímeros

Fuente: [13]

1.4.5.1 Termoplástico

La característica principal de un termoplástico es cuando dicho material se aplica una temperatura y sufre un cambio de estado de sólido a líquido el mismo que se deja reposar en un determinado tiempo se vuelve a endurecer mejorando sus propiedades mecánicas, se conforma principalmente por largas cadenas, las cuales al fusionarse dan un comportamiento dúctil y plásticos, una ventaja es fácil de reciclar.[18].

1.4.5.2 Termoestable

La principal desventaja de un termoestable es perder propiedades mecánicas al momento de aplicar presión o someter a temperaturas, su estructura es reticular lo que significa la prohibición de libre desplazamiento de dichas moléculas. Una ventaja es que tiene una facilidad para el proceso de conformado de cualquier elemento. [18]

Las uniones cruzadas que dan este tipo de polímero forman complejas estructuras de redes tridimensionales, tiene mejor resistencia que los termoplásticos, pero también son más frágiles. Al momento de realizar la formación de enlaces son difíciles de procesarlos, maquinarlos, etc. [19]

1.4.5.3 Elastómero

Como su nombre lo indica es de tipo elástico el cual permite estirarlos por lo menos dos veces de su diseño original, su estructura es entrecruzada con la diferencia de que existe un espacio entre nodo lo cual permite su elasticidad.[18].

1.4.6. Resina Epoxi

La resina epoxi pertenece al grupo de los polímeros termoestable, lo que significa que pasa de un estado líquido a sólido utilizando un catalizador. En estos días la resina epoxi es utilizada en varias aplicaciones ya que da mejoras propiedades mecánicas, alta resistencia y también son excelentes para aislamientos eléctricos. [14].

1.4.6.1 Tipos de Resina Epoxi

Existe una gran variedad de resinas epoxis, pero se clasifica en función de sus aditivos y su reacción.[20].

- Resina Epoxi con base de Bisfenol A

Se lo puede conseguir en estado líquido, semisólido o sólidos dependiendo de su peso molecular son más utilizados por su versatilidad.

- Resina Epoxi con base Bisfenol F y/o Novolac

Este tipo de resina tiene un mejor entrecruzamiento dando a la resina mejoras mecánicas, temperatura y química, pero sobre todo si se realiza un curado con anhídridos.

- Resina Epoxi flexibles

Son utilizadas como un aditivo flexiblemente reactivo en otras resinas así mejorando la resistencia al impacto.

1.4.6.2 Aplicaciones de Resina Epoxi

La resina epoxi gracias a sus buenas propiedades que tienen como la resistencia química, mecánica y una buena adhesión son utilizadas en distintas industrias tales como es el área del automovilismo, recubrimientos de cables y otras industrias. También se adapta al proceso de laminado y materiales compuestos, es ahí la razón principal donde se utiliza para mejorar las propiedades mecánicas de un nuevo material

a conformar además en la Tabla 1.2 se puede notar algunas propiedades a considerar al momento de optar por una matriz polimérica. [20]

Tabla 1.2.- Propiedades de matrices poliméricas

Propiedad	Matriz				
	Poliéster insaturado	Resina Epoxi	Resina Fenólica	Resina Viniléster	Resina Polimida
Densidad (gr/cm ³)	1.17 – 1.26	1.17- 1.25	1.25 – 1.3	1.17 – 1.25	1.27 – 1.42
Alargamiento a la rotura (%)	<3	<6-8	<3	<3.5-7	6-10
Fluencia	Muy baja				
Temperatura de moldeo (°C)	Temp. Ambiente hasta 180	Temp. Ambiente hasta 170	150-190	Temp. Ambiente hasta 175	350
Temperatura de reblandecimiento	80-160	80-130	100-150	100-150	260 en periodos cortos hasta 500
Propiedades reológicas	Muy buenas				Depende del fabricante
Contracción de fraguado (%)	6-10	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7

Fuente: [22]

1.4.7 Fibras de Refuerzo

También se lo conoce como fase discontinua estas fibras poseen hilos con un diámetro de 10µm todo depende de la fibra a utilizar, además estas fibras se pueden obtener de distintas formas como en hilos, cordones, etc., es ahí la razón principal que se utiliza como refuerzos en materiales compuestos.

Hoy en día los materiales compuestos con fibras tienen una mayor demanda debido que se puede unir con una matriz polimérica así mejorando sus propiedades mecánicas

tales como: la tenacidad, la resistencia u otros todo va dependiendo de la naturaleza de la fibra que lo componen [23]

En la Figura 1.5 se puede observar que los materiales compuestos se pueden clasificar de diferente manera, además se puede obtener refuerzos con fibras anisotropía lo que significa que las propiedades dependen del plano, de su forma geométrica. Para que un material obtenga la propiedad isotrópica se debe laminar las partículas en formas aleatorias, pero es difícil obtener fibras discontinuas, ya que en su mayoría los métodos para conformación tienen un orden específico en orientación de fibras. [24]



Figura 1. 5.- Clasificación de materiales compuestos por su refuerzo

Fuente: [24]

- Refuerzo con partículas

Son el resultado de matriz + partícula, donde se puede apreciar los refuerzos en partículas grandes y a los consolidados por dispersión, depende de la utilización de la matriz el cual reparte los esfuerzos sobre las partículas, en la dispersión se puede observar partículas de 10 a 100mm siendo más pequeñas en comparación con las dimensiones de partículas grandes [24]

- Refuerzo con fibras

Se obtiene mejores propiedades mecánicas como: la fatiga, rigidez en una matriz más blanda y dúctil siempre cuando se tenga una fase dispersa de las fibras a utilizar existen una clasificación de fibras las cuales son: alambres, fibras y whiskers [24], [25]

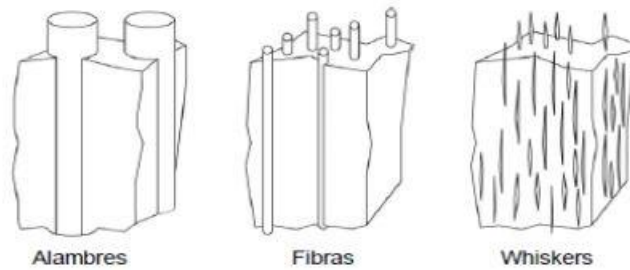


Figura 1. 6.- Clasificación de refuerzos por fibras

Fuente: [25]

- Estructurales

Este tipo de material compuesto tiene partes homogéneas y sus propiedades mecánicas dependen las partes que lo constituyen, de su forma geométrica. Entre los más principales tenemos los laminares y sándwich, además en la Figura 1.7 se puede observar la clasificación que puede tener una fibra.[24]

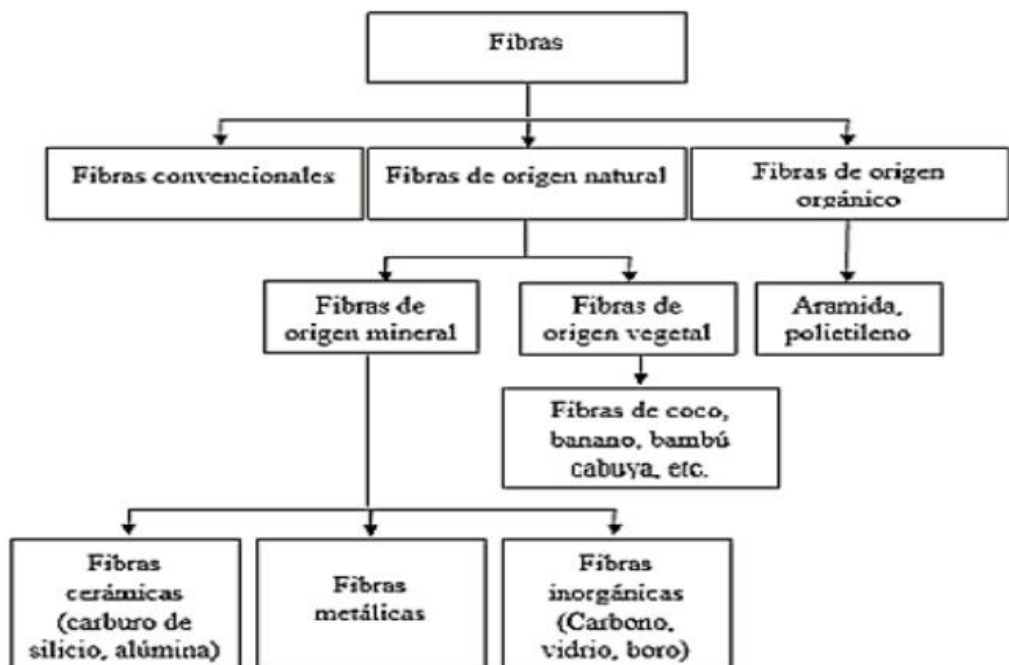


Figura 1. 7.- Clasificación de fibras

Fuente: [24]

En la investigación [25] nos informa que las fibras naturales tienen propiedades de alta resistencia por ende son muy utilizados en varias industrias. Hoy en día contamos con

una gran variedad de plantas las mismas que son procesadas así obtiene fibras que son mezcladas con otros materiales para obtener un nuevo material. En la Tabla 1.3 se puede clasificar de la siguiente manera.

Tabla 1.3.- Ubicación de la fibra en la planta

Fibra Blanda	Fibra Dura	Fibra Superficie	Otros	
Tallo	Hojas	Semilla	Fruto	Esparto
Cáñamo	Abacá	Algodón Kapok	Palma Aceitera	Bejuco
Ramio	Sisal	Algodoncillo	Coco	Bambú
Lino	Cuarúa			Bagazo
Kenaf	Fermio			Caña
Yute				

Fuente: [24]

Las fibras naturales siempre van depender de su procedencia ya que ellos representan a la familia lignocelulosa, pero depende de cada una de las plantas ya que se considera el clima de desarrollo, su naturaleza y los años de vida de la misma cada una tiene su composición química que se detalla a continuación [24]

Tabla 1.4.- Composición química de las fibras naturales

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

Fuente: [24]

Si se desea tener un nuevo material con mejores en propiedades mecánicas se debe realizar una combinación entre una fibra natural + fibra sintética, sabiendo que la misma tienen mejoras en propiedades que la fibra natural. [24]

Tabla 1.5.- Comparación de fibras artificiales vs fibras naturales

Fibras	Densidad (gr/cm³)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación fractura (%)	Absorción de humedad (%)
Vidrio - S	2,5	2000 – 3500	70	2,5	-----
Vidrio – E	2,5	4570	86	2,8	-----
Aramida	1,4	3000 – 3150	63 – 67	3,3 – 3,7	-----
Carbón	1,4	4000	230 – 240	1,4 – 1,8	-----
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393 – 773	26,5	1,5 – 1,8	12
Ramio	1,5	400 – 928	61,4 – 128	3,6 – 3,8	12 – 17
Coco	1,2	175 – 220	4 – 6	15 – 30	10
Sisal	1,5	511 – 635	9,4 – 22	2 – 2,5	11
Abacá	1,3	400 – 1289	45	2,7	8 – 10
Lino	1,5	345 – 1035	27,6	2,7 – 3,2	7
Algodón	1,5	393 - 773	26,5	7 - 8	8 - 25

Fuente: [24]

1.4.7.1 Fibra de Carbono

En la Figura 1.8 se puede observar la estructura de una fibra de carbono que es una fibra sintética está conformado por filamentos que tiene un espesor de 50 a 10 μm de diámetro, está constituido principalmente por átomos de carbono que representa por lo menos el 92% del peso total de la fibra. [25]

Los átomos de carbono están unidos entre ellos y en los cristales microscópicos son alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra.

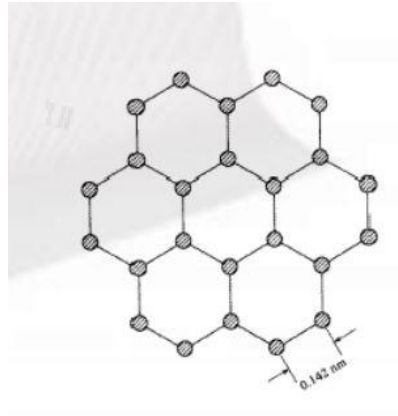


Figura 1. 8.- Estructura de la fibra de Carbono

Fuente: [25]

Hoy en días las fibras sintéticas son utilizadas en varias industrias, un ejemplo de fibra sintética es la de carbono la misma tiene excelentes propiedades por ende son utilizadas en partes de automóviles, aviones, cañas de pescar y otros productos más que se puede obtener con la fibra de carbono debido a su resistencia y peso liviano son utilizados en dichas industrias. [26]

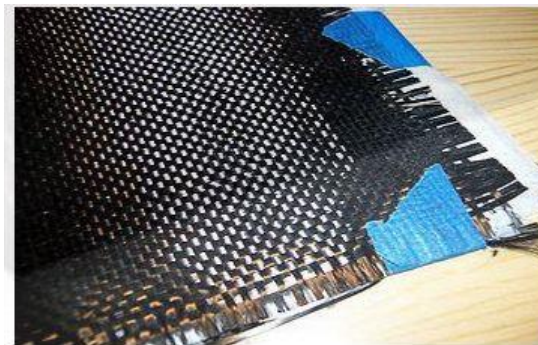


Figura 1. 9.- Fibra de Carbono

Fuente: [26]

La fibra de carbono tiene diferentes configuraciones en la Fig. 1.10 se puede observar dichas configuraciones. [26].

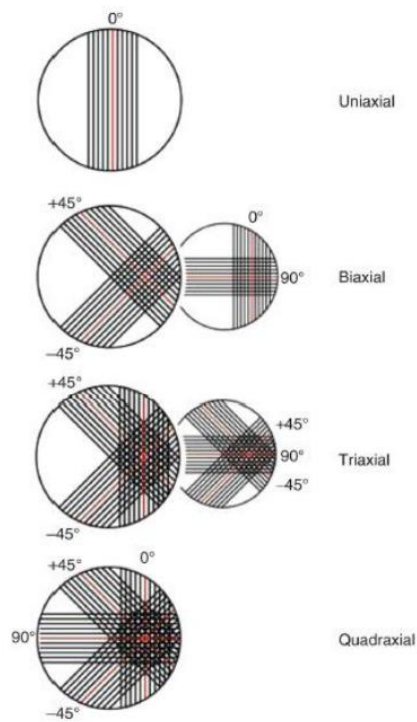


Figura 1. 10.- Diferentes configuraciones de tela de fibra de carbono

Fuente: [26]

Los tejidos más comunes en la fibra de carbono son: tejido plain, tejido twill y tejido satín [27]

- Tejido plain (plano)

La característica del tejido plano es su hilado longitudinal y transversal el cual pasa por encima de un hilo y por debajo del próximo, además este tejido ayuda al refuerzo y se utiliza para laminado de espesores. Una de las ventajas de este tejido es estable y difícilmente se distorsiona.

- Tejido twill (cruzado)

La característica del tejido cruzado es su hilado longitudinal y transversal son cruzados entre sí, este tipo de tejido se distorsiona fácilmente, pero una ventaja es su buena adherencia a la resina.

Estos se distorsionan fácilmente en comparación con el plano una de las ventajas es que se adhiere fácilmente a la resina.

- Tejido satín (satinado)

La característica del tejido satinado es similar al cruzado con la diferencia que su hilado longitudinal y transversal pasa por encima y por abajo, antes del

entrelazado es mayor por lo cual un lado se construye con fibras longitudinales y el otro con fibras transversales una ventaja tiene un excelente acabado superficial.

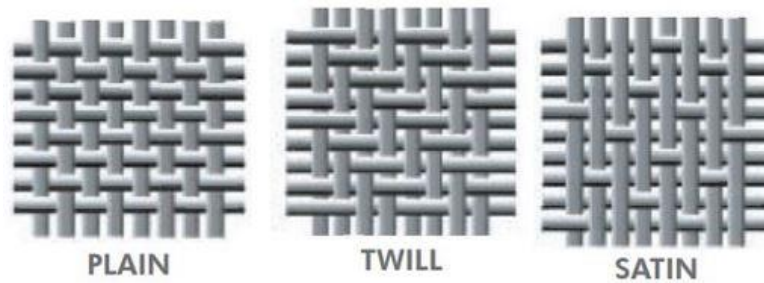


Figura 1. 11.- Tejidos comunes de la fibra de carbono

Fuente: [27]

En la Tabla 1.6 se puede notar la clasificación de la fibra de carbono, además exponiendo cada propiedad de cada una de ellas. Se clasifica en fibras SM (Standard modulus), fibras IM (Intermediate modulus), fibras HM (High modulus), fibras LM (Low modulus) y fibras UHM (Ultra-high modulus) [28]

Tabla 1.6.- Propiedades para diferentes tipos de carbono

Propiedad	Fibras SM	Fibras IM	Fibras HM	Fibras LM	Fibras UHM
Contenido en carbono (%)	95	95	>99	>97	>99
Diámetro (µm)	6 - 8	5 - 6	5 - 8	11	10
Densidad (gtm)	1,8	1,8	1,9	1,9	2,2
Resistencia a la tracción (MPa)	3800	3450 - 6200	3450 - 5520	1380 - 3100	2410
Alargamiento a la rotura	1,6	1,3 - 2	0,7 - 1	0,9	0,4 – 0,27

Resistencia eléctrica (μ-cm)	1650	1450	900	1300	220 – 130
Conductividad térmica (w/m.k)	20	20	50 - 80	----	----

Fuente: [28]

1.4.7.2 Fibra de Chambira

Esta fibra pertenece al grupo *Astrocaryum* la misma se lo puede encontrar en palmeras en la región amazónica en los países como el Perú, Colombia, Ecuador, Costa Rica, Panamá y Brasil debido que existen una gran variedad de bosques que tienen humedad. Existen 16 especies de dicho grupo en Ecuador se puede encontrar cuatro de estas especies como la *Astrocaryum Jaguari*, *Astracaryum Standleyanum* y *Astrocaryum Urostachy* [29]

Hoy en día la *Astrocaryum Chambira* es el más predominante en el Ecuador ya que se realiza un proceso para poder obtener fibra natural la mismas que es utilizada para la elaboración de accesorio como: sombreros, carteras y otras los mismos que es el sustento para etnias de la región amazónica como: Bora, Chacobo, Cofán, Huaorani, Secoyas. [29]

1.4.7.3 Producción de Chambira en Ecuador

Para poder identificar una planta de chambira se debe tener en cuenta las siguientes características:

- Tiene un tallo solitario de hasta 30m
- Un diámetro entre 25 y 45cm.
- Posee 9 – 16 hojas espinadas erguidas, además una longitud de 5m.



Figura 1. 12.- Árbol de *Astrocaryum Chambira*

Fuente: [29]

La planta *Astrocaryum Chambira*, se lo puede encontrar en la región amazónica más en el parque Yasuní se encuentran en bosques de tierra firme hasta los 350 msnm que fue declarado patrimonio nacional del 2015, en la Figura 1.13 se observa en donde crece la planta de chambira. [30]

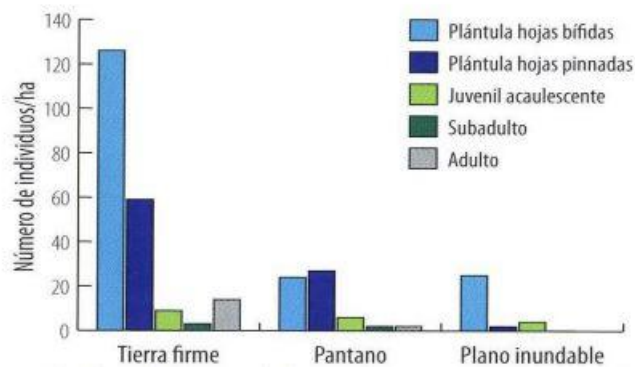


Figura 1. 13.- Crecimientos de las palmas de Chambira

Fuente: [30]

En la Figura 1.14 se detalla el proceso de obtención de la fibra de chambira.

- A) Con la ayuda de un machete se procede a cortar las hojas ubicados en la parte superior del tallo

- B y C) Se realiza un solo conjunto de las hojas cortadas para llevar a procesar dicha planta.
- D) Se procede a deshilar las fibras que se encuentran en la planta.
- E) Se realiza un cocido de 30 min con agua en una olla, lavarlas y dejarlas secar en sol, finalmente con la fibra seca se realizado un tensado que consiste en colocar en el muslo y torcerla con la palma de la mano hasta conseguir una piola continua que consta de varias fibras, la misma que será utilizado para las artesanías mencionadas [31]



Figura 1. 14.- Proceso de obtención de fibra de chambira

Fuente: [31]

1.4.8. Estratificación de material compuesto al vacío

Este es uno de los tantos procesos que existen para elaborar laminados óptimos utilizando componentes como: matriz epoxi + fibras de refuerzo, este proceso trata de ingresar presión al laminado en el tiempo de curado así eliminando las burbujas de aire que provoca la combinación de los materiales. Se diferencia de otros procesos porque se compacta bien, evita que se modifique la orientación del refuerzo antes que se conforme el nuevo material provocando mejoras en el mismo. En la Figura 1.15 se puede observar de una manera más clara el proceso de conformado al vacío.

Este método más se utiliza en las industrias de aeronáutica y aeroespacial. Los pasos para elaborar este laminado es el siguiente: impregnar las fibras naturales + resina epoxi uno sobre otro en las distintas direcciones establecidas, posteriormente enfundar el material y aplicar la depresión de vacío [32].

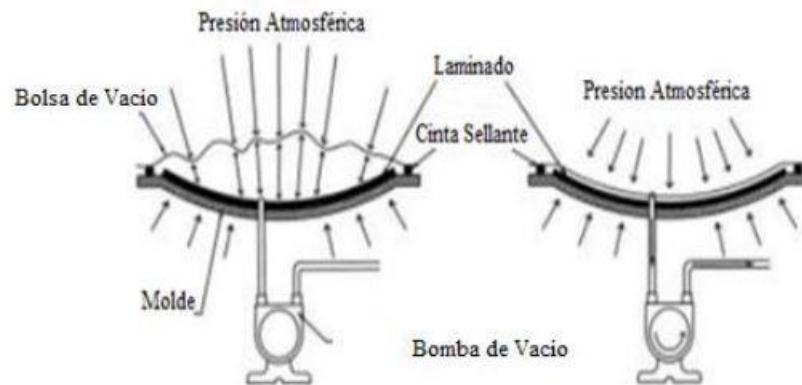


Figura 1. 15.- Proceso de obtención de fibra de chambira

Fuente: [32]

1.4.9. Diseño de experimentos DOE

Un diseño de experimentos tiene prueba y error en un trabajo experimental siempre hay dudas o intuiciones que se puede aplicar o solucionarlo, pero no es suficiente aplicar lo dicho es ahí donde se requiere la ayuda de diseños de experimentos estadísticos lo cual es más confiable en analizar los datos estadísticamente ya que brindan evidencias claras para solucionar nuestras dudas, preguntas e inquietudes. [33]

Un diseño y análisis nos permite solucionar ciertas preguntas como:

- Evaluar materiales entres si para determinar el mejor.
- Verificar si o no de una hipótesis.
- Evaluar las principales características que incide en un producto final.
- Determinar condiciones que reduzcan efectos en una operación, optimizando el proceso. [33]

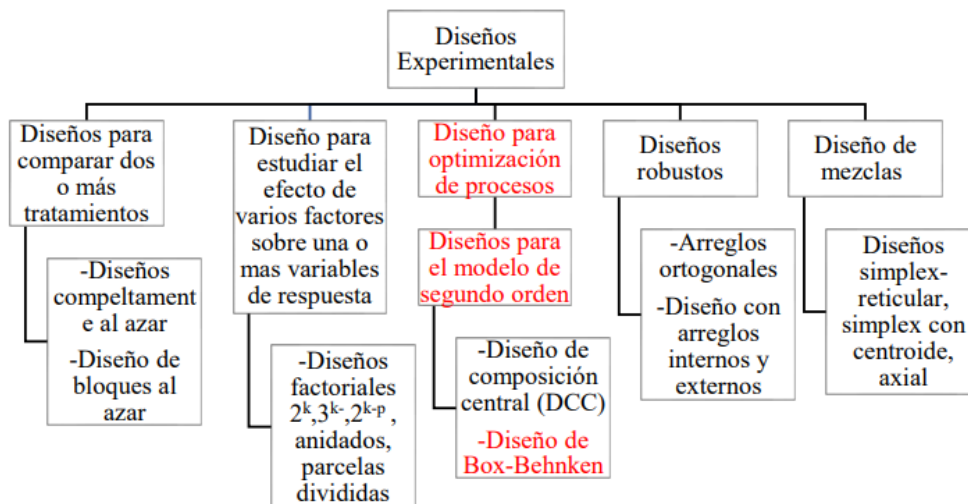


Figura 1. 16.- Clasificación de los diseños de experimentos

Fuente: [33]

1.4.10. Metodología de Superficie de Respuestas (MSR)

La metodología de superficie de respuestas MSR siempre han sido de gran ayuda para investigaciones ya que se puede analizar una gran cantidad de variables con el objetivo de saber la incidencia de sus variables, conocido como respuesta, para aplicar esta metodología es necesario que el número de variables independientes no solo interfieran en la variable de respuesta, sino que se halla bajo el control del experimentador. [34]

En resume el método MSR busca alcanzar un óptimo en las respuestas existen dos tipos principales los que son:

El primero es un polinomio de primer orden, siendo el primer orden que posee factores k expresa en la siguiente ecuación.

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

El segundo es un polinomio de segundo orden generalmente es un diseño de Box-Behnken y el diseño central compuesto, expresado de la siguiente forma.

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

- Diseños centrales compuestos

En la Figura 1.17 se puede observar un diseño central de compuestos que es un método de respuestas además son diseños factorial o factorial fraccionado con puntos centrales, ampliado con un grupo de puntos axiales que permiten estimar la curvatura. Este tipo de diseño se utiliza cuando el experimento tiene una secuencia debido a que este diseño tiene experimento factorial hasta 5 niveles por factor.

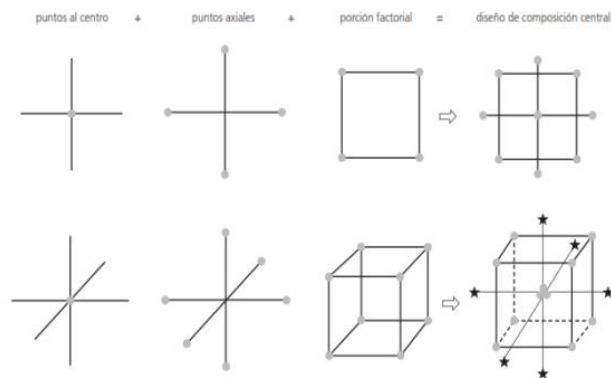


Figura 1. 17.- Diseño central compuesto para 2 y 3 factores.

Fuente: [34]

- Diseño de Box-Behnken

En la Figura 1.18 se puede observar el método de Box-Behnken que permite estimar eficientemente los coeficientes de primer y segundo orden, además para poder aplicar dicho método siempre debe haber mínimo 3 niveles por factor.

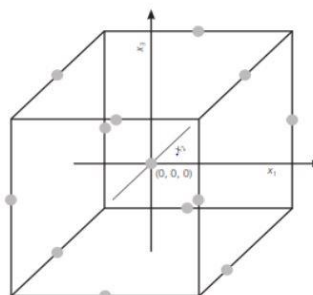


Figura 1. 18.- Diseño Box- -Behnken para 3 factores.

Fuente: [35]

1.4.11. Supuestos Paramétricos

Si se desea obtener un óptimo resultado estadístico se debe cumplir con los siguientes supuestos paramétricos.

1.4.11.1. La Normalidad

Para verificar el supuesto de Normalidad existe una prueba que es de Anderson-Darling la misma que nos ayudara a determinar si la muestra proviene de distribución continua, para este caso la distribución normal. La prueba nos da un valor p el cual nos permite determinar si la hipótesis es nula o alternativa [35]

H_0 La muestra proviene de una distribución normal

H_1 La muestra no proviene de una distribución normal

Si el valor de $p < \alpha$, rechazamos H_0

1.4.11.2. Igualdad de varianza de los tratamientos

Para verificar este supuesto paramétrico existen dos formas que son las siguientes:

- Una gráfica donde se puede observar predichos vs residuos los puntos se deben distribuir aleatoriamente de manera horizontal y paralelo al eje horizontal donde están los predichos.
- Verificación con la prueba de Levene, la cual se trata de analizar si la media desviación es igual o no para los tratamientos [35].

Si el valor de $p < \alpha$, rechazamos H_0

1.4.11.3. La Independencia de Residuos.

En la Figura 1.19 se puede observar la gráfica orden vs residuos se puede comprobar la independencia de residuos se puede comprobar a través de una gráfica donde se puede observar el orden que se tomaron los datos, en el eje Y se encuentra los residuos y en el eje X la toma de datos, la solución correcta sería buscar un patrón definido no aleatorio el cual nos ayude a entender una correlación entre errores, de manera opuesta sería un comportamiento aleatorio en el eje X confirmando una independencia de residuos. [35]

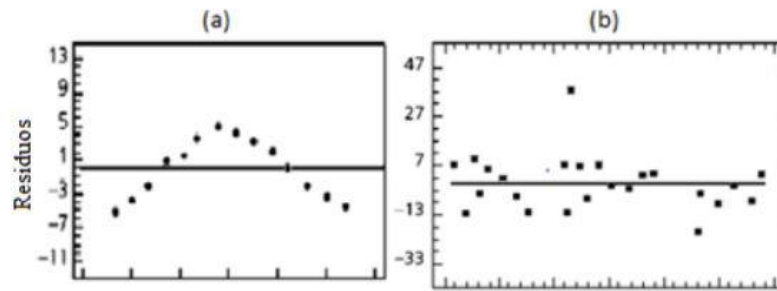


Figura 1. 19.- Orden vs Residuos: a) no cumple con la independencia, b) si cumple con la independencia

Fuente: [35]



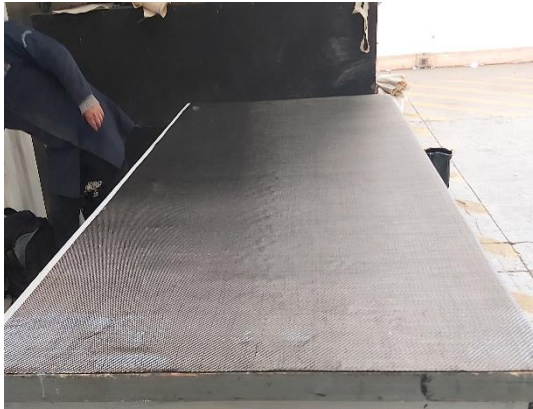
1.4.11.5. Transformación de datos




Este método se utiliza siempre y cuando al momento de estudiar los datos no cumple con los supuestos paramétricos, este método consiste en multiplicar dicho dato por una lambda el cual permite transformar dicho dato en válido. La familia de Box-Cox permite la corrección de varianzas desiguales el cual permite una mejor correlación entre variables. [35]




CÁPITULO II. METODOLOGÍA



2.1 Materiales

Tabla 2. 1.- Materiales utilizados para la elaboración del material híbrido

Nombre	Especificación	Ilustración
Resina Epoxi	Marca Aeropoxy Resina PR2032 Catalizador PH360 con una densidad de $1,16 \text{ g/cm}^3$	
Fibra de Chambira	Fibra de chambira se lo puede localizar en el oriente ecuatoriano su densidad de 1.102 g/cm^3	
Fibra de Carbono	Fibra de Carbono 3k twill ancho de 1,27m peso 5,9 oz.	

<p>Bomba de vacío</p>	<p>Marca Viot 2,75 CFM, 1/4hp</p>	
<p>Cera desmoldante</p>	<p>Se utiliza para separar las probetas de la mesa de trabajo.</p>	
<p>Manta de absorción POLY-FLEX</p>	<p>Como su nombre lo indicar sirve para absorber la resina. (100x100) cm</p>	
<p>Peel play PA-PP80</p>	<p>Tela desmoldante, es decir no se adhiere al tomar contacto con la resina. (100x100) cm</p>	

		
Bolsa de vacío PO 75μ	Se utiliza para el forrado de las probetas y permite realizar el proceso al vacío. (100x120) cm	
Butilo AN-3 (rollo)	Se utiliza para pegar la bolsa de vacío con una superficie plana evitando las fugas de aire. (12x2) mm	

<p>Balanza electrónica</p>	<p>Se utiliza para pesar tanto la fibra natural como sintética y después del conformado</p>	
<p>Guaípe y tiñer</p>	<p>Se utiliza para limpiar la superficie de la mesa.</p>	

Fuente: Autor

2.2 Métodos

2.2.1 Nivel o tipo de Investigación

2.2.1.1. Exploratoria

Se aplicó dicho método exploratorio creando un nuevo material híbrido, formado con fibra natural chambira + fibra sintética de carbono + un refuerzo de matriz epoxi, estudiando factores como orientación de la fibra, temperatura de curado, por lo cual se analizaron dichos factores para determinar cuál combinación es la óptima.

2.2.1.2. Descriptiva

Este método es muy importante ya que con él se pudo determinar las propiedades mecánicas del nuevo material híbrido en los ensayos de tracción, flexión e impacto.

2.2.1.3 Bibliográfica

Este tipo método es importante ya que nos permite realizar una recopilación de información en libros, artículos científicos, normas, etc., el mismo que nos ayudó a entender de mejor manera.

2.2.1.4. Experimental

Este método es muy importante ya que se realizó un estudio de conjunto de variables que son constates y el otro un conjunto de variables que son de experimentos, además este método también interviene tanto como las variables de respuesta como en la de salida.

2.3. Población y Muestra

2.3.1. Población

En la Tabla 2.2 se puede observar la población para este trabajo experimental se tomó las probetas elaboradas con fibra natural chambira + fibra sintética carbono + una matriz de resina epoxi como refuerzo, las misma que se conformaron con 3 capas de refuerzo dos naturales + una sintética en distintas orientaciones según especifica la MSR. Estas probetas fueron elaboradas por el proceso al vacío con sus orientaciones y respectivas temperaturas en la siguiente tabla se reflejan las variables.

Tabla 2. 2.- Factores, niveles y variables

Factores	Niveles	Variables de salida	
Orientación	-45°, 0°, 45°	Tracción	Carga máxima, módulo de elasticidad, esfuerzo máximo, elongación.
Temperatura de curado	60°, 90°, 120°	Flexión	Carga máxima, esfuerzo máximo, módulo de elasticidad, deflexión

Orden de capas	Carbono + Chambira + Chambira	Impacto	Energía media de fallo
----------------	-------------------------------------	---------	------------------------

Fuente: Autor

2.3.2. Muestra

En la Tabla 2.3 se puede observar la muestra para este trabajo experimental se basó en el Diseño de Experimentos, utilizando un método de Superficies de Respuestas de Box-Behnken en cual se introdujo datos como orientación y temperatura y el número de réplicas a realizar para dichos ensayos.

Tabla 2. 3.- Matriz de Diseño de Experimentos de Box-Behnken.

# De Casos	(Carbono + Chambira + Chambira) (Orientación)			Temperatura (°C)	Tipo de Ensayo	Cantidad de probetas	Total
	Carbono	Chambira	Chambira				
1	0	0	-45	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
2	0	-45	0	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
3	0	45	0	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
4	0	0	45	60	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
5	0	-45	-45	90	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
6	0	45	-45	90	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
7	0	0	0	90	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
8	0	0	0	90	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
9	0	0	0	90	Tracción	3	9
					Flexión	3	
					Impacto	3	
10	0	-45	45	90	Tracción	3	9

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

Fuente: Autor

2.3.3. Hipótesis

Utilizando un análisis estadístico con MSR (metodología de superficies de respuestas) nos ayudara a la optimización de propiedades mecánicas en los ensayos a tracción, flexión e impacto del nuevo material híbrido conformado de fibra de chambira + fibra de carbono + matriz epoxi.

2.3.4. Señalamiento de variables de la Hipótesis

2.3.4.1. Variable Independiente

Factores del análisis estadístico como orientación y temperatura de curado del nuevo material híbrido.

2.3.4.2. Variable Dependiente

Propiedades mecánicas del material

2.3.5. Funcionamiento de Variables

2.3.5.1 Variable Independiente

Tabla 2. 4.- Variable Independiente

Variables independientes (Fibra de Carbono, Fibra de Chambira, Resina Epoxica)				
Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Instrumentos
Se lo llama material híbrido aquel que se utiliza dos o más clases diferentes de fibras en una sola matriz.	Material Híbrido	Fibra de Chambira primera capa	-45° 0° 45°	Observación directa. Fichas Técnicas
		Fibra de Chambira segunda capa	-45° 0° 45°	
		Temperatura	60°C 90°C 120°C	
	Optimización	DOE	Superficie de Respuesta	

Fuente: Autor

2.3.5.2. Variable Dependiente

Tabla 2. 5.- Variable Dependiente

Variables dependientes (Propiedades Mecánicas)				
Conceptualización	Categorías	Indicadores	Índice	Instrumentos
Un material frente a la aplicación de fuerzas o cargas, que son evaluadas mediante ensayos específicos bajo normas y especificaciones	Tracción	Resistencia a la tracción	50 – 90 (kg/mm ²)	Normas tracción (ASTM D3039), flexión (ASTM D7264) e impacto (ASTM D5628).
		Módulo de Elasticidad	4000-6500 (kg/mm ²)	
	Flexión	Esfuerzo de flexión	110-180 (kg/mm ²)	

técnicas de los equipos.		Módulo de flexión	6500-13700 (kg/mm ²)	
	Impacto	Resistencia al Impacto	(1.5 – 3.0) (E=hwf) [J]	
	Optimización (DOE)	Valor-p	0 - 1	Software estadístico
Coefficiente de determinación		0% - 100%		

Fuente: Autor

2.3.6. Diagrama de flujo del nuevo material

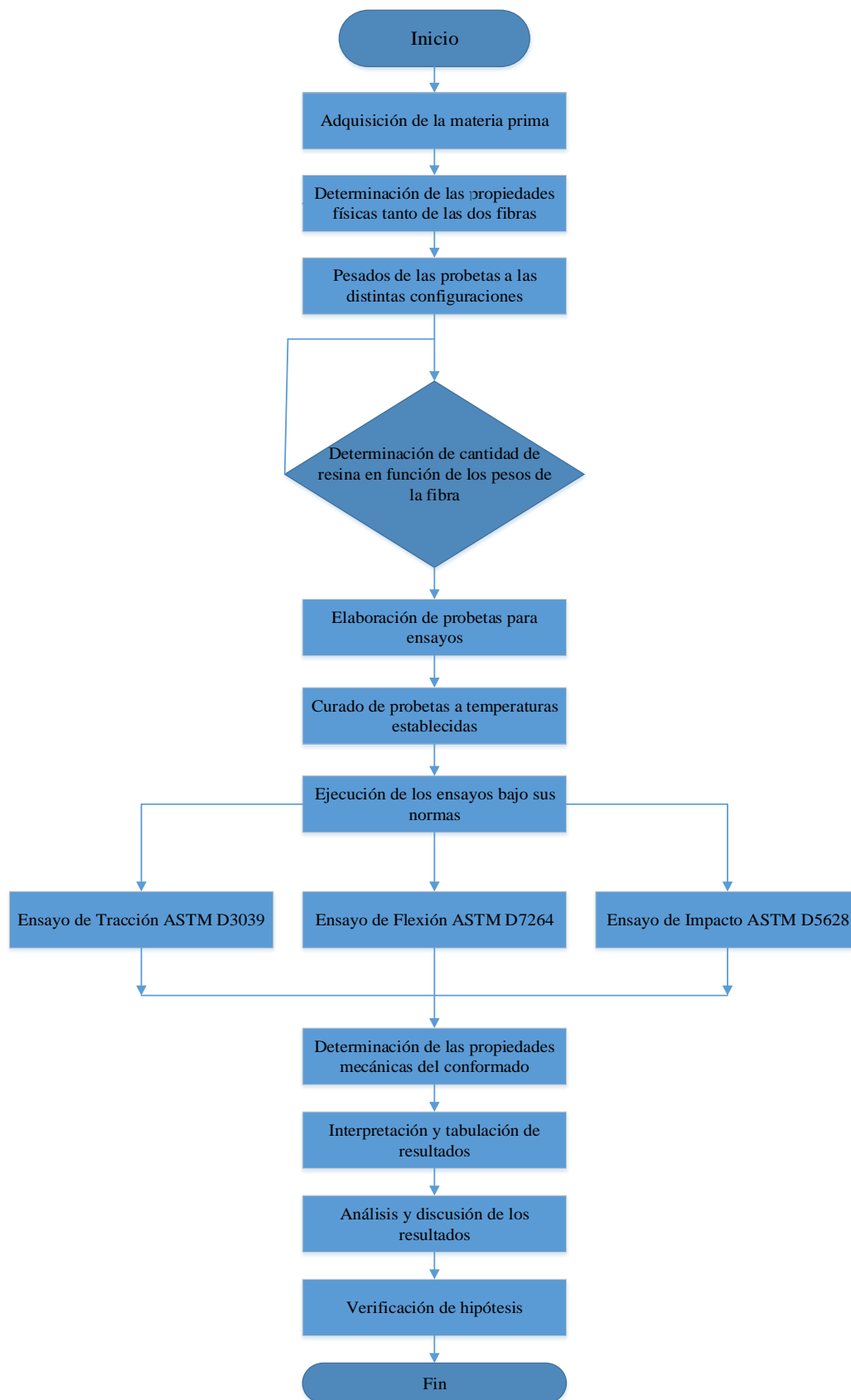


Figura 2. 1 Diagrama de flujo del material conformado

Fuente: Autor

2.3.6.1. Adquisición de la materia prima

La fibra de chambira se logró obtener en la comunidad Cofan perteneciente a la Provincia de Sucumbíos perteneciente a la región Amazónica en forma de fibra natural posterior para obtener el tejido plano se lo realiza en un telar el cual une las fibras para obtener un solo conjunto esto se realizó en Salasaca, los complementos para el proceso de vacío tanto como la bolsa de vacío, butilo, fibra de carbono 3k twill, manta de absorción, peel ply se obtuvieron en la empresa JEV Soluciones en Quito, la resina Aeropoxy PR2032 y su Catalizador PH360 se obtuvieron en SIMA AUTOMOTRIZ en Ambato.

2.3.6.2. Codificación del nuevo material compuesto

Para poder identificar las probetas de tracción, flexión e impacto de los 15 casos a analizar se dio un respectivo código a cada uno de los casos de la siguiente manera.

Tabla 2. 6.- Codificación del nuevo material compuesto

CÓDIGOS DEL MATERIAL COMPUESTO				
CASO	CODIFICACIÓN TRACCIÓN	CODIFICACIÓN FLEXIÓN	CODIFICACIÓN IMPACTO	#
C1	C-C1/0.-45/60-T-1	C-C1/0.-45/60-F-1	C-C1/0.-45/60-I-1	1
	C-C1/0.-45/60-T-2	C-C1/0.-45/60-F-2	C-C1/0.-45/60-I-2	2
	C-C1/0.-45/60-T-3	C-C1/0.-45/60-F-3	C-C1/0.-45/60-I-3	3
C2	C-C2/-45.0/60-T-1	C-C2/-45.0/60-F-1	C-C2/-45.0/60-I-1	1
	C-C2/-45.0/60-T-2	C-C2/-45.0/60-F-2	C-C2/-45.0/60-I-2	2
	C-C2/-45.0/60-T-3	C-C2/-45.0/60-F-3	C-C2/-45.0/60-I-3	3
C3	C-C3/45.0/60-T-1	C-C3/45.0/60-F-1	C-C3/45.0/60-I-1	1
	C-C3/45.0/60-T-2	C-C3/45.0/60-F-2	C-C3/45.0/60-I-2	2
	C-C3/45.0/60-T-3	C-C3/45.0/60-F-3	C-C3/45.0/60-I-3	3
C4	C-C4/0.45/60-T-1	C-C4/0.45/60-F-1	C-C4/0.45/60-I-1	1
	C-C4/0.45/60-T-2	C-C4/0.45/60-F-2	C-C4/0.45/60-I-2	2
	C-C4/0.45/60-T-3	C-C4/0.45/60-F-3	C-C4/0.45/60-I-3	3
C5	C-C5/-45.-45/90-T-1	C-C5/-45.-45/90-F-1	C-C5/-45.-45/90-I-1	1
	C-C5/-45.-45/90-T-2	C-C5/-45.-45/90-F-2	C-C5/-45.-45/90-I-2	2
	C-C5/-45.-45/90-T-3	C-C5/-45.-45/90-F-3	C-C5/-45.-45/90-I-3	3
C6	C-C6/45.-45/90-T-1	C-C6/45.-45/90-F-1	C-C6/45.-45/90-I-1	1
	C-C6/45.-45/90-T-2	C-C6/45.-45/90-F-2	C-C6/45.-45/90-I-2	2
	C-C6/45.-45/90-T-3	C-C6/45.-45/90-F-3	C-C6/45.-45/90-I-3	3
C7	C-C7/0.0/90-T-1	C-C7/0.0/90-F-1	C-C7/0.0/90-I-1	1
	C-C7/0.0/90-T-2	C-C7/0.0/90-F-2	C-C7/0.0/90-I-2	2

	C-C7/0.0/90-T-3	C-C7/0.0/90-F-3	C-C7/0.0/90-I-3	3
C8	C-C8/0.0/90-T-1	C-C8/0.0/90-F-1	C-C8/0.0/90-I-1	1
	C-C8/0.0/90-T-2	C-C8/0.0/90-F-2	C-C8/0.0/90-I-2	2
	C-C8/0.0/90-T-3	C-C8/0.0/90-F-3	C-C8/0.0/90-I-3	3
C9	C-C9/0.0/90-T-1	C-C9/0.0/90-F-1	C-C9/0.0/90-I-1	1
	C-C9/0.0/90-T-2	C-C9/0.0/90-F-2	C-C9/0.0/90-I-2	2
	C-C9/0.0/90-T-3	C-C9/0.0/90-F-3	C-C9/0.0/90-I-3	3
C10	C-C10/-45.45/90-T-1	C-C10/-45.45/90-F-1	C-C10/-45.45/90-I-1	1
	C-C10/-45.45/90-T-2	C-C10/-45.45/90-F-2	C-C10/-45.45/90-I-2	2
	C-C10/-45.45/90-T-3	C-C10/-45.45/90-F-3	C-C10/-45.45/90-I-3	3
C11	C-C11/45.45/90-T-1	C-C11/45.45/90-F-1	C-C11/45.45/90-I-1	1
	C-C11/45.45/90-T-2	C-C11/45.45/90-F-2	C-C11/45.45/90-I-2	2
	C-C11/45.45/90-T-3	C-C11/45.45/90-F-3	C-C11/45.45/90-I-3	3
C12	C-C12/0.-45/120-T-1	C-C12/0.-45/120-F-1	C-C12/0.-45/120-I-1	1
	C-C12/0.-45/120-T-2	C-C12/0.-45/120-F-2	C-C12/0.-45/120-I-2	2
	C-C12/0.-45/120-T-3	C-C12/0.-45/120-F-3	C-C12/0.-45/120-I-3	3
C13	C-C13/-45.0/120-T-1	C-C13/-45.0/120-F-1	C-C13/-45.0/120-I-1	1
	C-C13/-45.0/120-T-2	C-C13/-45.0/120-F-2	C-C13/-45.0/120-I-2	2
	C-C13/-45.0/120-T-3	C-C13/-45.0/120-F-3	C-C13/-45.0/120-I-3	3
C14	C-C14/45.0/120-T-1	C-C14/45.0/120-F-1	C-C14/45.0/120-I-1	1
	C-C14/45.0/120-T-2	C-C14/45.0/120-F-2	C-C14/45.0/120-I-2	2
	C-C14/45.0/120-T-3	C-C14/45.0/120-F-3	C-C14/45.0/120-I-3	3
C15	C-C15/0.45/120-T-1	C-C15/0.45/120-F-1	C-C15/0.45/120-I-1	1
	C-C15/0.45/120-T-2	C-C15/0.45/120-F-2	C-C15/0.45/120-I-2	2
	C-C15/0.45/120-T-3	C-C15/0.45/120-F-3	C-C15/0.45/120-I-3	3

Fuente: Autor

C-C1/0.-45/60-T-1

Dónde: C: carbono, C1: el número de caso. 0, -45: son las orientaciones respectivamente de cada uno, 60: temperatura de curado, T, F, I: son tracción flexión e impacto, 1: es el número de replicas

2.3.6.3. Distribución de las probetas de tracción, flexión e impacto.

Para realizar una óptima distribución se utilizó el programa de AutoCAD donde las probetas de tracción tienen una medida de (25x250) mm, la de flexión (13x160) mm y la de impacto (58x58) mm.

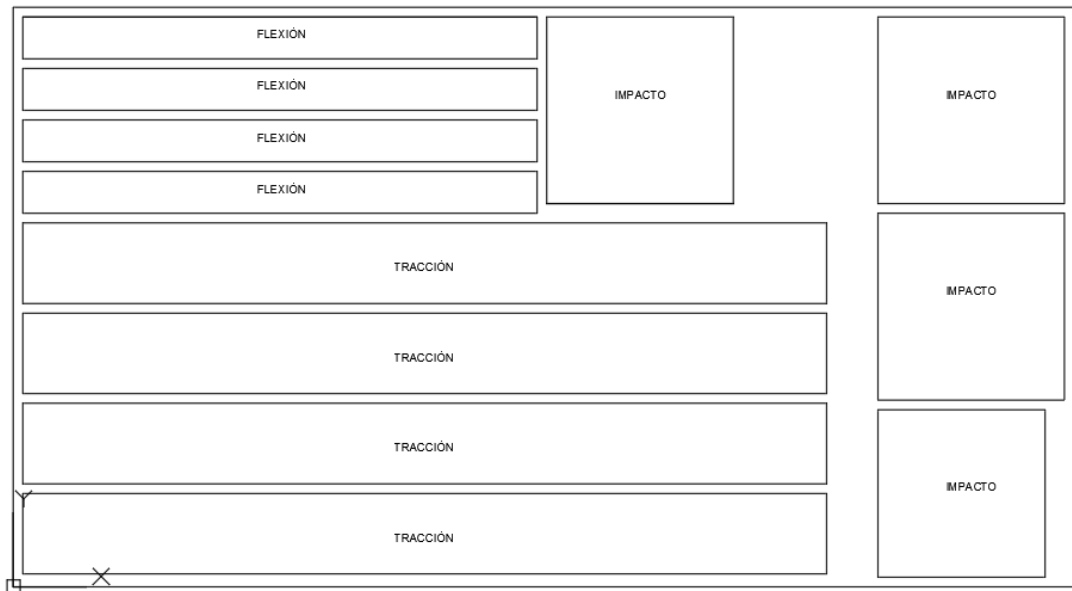


Figura 2. 2 Distribución de las probetas a tracción, flexión e impacto.

Fuente: Autor

2.3.6.4. Determinación de propiedades físicas

Fibra de chambira

Para poder obtener la densidad de la fibra de chambira se realizó el método de gravimetría el cual consiste en verter resina en un vaso de precipitación agregar un peso y observar el volumen que ha cambiado en comparación a la inicial se puede observar en Figura 2.3.

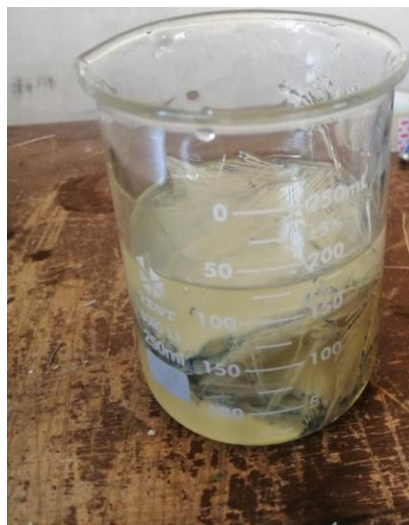


Figura 2. 3 Cálculo de la densidad de la chambira.

Fuente: Autor

La fórmula para el cálculo de la densidad fue:

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

Donde:

δ : densidad (g/cm³), m: masa (g), v: volumen (cm³)

Tabla 2. 7.- Determinación de densidad de la fibra de chambira

Cálculo de la densidad de la fibra de chambira					
Iteración	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	14	150	165	15	0.933
2	19	150	166	16	1.187
3	16	150	165	15	1.067
4	22	150	168	18	1.222
Promedio					1.102

Fuente: Autor

Fibra de Carbono

En la Tabla 2.8 se puede observar el cálculo de la densidad de la fibra de carbono se utilizó un vaso de precipitación con una cantidad de volumen de resina 125 cm³ con el método de gravimetría el cual consiste pone un volumen inicial agregar un peso y observar la variación que sufre ese volumen inicial.

Tabla 2. 8.- Determinación de densidad de la fibra de carbono

Cálculo de la densidad de la fibra de carbono					
Iteración	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	7	125	135	10	0.7
2	19	125	138	13	1.461
3	32	125	153	28	1.142
4	36	125	155	30	1.21
Promedio					1.128

Fuente: Autor

Material compuesto

En la Tabla 2.9 se realiza el mismo procedimiento que el anterior pero esta vez para determinar la densidad del material compuesto además se utilizó un volumen inicial de 175 cm³

Tabla 2. 9.- Determinación de densidad del material compuesto

Cálculo de la densidad del material compuesto					
Iteración	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	9	175	182	7	1.285
2	16	175	190	15	1.067
3	18	175	192	17	1.058
4	28	175	200	20	1.4
Promedio					1.205

Fuente: Autor

Matriz epoxi

La Tabla 2.10 se realiza el mismo procedimiento para determinar la densidad de la matriz epoxi se utilizó un volumen inicial de 175cm³

Tabla 2. 10.- Determinación de densidad de la matriz epoxi

Cálculo de la densidad de la matriz epoxi					
Iteración	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	22	175	200	25	0.88
2	29	175	205	30	0.96
3	34	175	205	30	1.13
4	36	175	205	30	1.23
Promedio					1.01

Fuente: Autor

Los valores que se obtuvieron por el método de gravimetría en la fibra de chambira 1.102 g/cm³, la fibra de carbono 1.128 g/cm³, material compuesto 1.205 g/cm³, matriz epoxi 1.01 g/cm³ los mismos que se utilizaron para cálculos posteriores.

En la Tabla 2.11 son los valores obtenidos de cada Datasheet además de los lugares donde se compraron dichos materiales tanto en SIMA AUTOMOTRIZ como JEV Soluciones.

Tabla 2. 11.- Densidades de los materiales utilizados

Material	Densidad (g/cm ³)
Fibra de chambira	1.102
Fibra de Carbono 3k twill	1.79
Resina Aeropoxy PR2032	1.16

Fuente: Autor

2.3.6.5 Determinación de cantidad de matriz en función del peso de las fibras

Para el Cálculo de cantidad de matriz se aplicó la fórmula que nos da la resina Aeropoxy PR2032 la cual es a siguiente:

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

Tabla 2. 12.- Peso de refuerzo del nuevo material

Caso	Material compuesto		Orientación			Temperatura de curado °C	Peso de chambira (g)	Peso del carbono (g)	Cantidad de matriz (g)	Peso Total del material (g)
	Capa 1	Capa 2	Capa 1	Capa 2	Capa 2					
1	Carbono	Chambira	SN	0	-45	60	36	14	39,370	89,370
2	Carbono	Chambira	SN	-45	0	60	37	16	41,732	94,732
3	Carbono	Chambira	SN	45	0	60	35	17	40,945	92,945
4	Carbono	Chambira	SN	0	45	60	37	15	40,945	92,945
5	Carbono	Chambira	SN	-45	-45	90	38	15	41,732	94,732
6	Carbono	Chambira	SN	45	-45	90	36	14	39,370	89,370
7	Carbono	Chambira	SN	0	0	90	38	17	43,307	98,307
8	Carbono	Chambira	SN	0	0	90	38	17	43,307	98,307
9	Carbono	Chambira	SN	0	0	90	37	14	40,157	91,157
10	Carbono	Chambira	SN	-45	45	90	36	15	40,157	91,157
11	Carbono	Chambira	SN	45	45	90	35	17	40,945	92,945
12	Carbono	Chambira	SN	0	-45	120	38	16	42,520	96,520
13	Carbono	Chambira	SN	-45	0	120	39	17	44,094	100,094
14	Carbono	Chambira	SN	45	0	120	35	15	39,370	89,370
15	Carbono	Chambira	SN	0	45	120	38	16	42,520	96,520
						Promedio	36,867	15,667	41,365	93,898

Fuente: Autor

2.3.6.6. Determinación de la densidad del material compuesto

Para poder determinar la densidad del material compuesto se utilizó la ecuación de las mezclas en cual consiste lo siguiente:

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec. 2.3}$$

Para poder determinar las fracciones volumétricas que intervienen en el nuevo material se realiza una medición de peso de cada una de las fibras que intervienen en el conformado de los 15 casos a estudiar lo cual se obtuve un promedio dando como resultado el peso de la fibra de chambira 36,867 la fibra de carbono 15,667, el peso de

la matriz 41.365 dando un peso total del material compuesto de 93,898. Para el cálculo de fracciones volumétricas del material se realizó una regla de 3.

- **Fracción volumétrica de la fibra de chambira**

$$\begin{aligned}
 93,898 & \text{-----} 100\% \\
 36.867 & \text{-----} f_{FCh} \\
 f_{FCh} & = \frac{36.867 * 100}{93.898} \\
 f_{FCh} & = 0.392
 \end{aligned}$$

- **Fracción volumétrica de la fibra de carbono**

$$\begin{aligned}
 93,898 & \text{-----} 100\% \\
 15.667 & \text{-----} f_{FC} \\
 f_{FC} & = \frac{15.667 * 100}{93.898} \\
 f_{FC} & = 0.167
 \end{aligned}$$

- **Fracción volumétrica de la matriz**

$$\begin{aligned}
 93,898 & \text{-----} 100\% \\
 15.667 & \text{-----} f_{Re\ poxi} \\
 f_{Re\ poxi} & = \frac{15.667 * 100}{93.898} \\
 f_{Re\ poxi} & = 0.441
 \end{aligned}$$

Una vez calculado las fracciones volumétricas se procede a calcular la densidad del material compuesto con la siguiente formula

$$\rho_C = f_{FCh} * \rho_{FCh} + f_{FC} * \rho_{FC} + f_{Re\ poxi} * \rho_{Re\ poxi} \quad \text{Ec.2.4}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_C & = (0.392 * 1.102) + (0.167 * 1.79) + (0.441 * 1.16) \\
 \rho_C & = 0.432 + 0.298 + 0.512 \\
 \rho_C & = 1.242 \text{ g / cm}^3
 \end{aligned}$$

- **Densidad obtenida en los ensayos de tracción**

En la Tabla 2.13, 2.14 y 2.15 se realizó una medición aleatoria de 4 casos de los 15 posibles tomando en cuenta que no hay una gran difefencia en su peso para calcular las densidades de las probetas ensayadas a tracción, flexión e impacto.

Tabla 2. 13.- Densidad de las probetas ensayadas a tracción

Cálculo de la densidad en los ensayos de tracción					
Caso	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	34	250	275	25	1.36
4	35	250	278	28	1.25
9	34	250	276	26	1.31
12	36	250	280	30	1.2
Promedio					1.28

Fuente: Autor

- **Densidad obtenida en los ensayos de flexión**

Tabla 2. 14.- Densidad de las probetas ensayadas a tracción

Cálculo de la densidad en los ensayos a flexión					
Caso	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	8	250	257	7	1.142
4	9	250	258	8	1.125
9	7	250	256	6	1.31
12	9	250	228	8	1.167
Promedio					1.139

Fuente: Autor

- **Densidad obtenida en los ensayos de impacto**




Tabla 2. 15.- Densidad de las probetas ensayadas a tracción

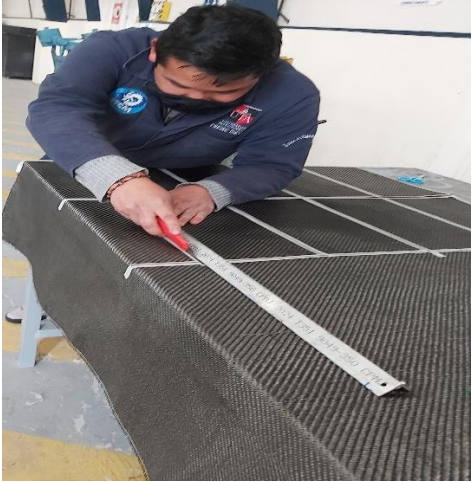
Cálculo de la densidad en los ensayos a flexión					
Caso	Peso (g)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación (cm ³)	Densidad (g/cm ³)
1	13	150	162	12	1.083
4	12	150	160	10	1.2
9	11	150	160	10	1.1
12	13	150	161	11	1.182
Promedio					1.141

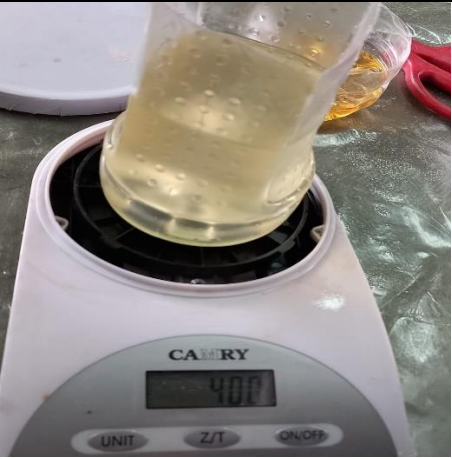

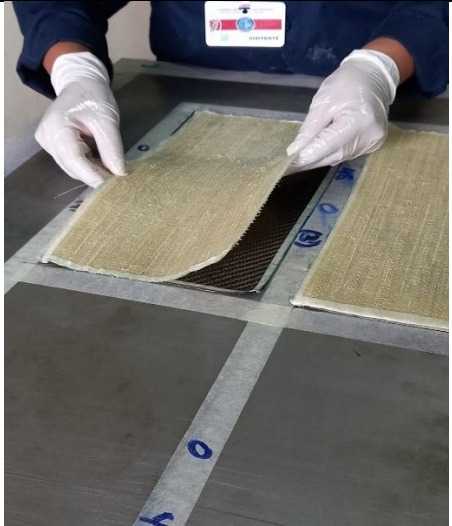
Fuente: Autor



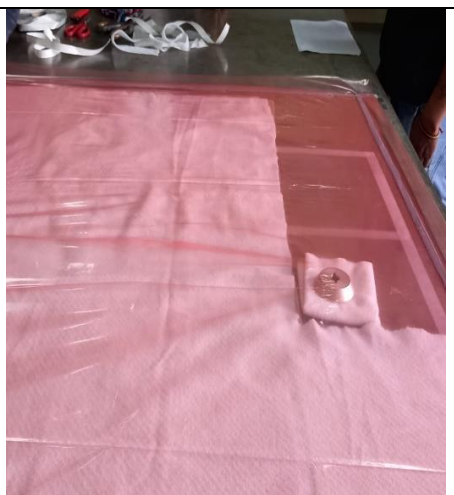
2.3.6.7. Elaboración de Probetas



Tabla 2. 16.- Elaboración de las probetas para los ensayos


Ítem	Actividades	Descripción	Ilustración
1	Medir y trazar la fibra de chambira	Con la ayuda de un flexómetro se procede a marcar las medidas además se traza los puntos señalados y con la ayuda de un masking se marca el rectángulo para evitar desperdicios de fibra.	
2	Medir y trazar la fibra de carbono	Se realiza el mismo procedimiento del ítem numero 1	
3	Cortar la fibra de chambira	Con la ayuda de una regla y un estilete se procede a cortar la fibra de chambira con la medida de (180*330) mm	

4	Cortar la fibra de carbono	Se realiza el mismo procedimiento en el ítem número 3 con la misma medida establecida (118*330) mm	
5	Limpiar la mesa de trabajo	Se remoja el guaipe con tñer y se limpia la mesa de trabajo.	
6	Encerar la mesa de trabajo	Se colca un poco de cera desmoldante en el guaipe y se repasa en la mesa de trabajo esto nos ayuda a desmolda las probetas de la mesa de trabajo.	

7	Preparar la resina también el catalizador para el mojado de las probetas.	Se procede a pesar tanto la resina con su catalizador para el mojado de las probetas.	
8	Adherir la resina epoxi a las probetas	Una vez realizado la mezcla de la resina con el catalizador se procede a remojar con una pala el contorno de la fibra de chambira como la fibra de carbono.	
9	Adherir las probetas a la mesa de trabajo	Una vez remojadas las probetas se coloca la fibra de carbono después las dos de fibras de chambira con la orientación ya establecida hasta completar los 15 casos establecidos	



10	Adjuntar el Peel play	Una vez colocadas todas las probetas se procede a colocar el Peel play el que sirve para separar las probetas de las demás telas	
11	Adjuntar la manta de absorción	Colar la manta de absorción para absorber el restante de la resina epoxi	
12	Colocar la válvula de la bomba de vacío	Colocar la válvula de vacío de la bomba dentro de la bolsa de vacío para poder absorber la resina.	

13	Colocar la cinta butilo como la bolsa de vacío	Colocar la cinta de butilo alrededor de la mesa de trabajo una vez sacar el protector de la cinta para pegar la bolsa de vacío asegurándose que no tenga fugas de aire y bien adherida el butilo con la bolsa de vacío	
14	Encender la bomba de vacío	Se acopla la válvula con la bomba de vacío verificando que no exista ninguna fuga de aire se realiza un encendido por 3 minutos se apaga se realiza este proceso 4 veces una vez realizado esto se deja secar por 24 horas.	

15	Retirar las probetas	Una vez realizado el proceso de vació se procede a desmoldar las mantas de las probetas dando resultado como la imagen mostrada.	
----	----------------------	--	--

Fuente: Autor

Tabla 2. 17.- Proceso para el curado y corte de probetas

Ítem	Actividades	Descripción	Fotografía
1	Curar las probetas	Se coloca las probetas en el horno a las temperaturas ya establecidas de 60°C, 90°C, 120°C por el tiempo de 2 horas	
2	Cortar las probetas	Se realizó el corte a laser para poder obtener las medidas necesarias para los ensayos de tracción, flexión e impacto.	

Fuente: Autor

2.3.7. Ensayo para materiales

Para poder obtener las propiedades mecánicas del material se somete a ensayos destructivos para determinar dichos valores como el esfuerzo máximo la carga máxima y otras más.

2.3.7.1. Ensayo de Tracción

En la Figura 2.4 se puede observar la máquina universal al misma que se utilizó para determinar las propiedades mecánicas del nuevo material tales como carga máxima, esfuerzo máximo, módulo de elásticas y porcentaje de elongación se basó en la norma ASTM D3039, la cual consiste en aplicar una fuerza axial entre dos puntos hasta conseguir su ruptura.



Figura 2. 4 Máquina Universal (WAW600B) para ensayos de tracción

Fuente: Autor

Para poder calcular dichas propiedades se aplica fórmulas que se describen a continuación.

- **Esfuerzo máximo**

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Dónde: σ : esfuerzo máximo a la tracción (MPa), P: Fuerza aplicada (N) y A: Área de la sección transversal (mm²)

- **Deformación por tracción**

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Dónde: ε_i : Deformación máxima (mm), δ_i : desplazamiento (mm), L_g : longitud calibrada (mm)

- **Módulo de Elasticidad**

$$\varepsilon = \frac{\Delta_\sigma}{\Delta_\varepsilon} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Dónde: ε : Módulo de Elasticidad, Δ_σ : Esfuerzo a la tracción entre dos puntos seleccionados y Δ_ε : deformación entre dos puntos seleccionados.

2.3.7.2. Ensayo de Flexión

En la Figura 2.5 se puede observar la máquina universal que se utilizó para poder determinar las propiedades mecánicas del nuevo material como: carga máxima, esfuerzo máximo, módulo de elasticidad, deformación se utilizó la norma ASTM D7264 la cual trata de analizar la carga vertical ejecutada en el centro de la probeta que esta simplemente apoyada.

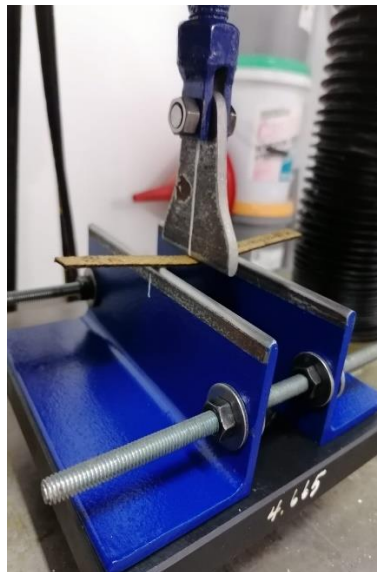


Figura 2. 5 Máquina Universal (WAW600B) para ensayos de flexión

Fuente: Autor

Para poder determinar las propiedades mecánicas en el ensayo de flexión se aplicaron las siguientes formulas.

- **Esfuerzo Máximo**

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Dónde: σ : Esfuerzo máximo de flexión (MPa), P: Fuerza (N), L: Espacio entre soportes (mm), b: Ancho de la probeta (mm), h: Espesor de la probeta (mm)

- **Deformación Máxima**

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Dónde: ε : Deformación máxima (mm/mm), δ : deformación (mm) h: espesor de la probeta (mm), L: Espacio entre soportes (mm)

- **Módulo de Elasticidad**

$$\varepsilon = \frac{\Delta_\sigma}{\Delta_\varepsilon} \quad \text{Ec. 2.10}$$

Dónde: ε : Módulo de Elasticidad, Δ_σ : Esfuerzo a la tracción entres dos puntos seleccionados y Δ_ε : deformación entre dos puntos seleccionados

2.3.7.3. Ensayo de Impacto

Para poder medir la energía de fallo de las probetas se utilizó la normar ASTM D5628, la cual se utiliza para muestras planas y rígidas utilizando un dardo como caída, la cual busca alturas diferentes donde el nuevo material falle y si no falla se busca otras alturas aumentando su peso hasta que el material falle. La norma nos informa que se debe determinar la energía media de fallo.

Para dicho cálculo se utiliza la siguiente formula

$$MEF = h * w * f \quad \text{Ec. 2.11}$$



Dónde: h: Altura máxima de ruptura (mm), w: Masa (Kg), f: Factor de conversión a Joules

CAPÍTULO III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Interpretación y tabulación de datos

3.1.1. Recolección de datos del ensayo de Tracción

Tabla 3. 1 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 1

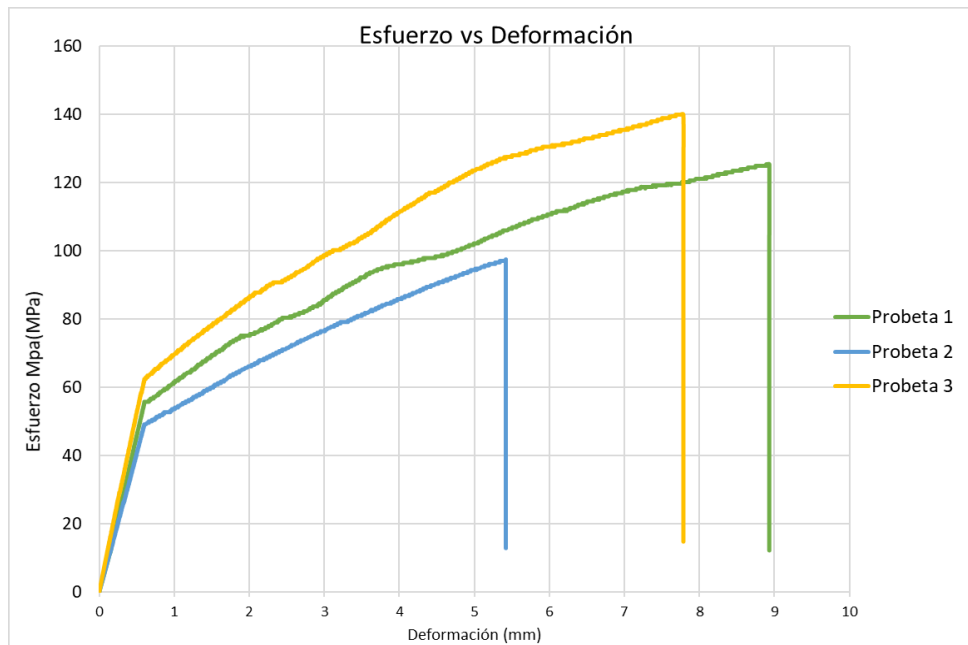
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C1/0.-45/60-T-1				
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	39.37		
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1.69		
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	50	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	
1	5300	63	125	9480	1.5	LIT	
2	4360	53	100	8410	1	LIT	
3	5460	71	140	10170	1,5	LIT	

Promedio	5040	62,33	121,67	9353,33	1,33	
-----------------	------	-------	--------	---------	------	--

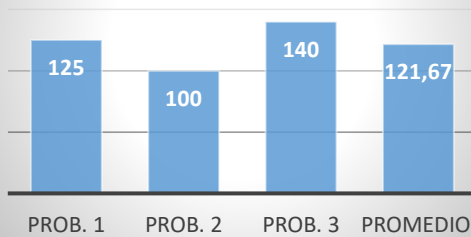
PROBETAS ENSAYADAS



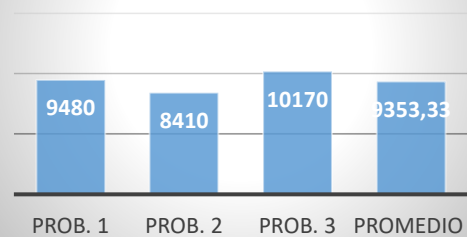
GRÁFICAS



Esfuerzo maximo (MPa)



Módulo de elasticidad



OBSERVACIÓN



Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las mismas presentan tipos de fallo LIT, lo que significa que las probetas tienen una ruptura dentro del agarre.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	121,67	Elaborado por:	Sr. Diego Freire

% Elongación:	1,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	9353,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	5040	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 2 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 2

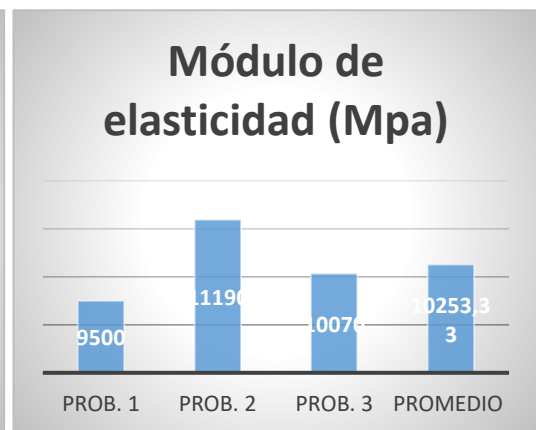
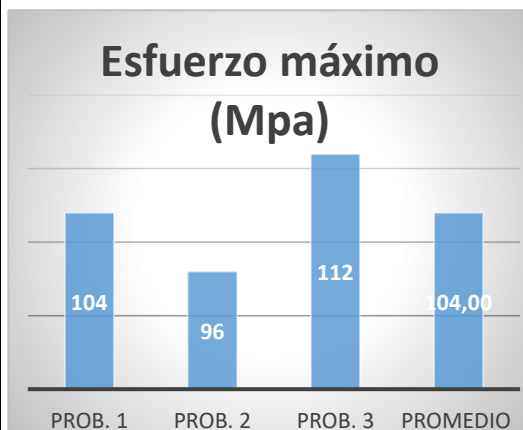
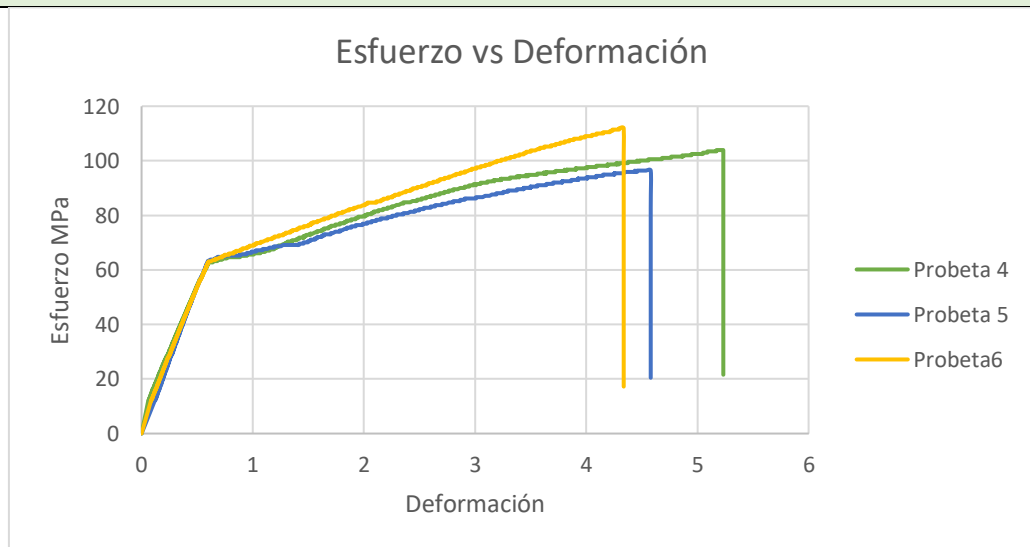
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C2/-45.0/60-T		
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	41.73
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	-45°,0°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1.69
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	53	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno
RESULTADOS					

N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	4340	65	104	9500	4	AGM
2	3960	66	96	11190	5	AGM
3	4680	66	112	10070	1	LAT
Promedio	4326,67	65.67	104	10253,33	3,33	

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además, la probeta 1 y 2 tienen un fallo tipo AGM, que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida. La probeta 3 tiene un tipo de fallo LAT, lo que significa que la probeta tiene una ruptura en la parte superior de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	65,67	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	3,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	10253,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	4326,67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 3 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C3/45.0/60-T		
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	40.94
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación:	Al vacío

Orientación de fibra:	45°,0°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1.75
Peso de las fibras Fc+FCh (gr)	52	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno

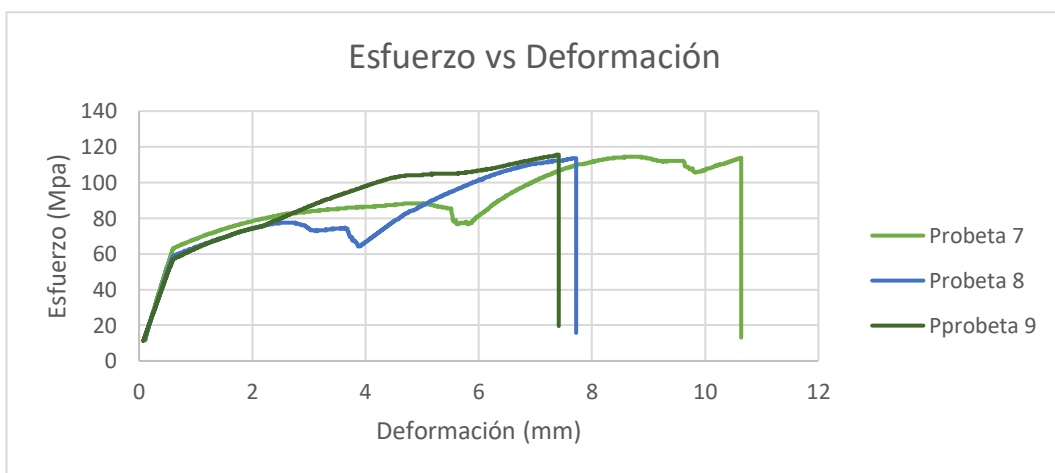
RESULTADOS

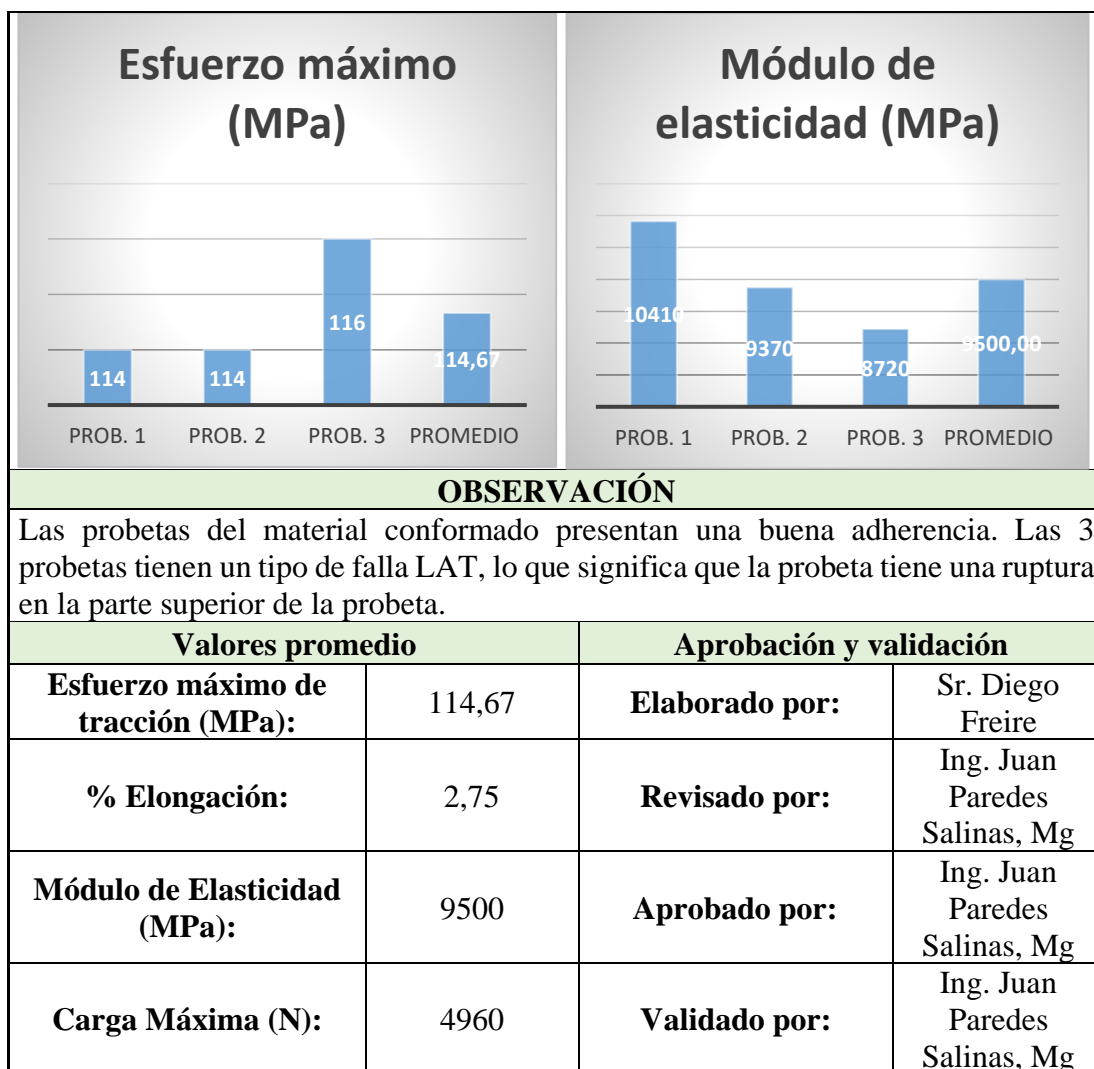
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	4900	66	114	10410	2,5	LAT
2	4780	62	114	9370	1,5	LAT
3	5200	60	116	8720	1,5	LAT
Promedio	4960	62,67	114,67	9500	2,75	

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





Fuente: Autor

Tabla 3. 4 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 4

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS TRACCIÓN ASTM D3039 DATOS INFORMATIVOS		
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C4/0.45/60-T
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	40.94
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	0°,45°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1.58
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	52	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno

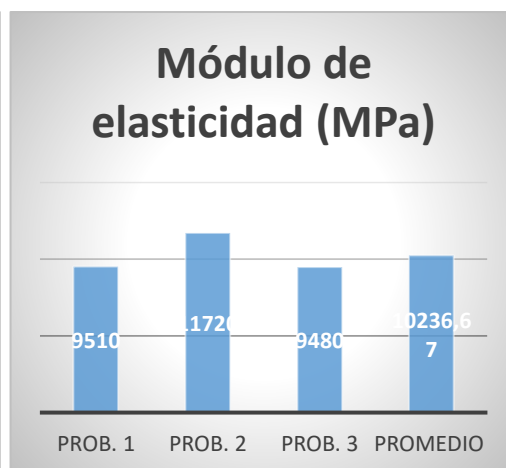
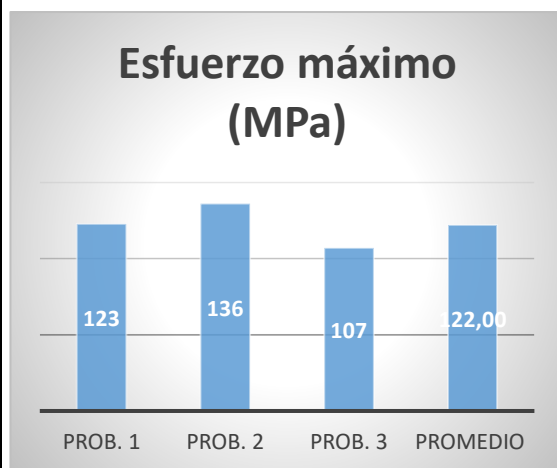
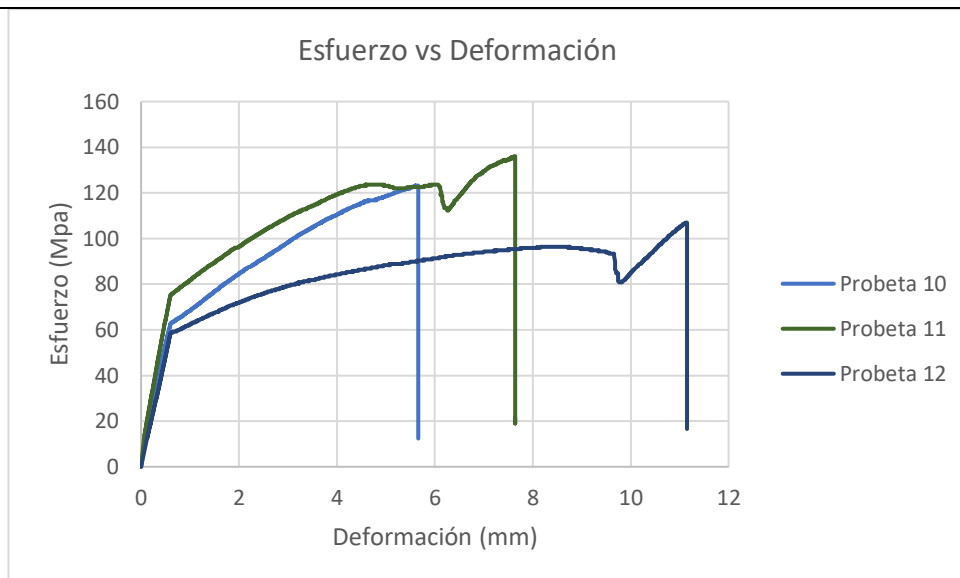
RESULTADOS

N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	4980	66	123	9510	2.5	LIT
2	5020	79	136	11720	1	LIT
3	4260	61	107	9480	3	LIT
Promedio	4753,33	68,67	122	10236,67	2,17	

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las mismas presentan tipos de fallo LIT, lo que significa que las probetas tienen una ruptura dentro del agarre.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	122	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	2,17	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	10236,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	4753,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

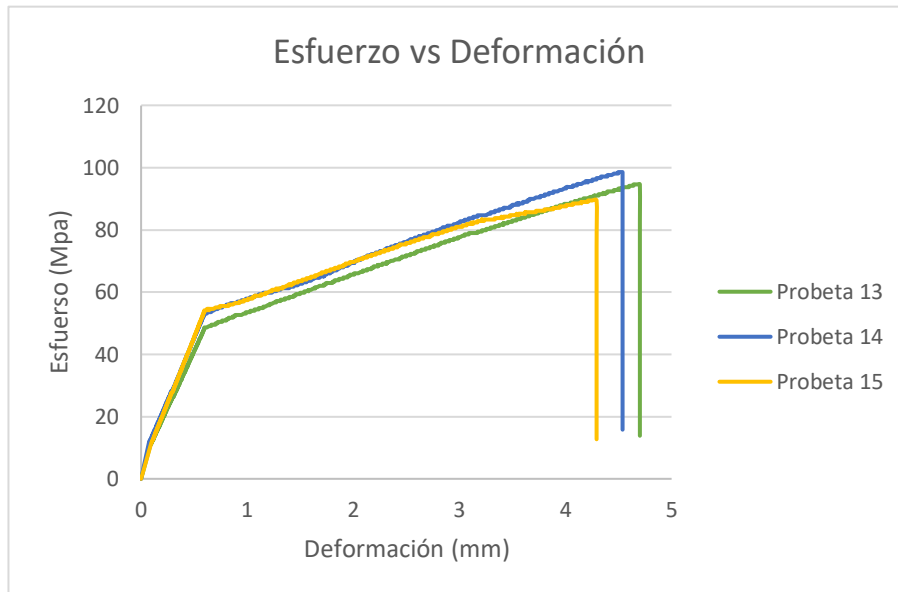
Tabla 3. 5 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 5

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C5/-45.-45/90-T				
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	41.73		
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de fibra:	-45°, -45°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1.73		
Peso de la fibra CH peso de la fibra de Carbono (gr):	53	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	
1	4240	52	95	7290	1,5	AGM	
2	4120	56	99	7900	0,5	LAT	
3	3800	56	89	8360	1	LAT	
Promedio	4053,33	54,67	94,33	7850	1		

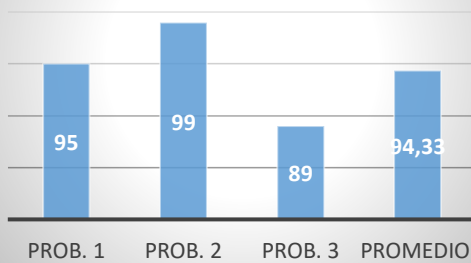
PROBETAS ENSAYADAS



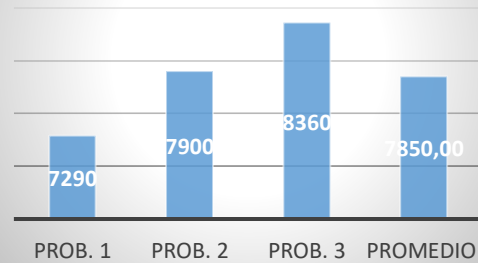
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN



Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además la probeta 1 tiene un tipo de fallo AGM, lo que significa que la probeta tiene una ruptura angular en la zona calibrada en la probeta medida, las probetas 2 y 3 tiene un tipo de fallo LAT, lo que significa que la probeta tiene una ruptura en la parte superior de la misma.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	94,33	Elaborado por:	Sr. Diego Freire

% Elongación:	1	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (GPa):	7850	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	4053,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 6 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 6

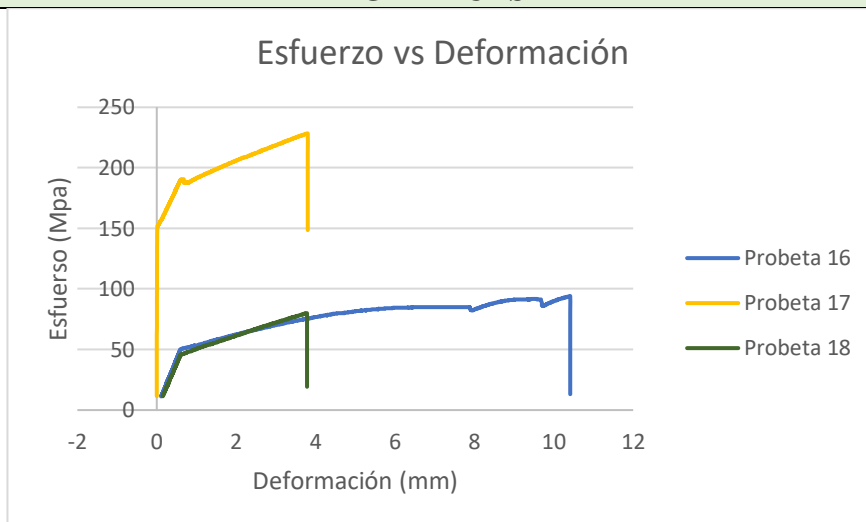
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C6/45.-45/90-T		
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	39.37
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	45°, -45°	Orden de capas:	FC+FCh+FC h	Espesor promedio (mm):	1,803
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	50	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno
RESULTADOS					

N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	4160	52	94	8010	1,5	LIT
2	10320	163	228	9429	4,5	LIT
3	3500	49	80	7560	1,5	LIT
Promedio	5993,3	88	134	8333	2,5	

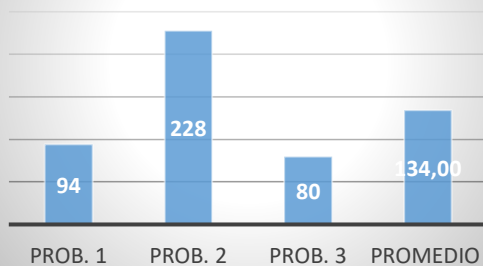
PROBETAS ENSAYADAS



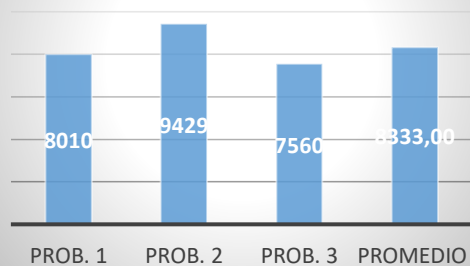
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las mismas presentan tipos de fallo LIT, lo que significa que las probetas tienen una ruptura dentro del agarre.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	134	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	2,5	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	8333	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	5993,3	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 7 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 7

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C7/0/90-T		
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	43.31
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	0°,0°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,7

Peso de las fibras FC+FCh (gr)	55	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno
---------------------------------------	----	-----------------------------	---------	-------------------------	-------------

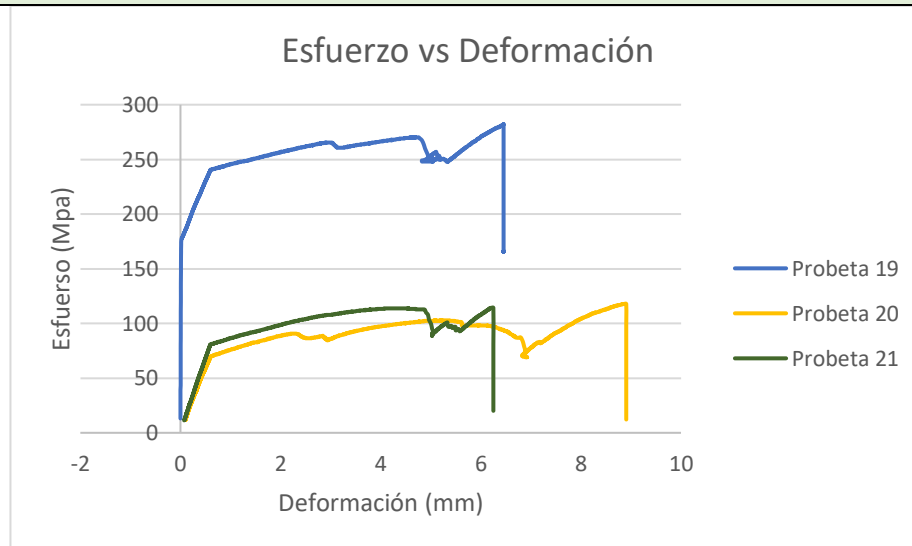
RESULTADOS

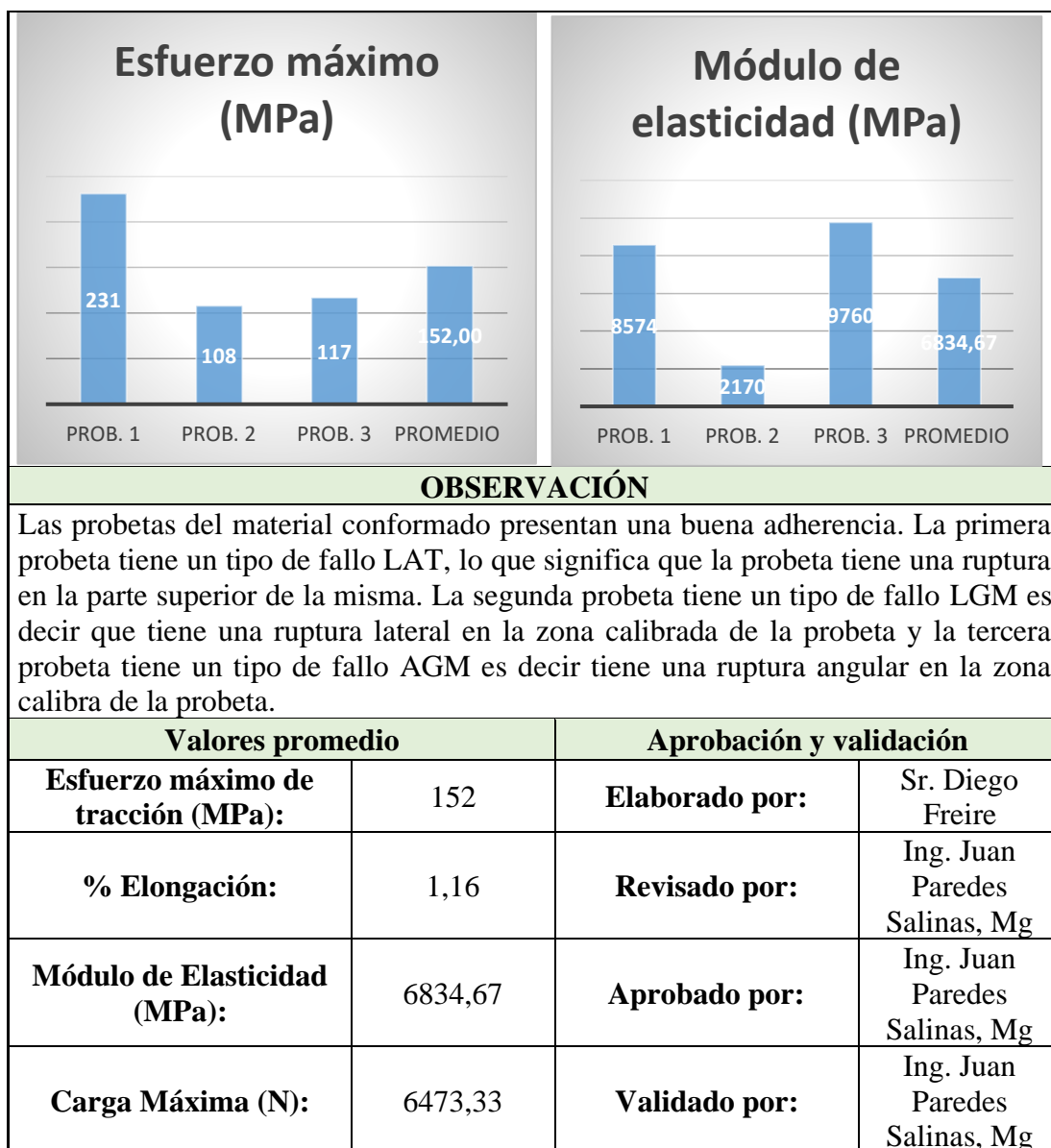
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	10320	160	231	8574	0,5	LAT
2	4360	84	108	2170	2	LGM
3	4740	64	117	9760	1	AGM
Promedio	6473,33	102,66	152	6834,67	1,16	

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





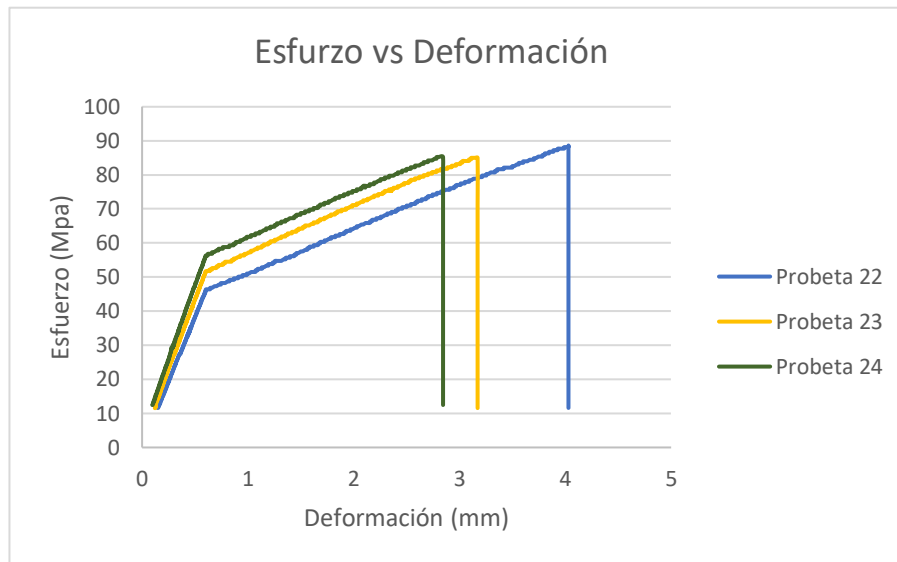
Fuente: Autor

Tabla 3. 8 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 8

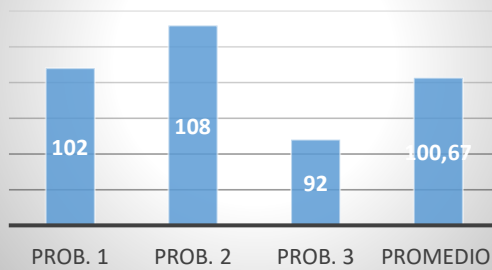
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
TRACCIÓN ASTM D3039			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C8/0/90-T
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B

Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	43.71	
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de fibra:	0°,0°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,71	
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	55	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	4220	64	102	9970	1,5	LGM
2	4660	63	108	9860	1,5	LAT
3	3880	58	92	9740	0,5	LAT
Promedio	4253,33	61,66	100,67	9856,67	1,16	
PROBETAS ENSAYADAS						
						

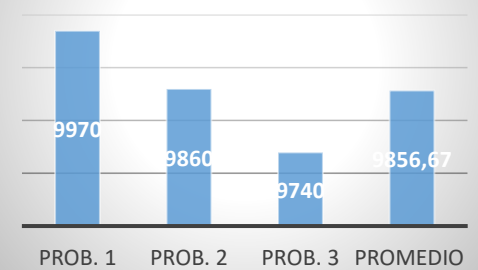
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)




OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia. La primera probeta tiene un tipo de fallo LGM es decir tiene una ruptura lateral en la zona calibre de la probeta. La 2 y 3 tiene un tipo de fallo LAT es decir que la probeta tiene una ruptura en la parte superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	100,67	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	1,16	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	9856,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	4253,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

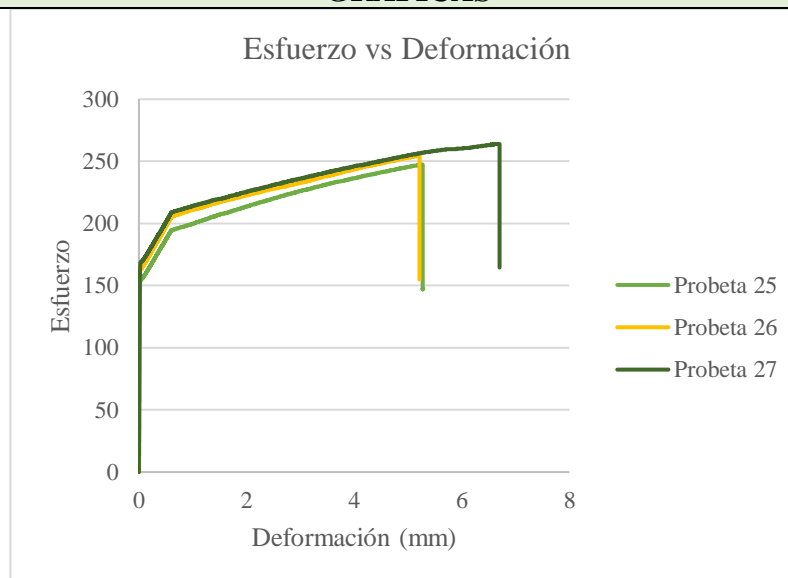
Tabla 3. 9 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 9

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C9/0/90-T				
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	40.16		
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de fibra:	0°,0°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,67		
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	51	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	
1	10740	199	282	19550	2.5	LAT	
2	5040	73	118	11160	3	LAT	
3	5000	84	114	13570	1.5	LAT	
Promedio	6926,66	118,7	171,33	14760	2,33		

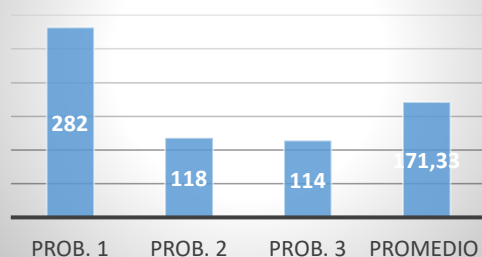
PROBETAS ENSAYADAS



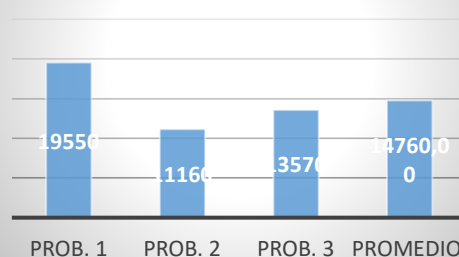
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las mismas presentan tipos de fallo LAT, lo que significa que las probetas tienen una ruptura en la parte superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	171,33	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	2,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Módulo de Elasticidad (MPa):	14760	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	6926,66	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 10 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 10

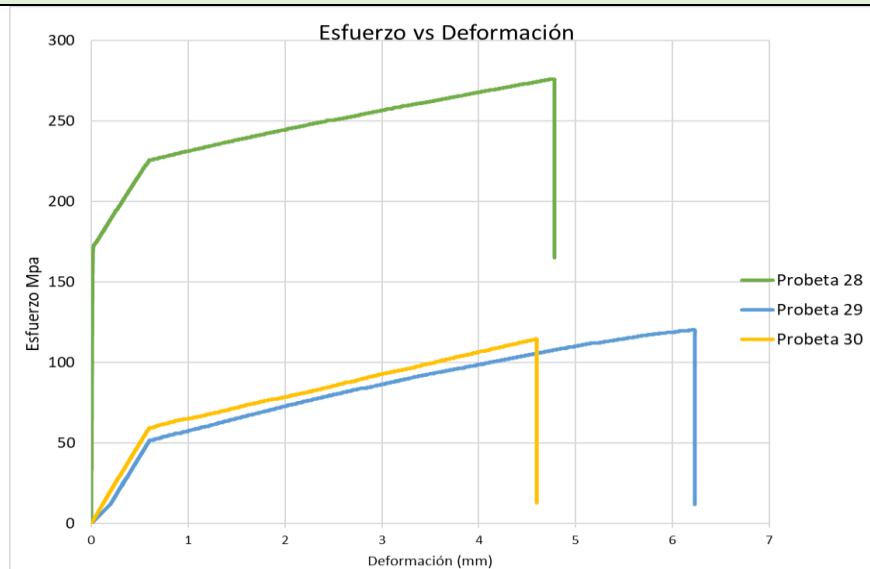
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C10/-45.45/90-T				
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	40.16		
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de fibra:	-45°,45°	Orden de capas:	FC+FCH+FC H	Espesor promedio (mm):	1,706		
Peso de las fibras de FC+FCh	51	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	

1		3820	49	89	7520	1,5	LIT
2		3680	54	85	8330	2,5	LIT
3		3420	59	85	8830	2,5	LIT
Promedio		1820	54	86,33	8226,67	2,16	

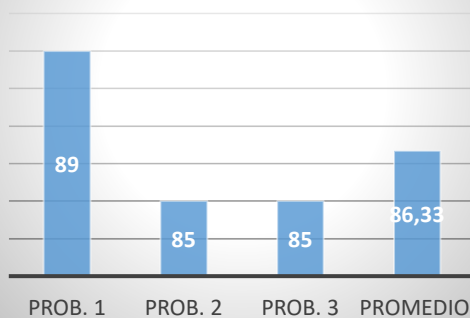
PROBETAS ENSAYADAS



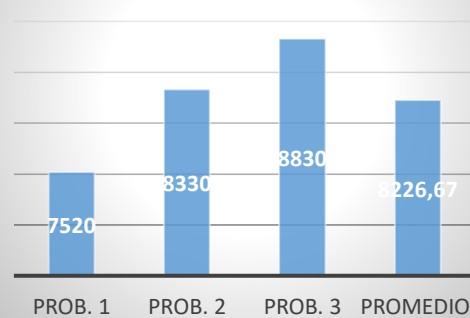
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las mismas presentan tipos de fallo LIT, lo que significa que las probetas tienen una ruptura dentro del agarre.



Valores promedio

Aprobación y validación

Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	86,33	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	2,16	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	8226,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	1820	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 11 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 11

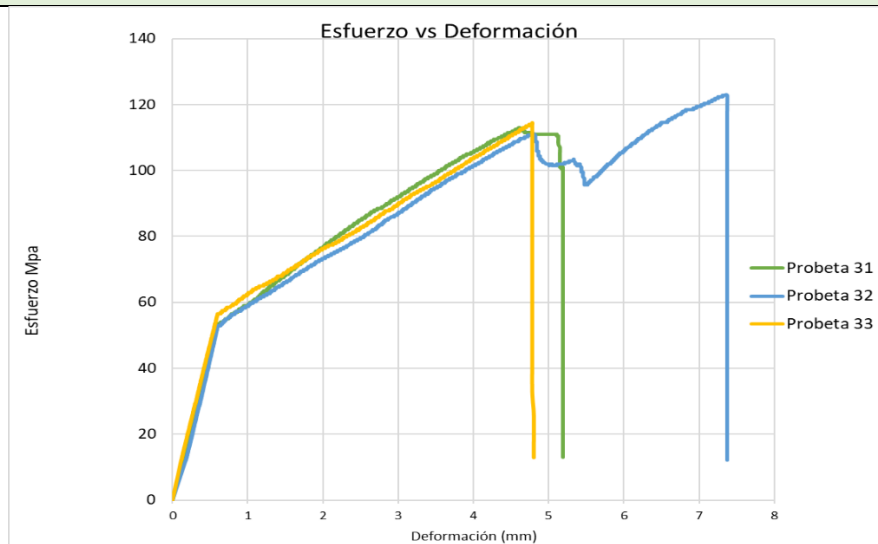
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C11/45.45/90-T		
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	40.95
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	45°,45°	Orden de capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,79
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	52	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno
RESULTADOS					

N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	11240	166	247	11340	1	LAT
2	11360	176	254	10550	0,5	LAT
3	11360	180	264	10220	1	LAT
Promedio	11320	174	255	10703,33	0,83	

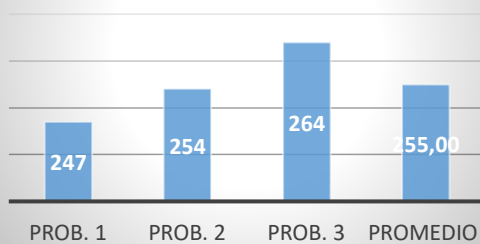
PROBETAS ENSAYADAS



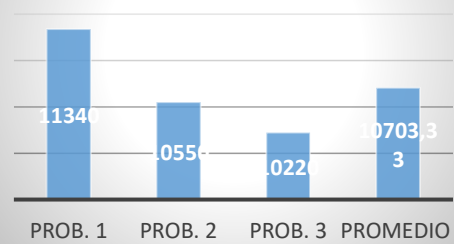
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las mismas presentan tipos de fallo LAT, lo que significa que las probetas tienen una ruptura en la parte superior.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	255	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	0,83	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	10703,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	11320	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 12 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 12

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C12/0.-45/120-T		
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	42,52
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de 3capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,79

Peso de las fibras FC+FCh (gr)	54	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno
---------------------------------------	----	-----------------------------	---------	-------------------------	-------------

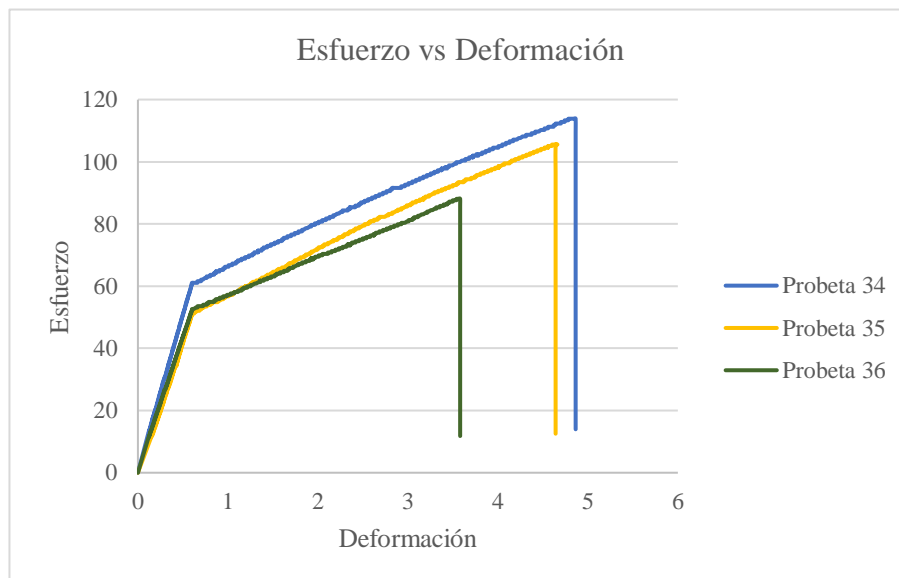
RESULTADOS

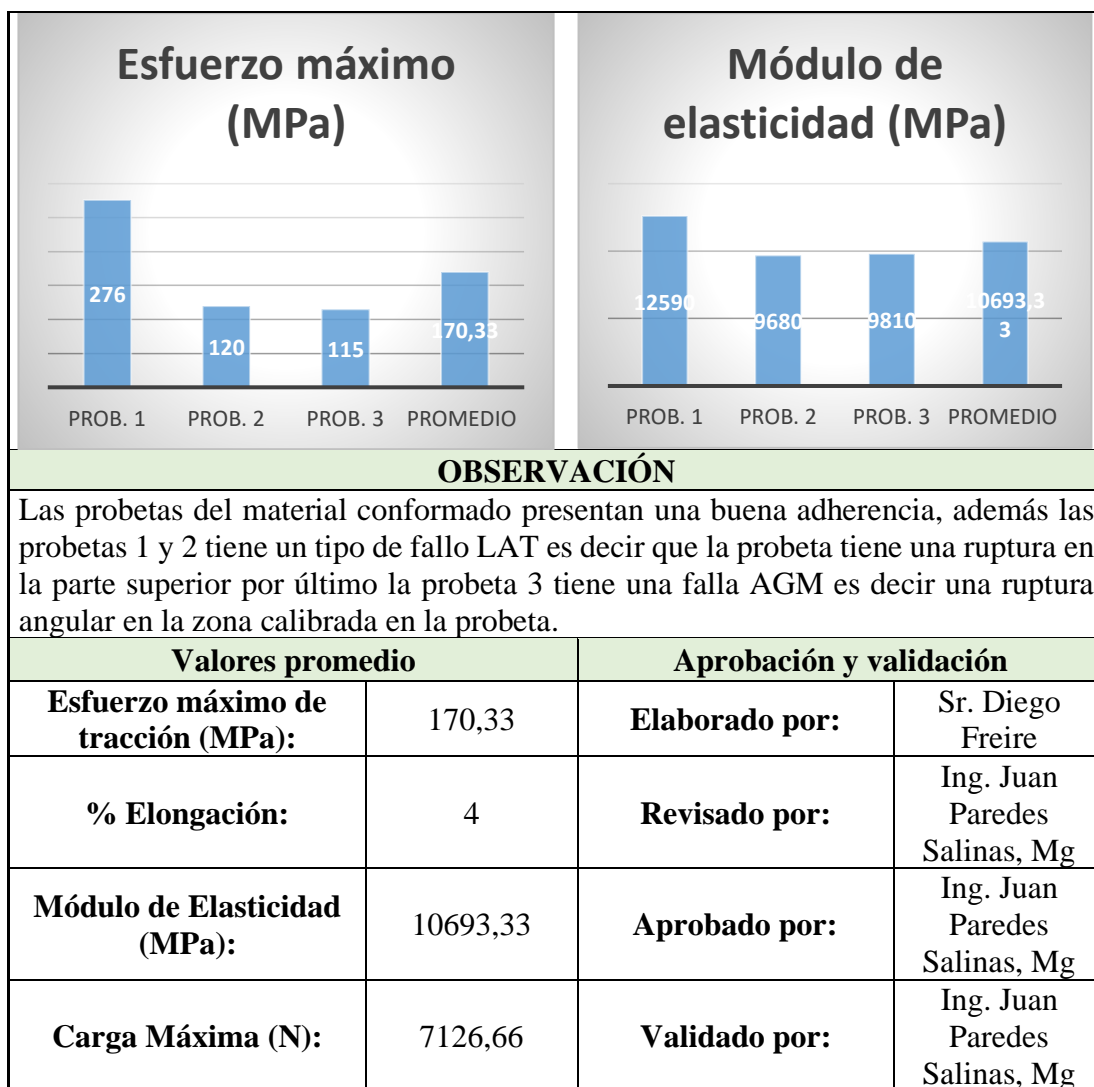
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	11700	191	276	12590	3	LAT
2	5060	60	120	9680	3.5	LAT
3	4620	63	115	9810	5.5	AGM
Promedio	7126,7	104,7	170,33	10693,33	4	

PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS





Fuente: Autor

Tabla 3. 13 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 13

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
TRACCIÓN ASTM D3039			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C13/-45.0/120-T
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE ENSAYO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	44.09
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi ra	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	-45°,0°	Orden de 3capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,62
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	56	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno

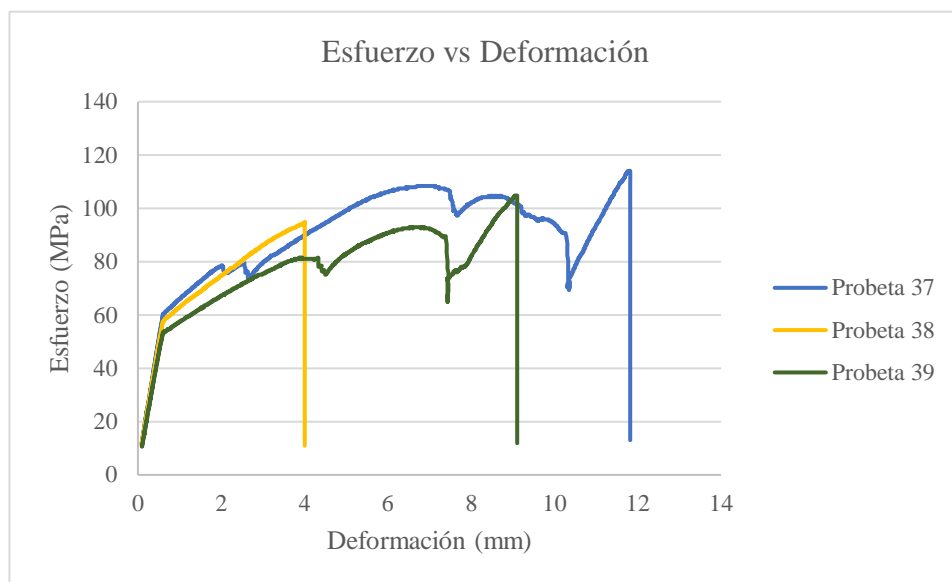
RESULTADOS

N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado
1	4520	57	113	9120	2	LAT
2	5060	62	123	9750	1	LGM
3	4900	65	127	9940	0,5	LAT
Promedio	4826,67	61,33	121	9603,33	1,16	

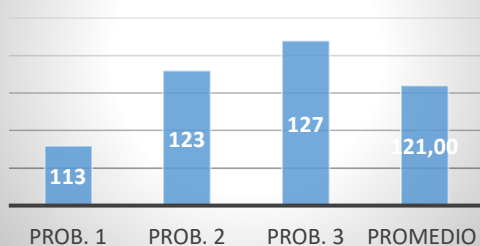
PROBETAS ENSAYADAS



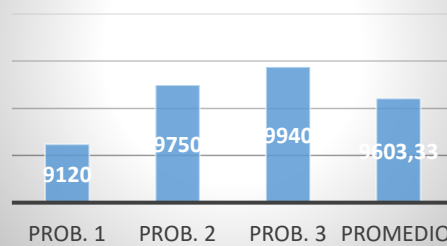
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)




OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las probetas 1 y 3 tiene un tipo de fallo LAT es decir que la probeta tiene una ruptura en la parte superior y la probeta 2 tiene un tipo de fallo LGM es decir que tiene una ruptura lateral en la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	61,33	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	1,16	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (GPa):	9603,33	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	4826,67	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 14 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 14

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
		FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C14/45.0/120-T				
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	39,37		
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de fibra:	45°,0°	Orden de 3capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,7		
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	50	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	
1	4400	64	114	10010	0,5	LAT	
2	4540	55	106	8820	3	LGM	
3	3880	55	88	8530	2	LAT	
Promedio	4273,33	58	102,67	9120	1,83		

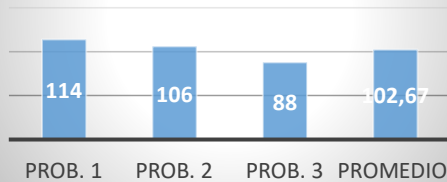
PROBETAS ENSAYADAS



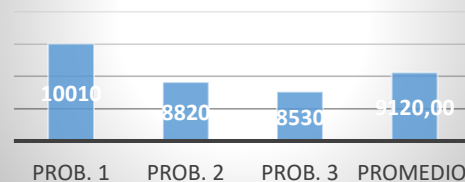
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las probetas 1 y 3 tiene un tipo de fallo LAT es decir que la probeta tiene una ruptura en la parte superior y la probeta 2 tiene un tipo de fallo LGM es decir que tiene una ruptura lateral en la zona calibrada de la probeta.

Valores promedio		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	102,67	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
% Elongación:	1,83	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Módulo de Elasticidad (GPa):	9120	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	4273,33	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

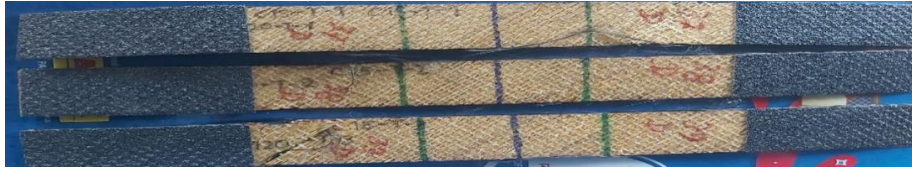
Fuente: Autor

Tabla 3. 15 Ficha técnica del material híbrido a Tracción caso 15

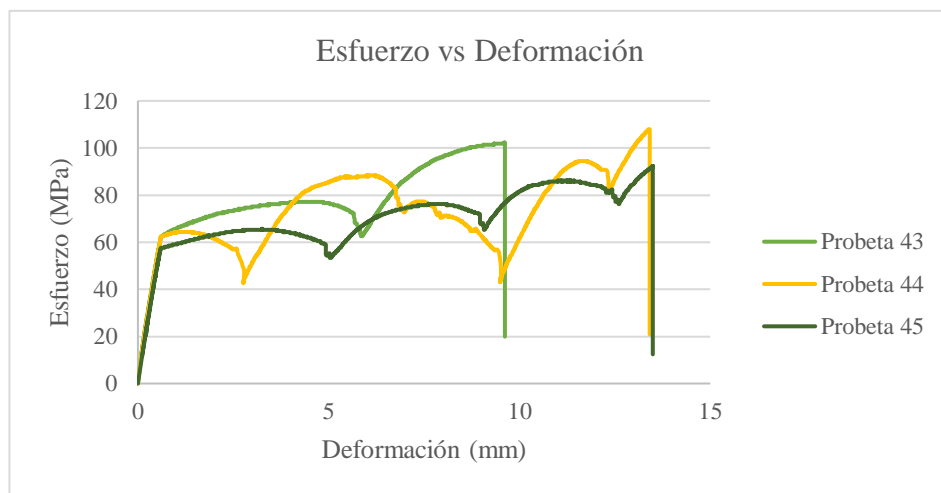
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS							
TRACCIÓN ASTM D3039							
DATOS INFORMATIVOS							
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C15/0.45/120-T				
Fecha de ejecución:	17/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B				
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg				
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D3039	Número de probetas:	3		
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	250*25*e	Peso de la matriz (gr):	42,52		
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambira	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación:	Al vacío		
Orientación de fibra:	0°,45°	Orden de 3capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,83		
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	54	Velocidad de ensayo:	2mm/min	Tiempo de curado	2h en horno		
RESULTADOS							
N° de probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Fluencia (MPa)	Esfuerzo Máximo a la tracción (MPa)	Módulo de Elasticidad (MPa)	% Elongación	Tipo de fallo evaluado	

1		4900	64	114	9500	1,5	LAT
2		4320	61	95	9200	0,5	LAT
3		4940	56	105	8710	1,5	AGM
Promedio		4720	60,33	104,66	9136,67	1,16	

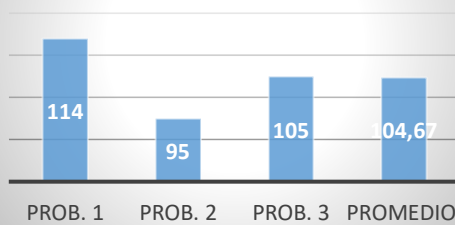
PROBETAS ENSAYADAS



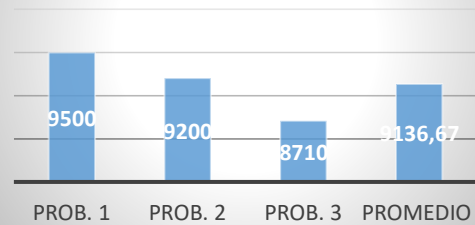
GRÁFICAS



Esfuerzo máximo (MPa)



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además la probeta 1 y 2 presentan tipos de fallo LAT, lo que significa que las probetas tienen una ruptura en la parte superior y la probeta 3 tiene un fallo AGM lo que nos indica que tiene una ruptura angular en zona calibrada de la misma.

Valores promedio

Esfuerzo máximo de tracción (MPa): 104,67

Aprobación y validación



Elaborado por: Sr. Diego Freire

% Elongación:	1,16	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Módulo de Elasticidad (MPa):	9136,67	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga Máxima (N):	4720	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

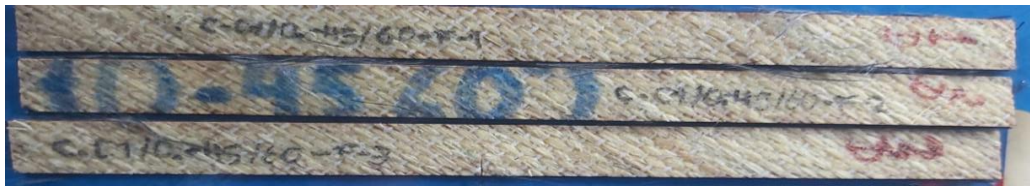
3.1.2. Recolección de datos del ensayo a Flexión

Tabla 3. 16 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 1

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C1/45.0/60-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMay-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	39,37
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,67
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	50	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					

Nº de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	30,11	72,38	9,14	2670	OAU
2	25,56	56,76	9,01	2060	OAU
3	32,2	64,7	8,78	2530	OAU
Promedio	29,29	64,61	8,98	2420	

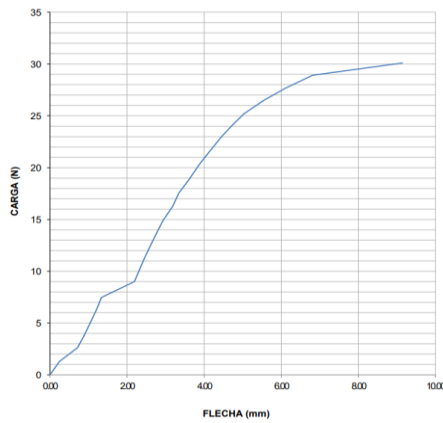
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

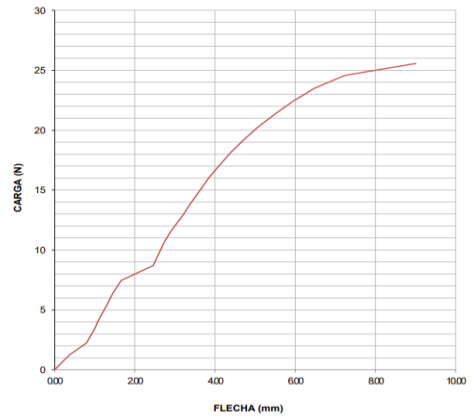
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA Nº: 1
 DESIGNACIÓN: C-C1/0-45/60-F-1
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



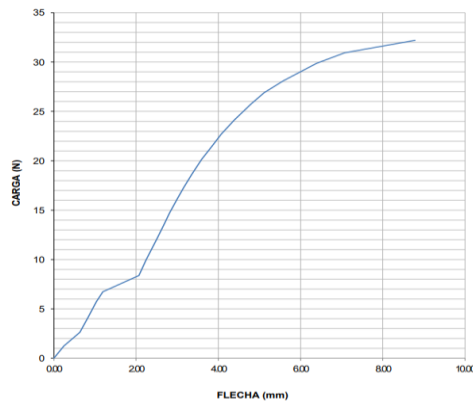
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

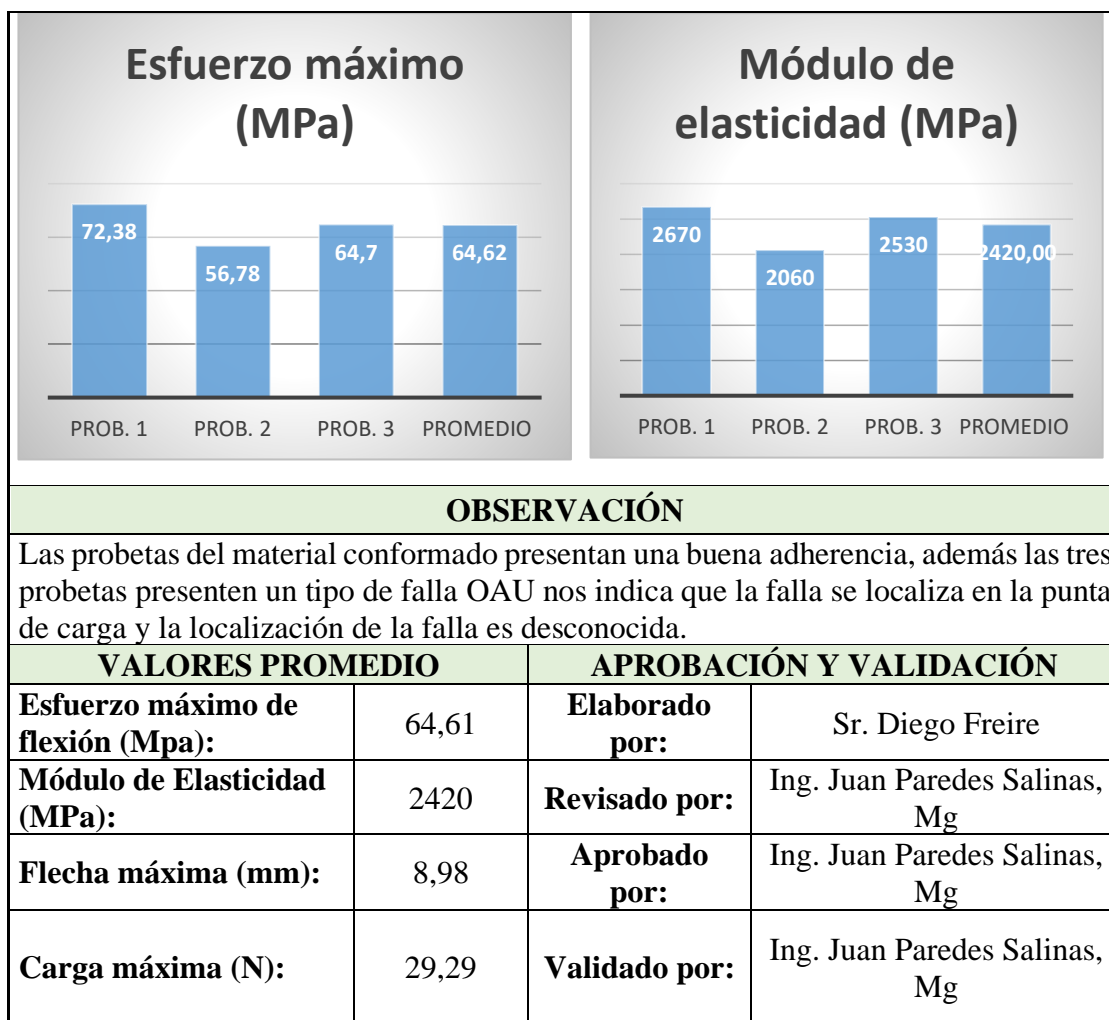
MUESTRA Nº: 2
 DESIGNACIÓN: C-C1/0-45/60-F-2
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA Nº: 3
 DESIGNACIÓN: C-C1/0-45/60-F-3
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21





Fuente: Autor

Tabla 3. 17 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
FLEXIÓN ASTM D7264			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C2/-45.0/60-F
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE DISEÑO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	41,73
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación :	Al vacío
Orientación de fibra:	-45°, 0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,45
Peso las fibras FC+FCh (gr)	53	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	25,57	66,66	5,53	3720	OAT
2	25,38	74,46	5,24	4820	OAT
3	24,1	79,28	5,34	4820	OAT
Promedio	25,02	73,46	5,37	4453,33	

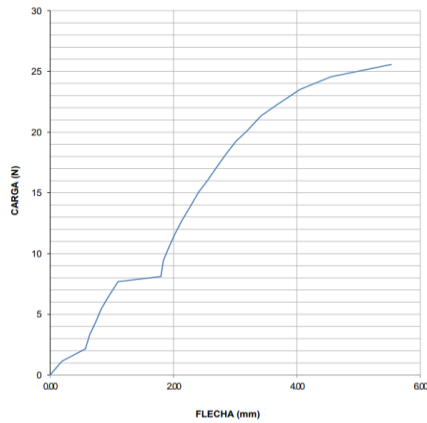
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

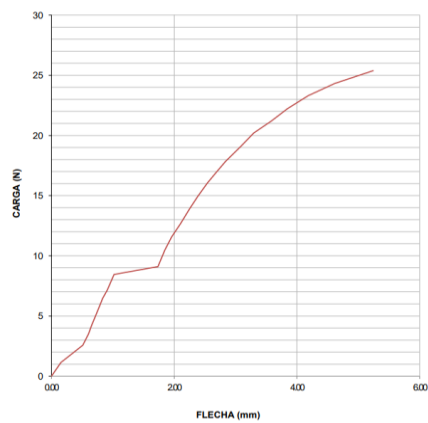
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 4
DESIGNACIÓN: C-C2/45.0/60-F-1
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



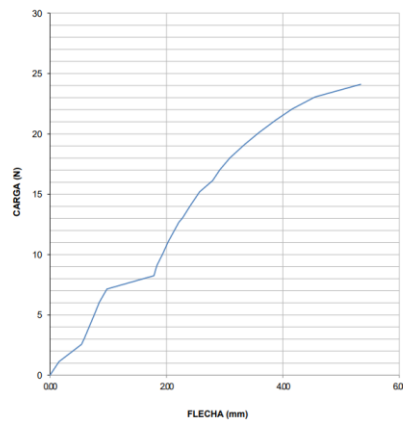
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 5
DESIGNACIÓN: C-C2/45.0/60-F-2
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21

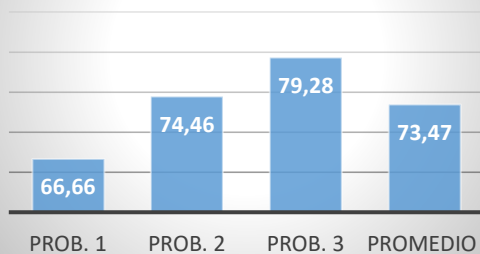


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

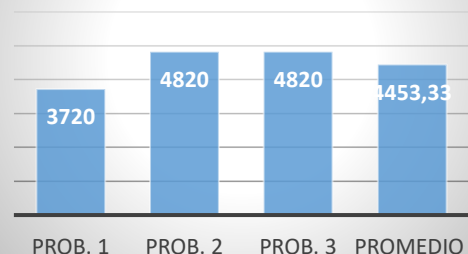
MUESTRA N°: 6
DESIGNACIÓN: C-C2/45.0/60-F-3
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**Esfuerzo máximo
(MPa)**



**Módulo de
Elasticidad (MPa)**



OBSERVACIÓN

Las tres probetas del material conformado presentan una buena adherencia, las mismas tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.



VALORES PROMEDIO

APROBACIÓN Y VALIDACIÓN

Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	73,47	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	4453,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	5,37	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	25,02	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 18 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS				
FLEXIÓN ASTM D7264						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C3/45.0/60-F			
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE DISEÑO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	40,94	
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de fibra:	45°, 0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,583	
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	52	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla	

		máximo (MPa)			
1	31,7	77,65	4,92	7010	OAU
2	34	83,56	5,93	6920	OAU
3	27,99	68,67	4,35	7900	OAU
Promedio	31,13	76,64	5,07	7276,67	

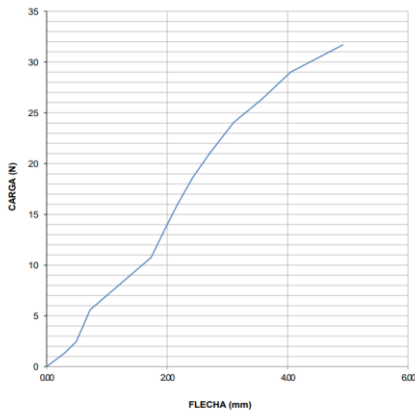
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

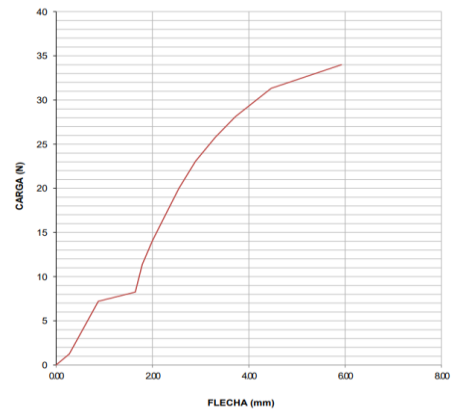
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 7
DESIGNACIÓN: C-C3/45.0/60-F-1
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



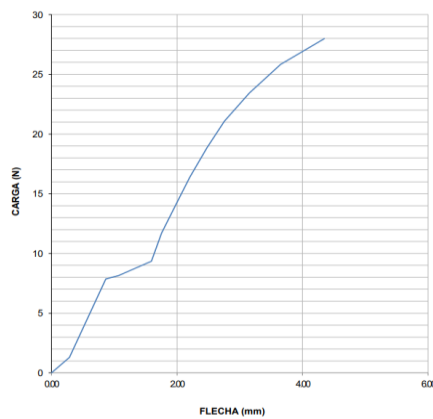
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

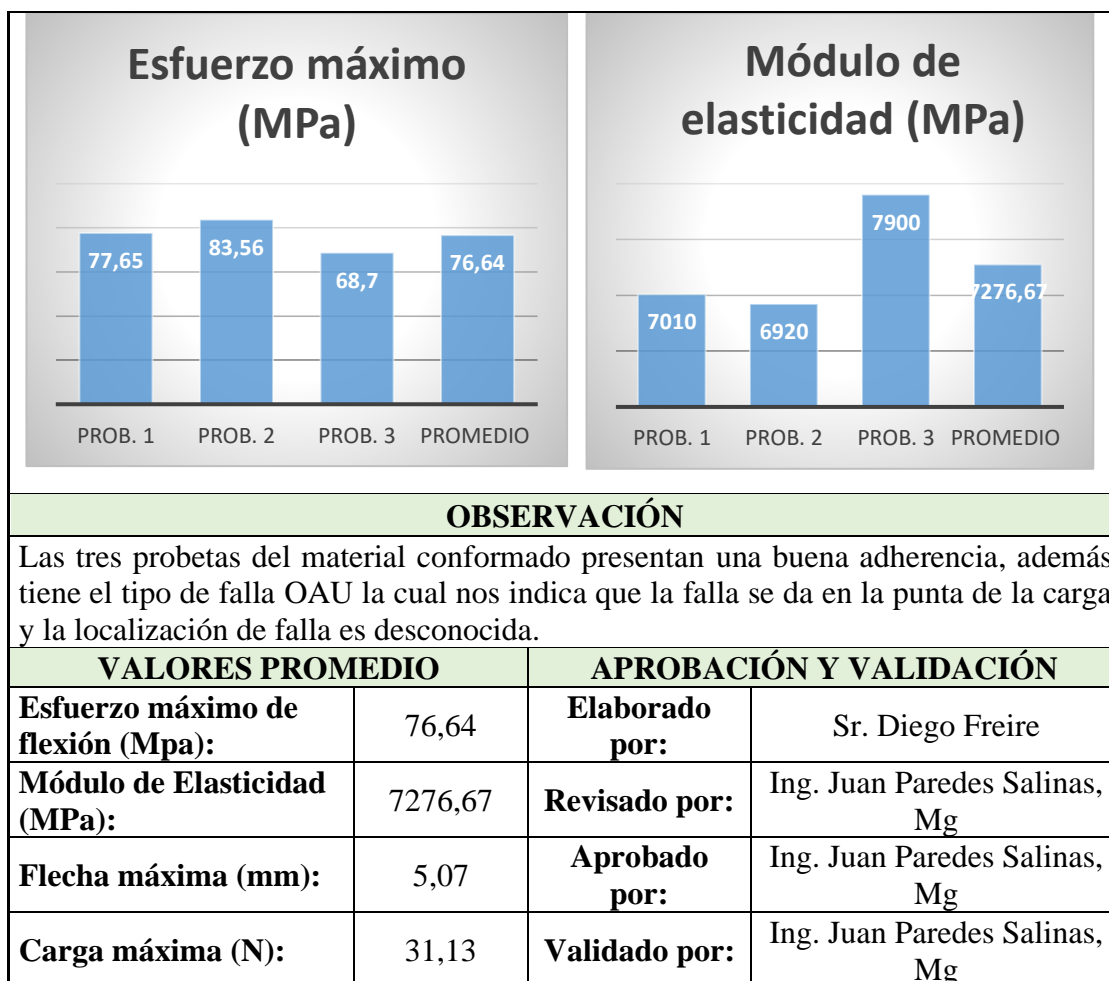
MUESTRA N°: 8
DESIGNACIÓN: C-C3/45.0/60-F-2
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 9
DESIGNACIÓN: C-C3/45.0/60-F-3
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21





Fuente: Autor

Tabla 3. 19 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 4

	UNIVERSIDAD TICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C4/0.45/60-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3

Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	40,94
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	60°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	0°, 45°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,583
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	52	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	17,73	43,43	7,2	1570	OAB
2	16,88	40,98	8,52	1460	OAB
3	17,47	42,87	7,87	1380	OAB
Promedio	17,36	42,43	7,86	1470	

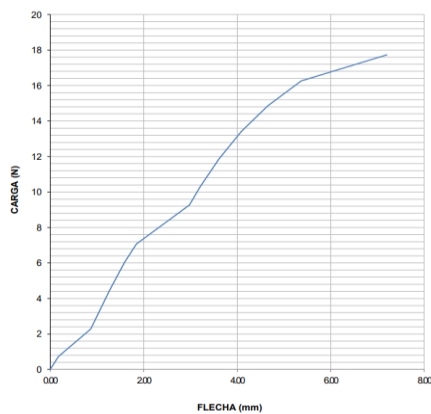
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

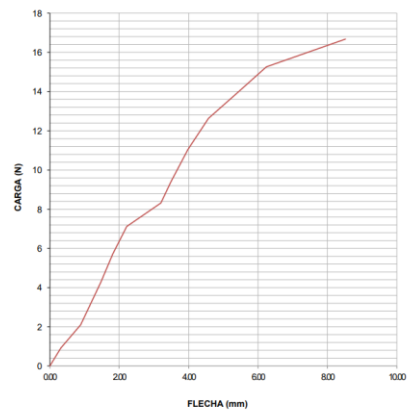
ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 10
DESIGNACIÓN: C-C410.45/60-F-1
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



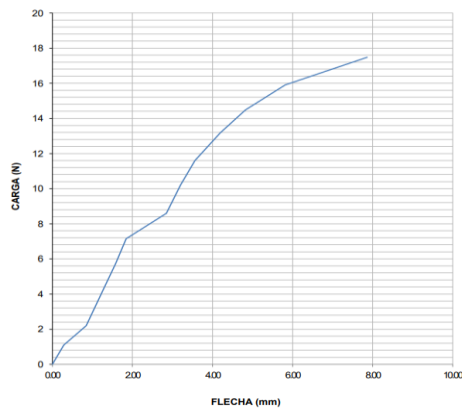
ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 11
DESIGNACIÓN: C-C410.45/60-F-2
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21

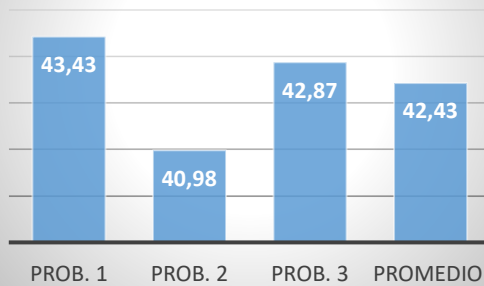


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

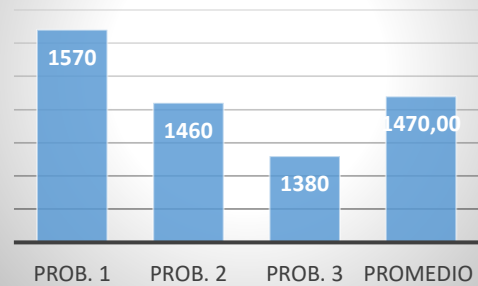
MUESTRA N°: 12
DESIGNACIÓN: C-C40.45/60-F-3
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**Esfuerzo máximo
(MPa)**



Módulo de elasticidad (Mpa)




OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además tiene un tipo de fallo OAB el cual indica que el fallo está en la punta de carga y la localización de la falla es profunda.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	42,43	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	1470	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	7,86	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	17,36	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 20 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 5

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C5/-45.-45/90-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	41,73
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	-45°, -45°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,66
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	53	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	15,18	35,18	9,78	9500	OAB
2	16,17	32,56	10,38	8760	OAB
3	13,3	32,15	8,7	6340	OAB
Promedio	14,83	33,30	9,62	8200	

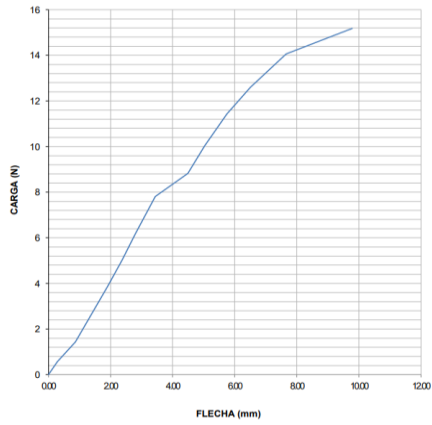
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

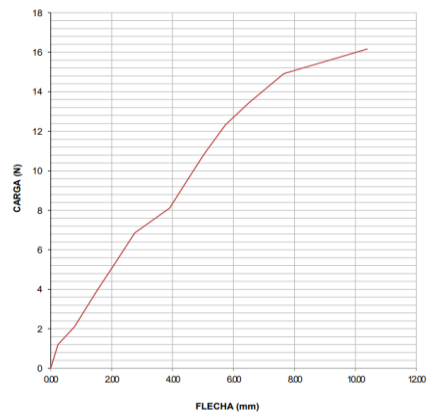
ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 13
DESIGNACIÓN: C-51-45-45/90-F-1
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



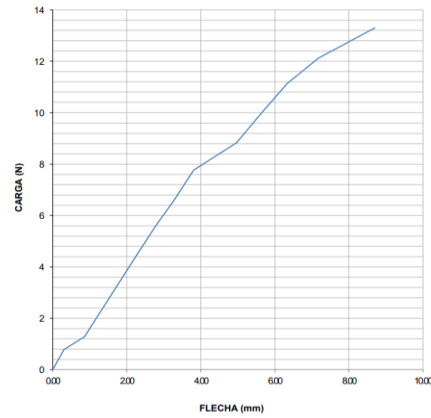
ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

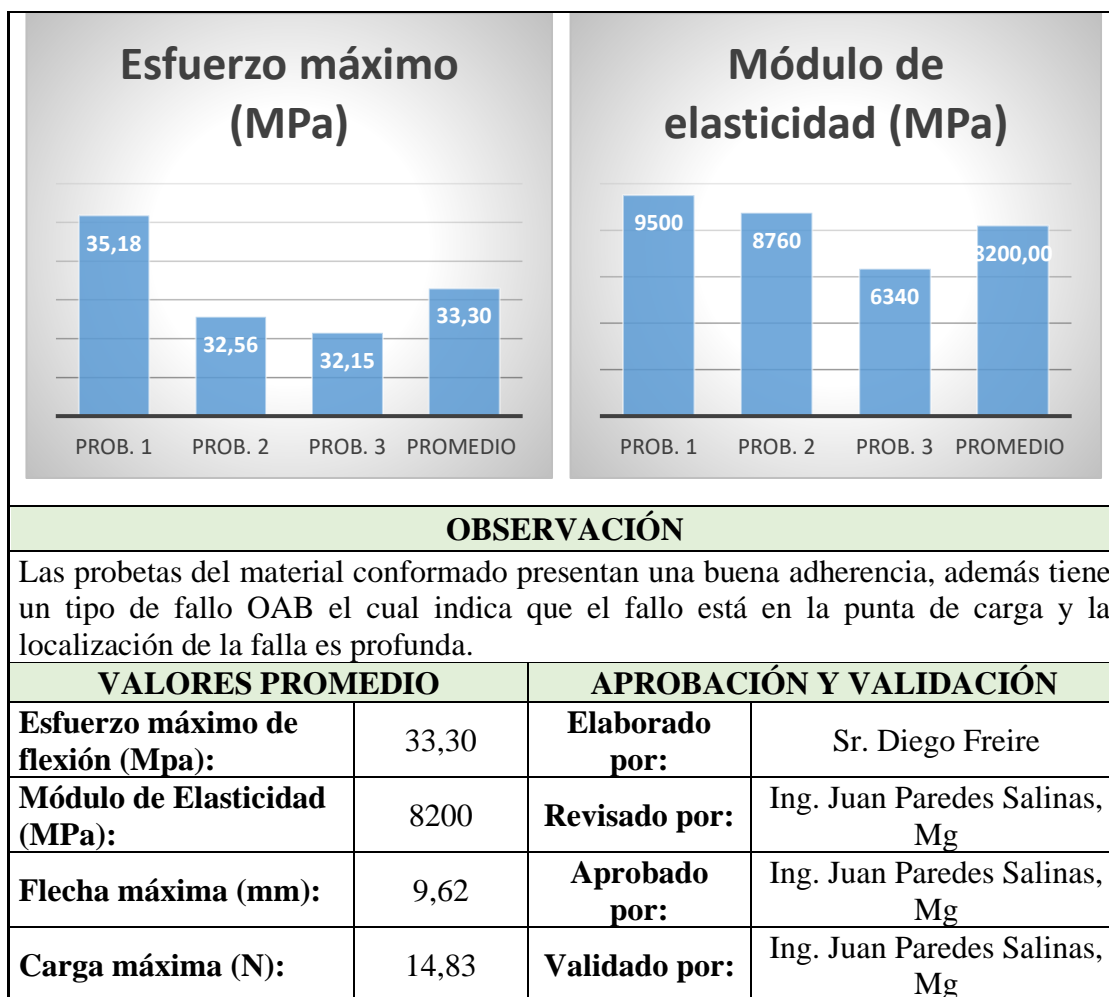
MUESTRA N°: 14
DESIGNACIÓN: C-51-45-45/90-F-2
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 15
DESIGNACIÓN: C-51-45-45/90-F-3
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21






Fuente: Autor

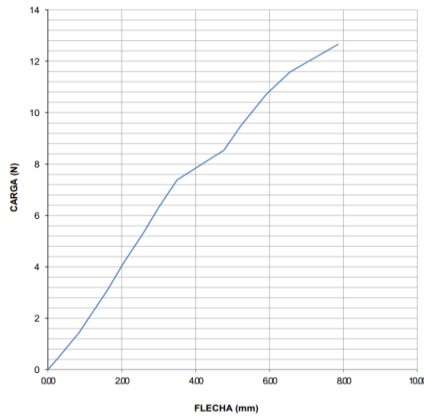
Tabla 3. 21 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 6

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C6/45.-45/90-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3

Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	39,37
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	45°, -45°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,58
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	50	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	12,66	30,21	7,86	1170	OAT
2	15	35,78	9,02	1070	OAT
3	16,74	43,11	9,31	1350	OAT
Promedio	14,8	36,40	8,73	1196,66	
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					

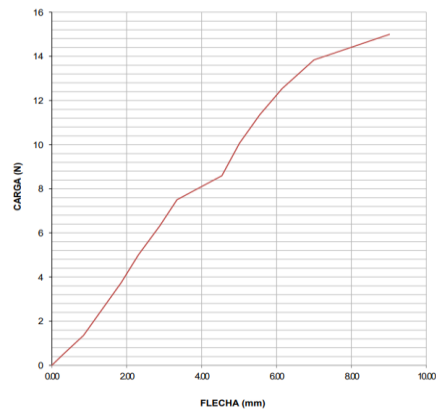
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 16
 DESIGNACIÓN: C-C6/45-45/90-F-1
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



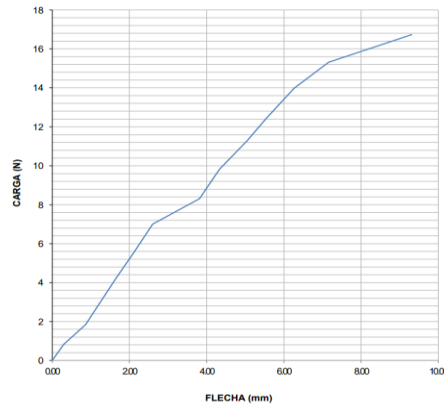
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 17
 DESIGNACIÓN: C-C6/45-45/90-F-2
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21

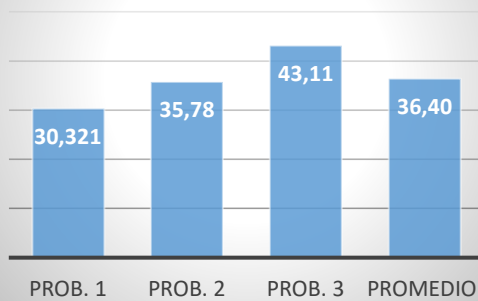


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

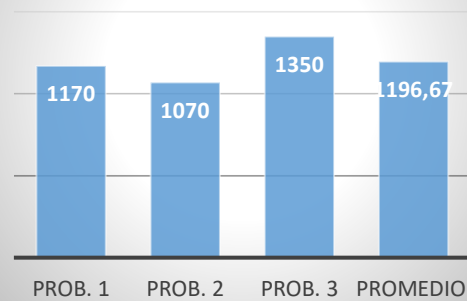
MUESTRA N°: 18
 DESIGNACIÓN: C-C6/45-45/90-F-3
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**Esfuerzo máximo
(MPa)**



Módulo de elasticidad (MPa)



OBSERVACIÓN

Las tres probetas del material conformado presentan una buena adherencia, las mismas tiene un tipo de falla OAT, donde la falla se da en la punta de la carga y la localización de la falla es parte posterior de la probeta.

VALORES PROMEDIO

APROBACIÓN Y VALIDACIÓN

Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	36,40	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	1196,67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	8,73	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	14,8	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 22 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 7

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C7/0.0/90-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	43.31
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	0°,0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,61
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	55	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS OBTENIDOS					

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de falla
1	42.34	98,43	6,81	6340	OAB
2	32.05	74,63	5,51	3970	OAB
3	38.2	96,83	6,94	7160	OAB
Promedio	37,53	89,96	6,42	5823,33	

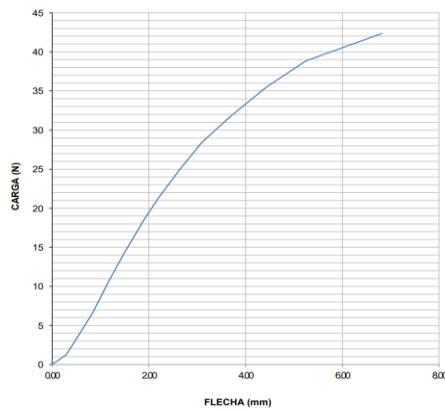
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

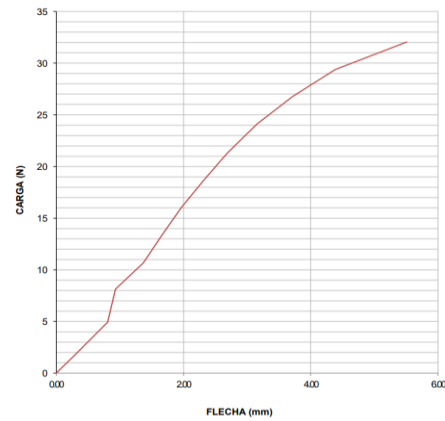
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 1
DESIGNACIÓN: C-C7/0.0/90-F-1
FECHA DE ENSAYO: 20-may-21



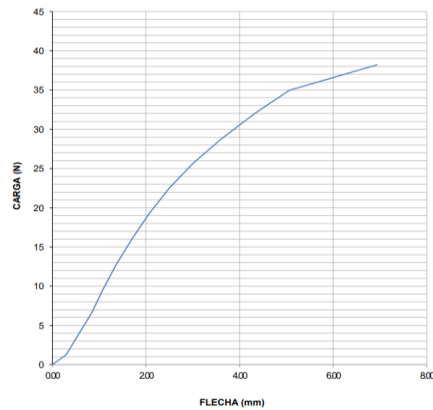
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

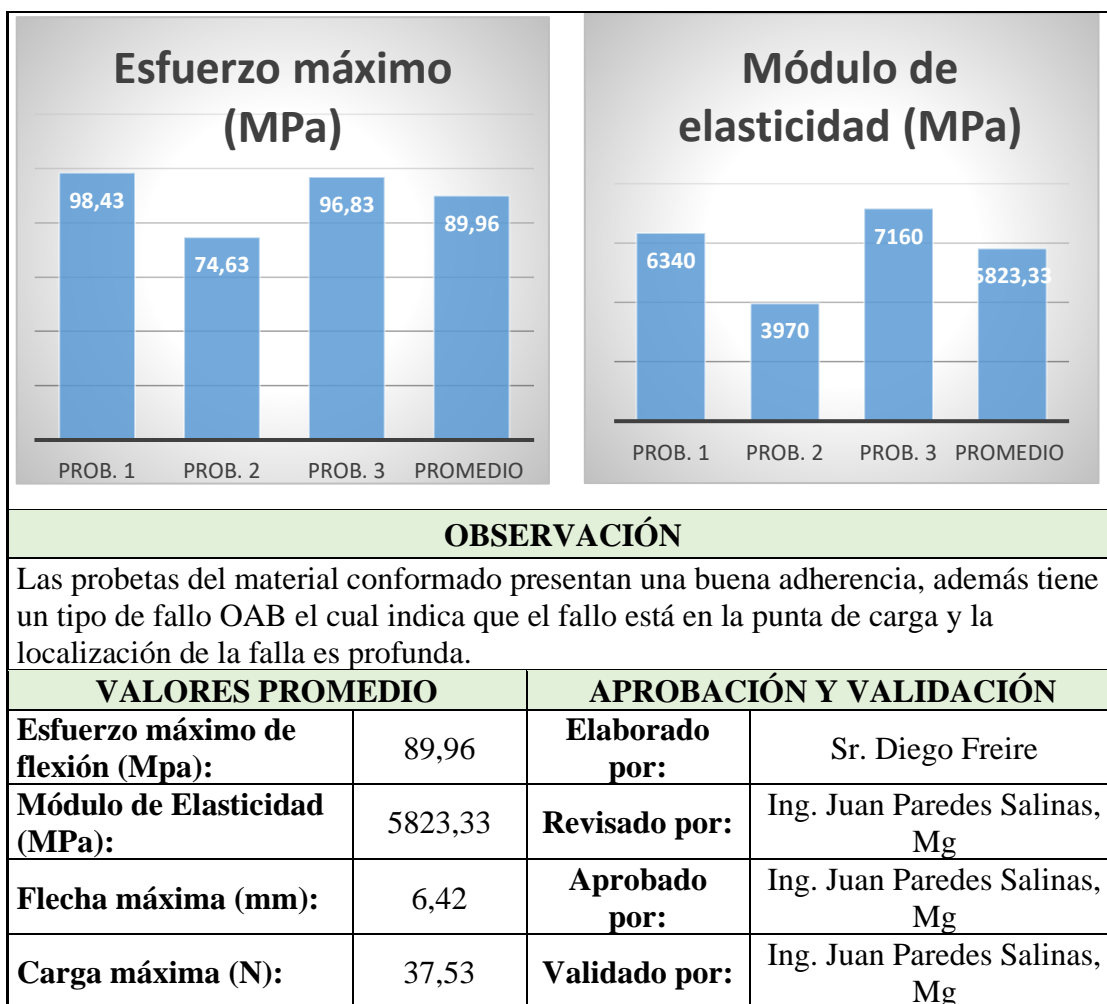
MUESTRA N°: 2
DESIGNACIÓN: C-C7/0.0/90-F-2
FECHA DE ENSAYO: 20-may-21



**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 3
DESIGNACIÓN: C-C7/0.0/90-F-3
FECHA DE ENSAYO: 20-may-21





Fuente: Autor

Tabla 3. 23 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 8

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
FLEXIÓN ASTM D7264			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C8/0.0/90-F
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE DISEÑO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	43,31
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación :	Al vacío
Orientación de fibra:	0°,0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,613
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	55	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	33,08	81,71	6,28	4610	OAB
2	36,35	83,46	6,06	4910	OAB
3	36,44	88,27	6,61	5950	OAB
Promedio	35,29	84,48	6,32	5156,67	

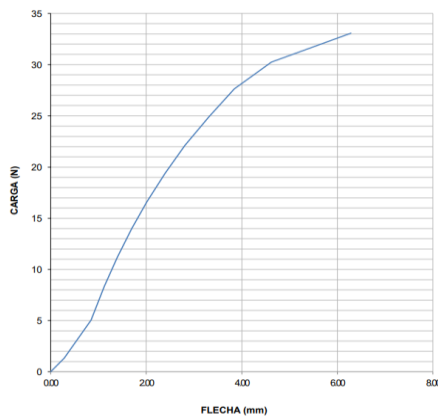
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

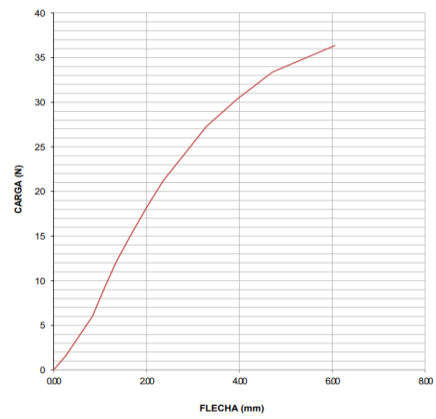
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 4
DESIGNACIÓN: C-C8/0.0/90-F-1
FECHA DE ENSAYO: 20-may-21



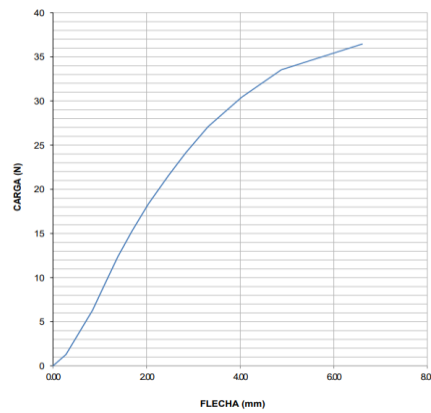
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 5
DESIGNACIÓN: C-C8/0.0/90-F-2
FECHA DE ENSAYO: 20-may-21

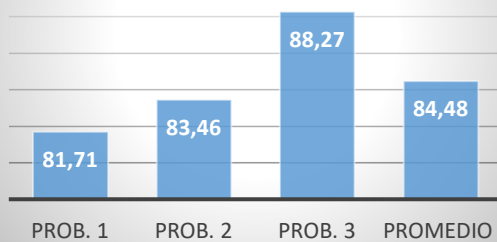


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

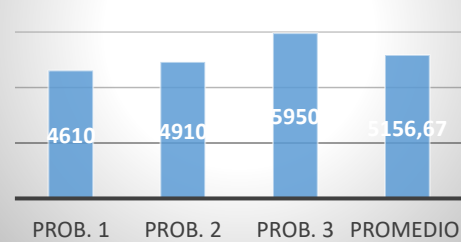
MUESTRA N°: 6
DESIGNACIÓN: C-C8/0.0/90-F-3
FECHA DE ENSAYO: 20-may-21



**Esfuerzo máximo
(MPa)**



**Módulo de
elasticidad (MPa)**



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además tiene un tipo de fallo OAB el cual indica que el fallo está en la punta de carga y la localización de la falla es profunda.

VALORES PROMEDIO

APROBACIÓN Y VALIDACIÓN

Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	84,48	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	5156,67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	6,32	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	35,29	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 24 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 9

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C9/0.0/90-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	40,16
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	0°,0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,54
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	51	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	24,22	64,71	7,04	3960	OAU
2	26,36	65,45	5,48	5890	OAU
3	26,14	67,93	5,51	7220	OAU
Promedio	25,57	66,03	6,01	5690	

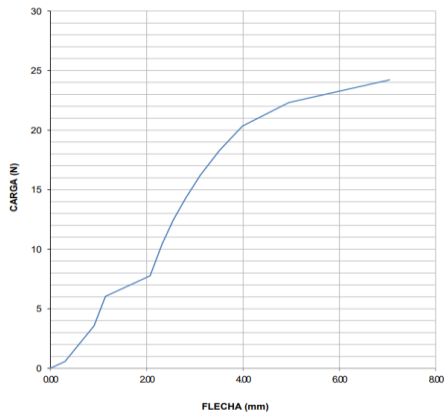
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

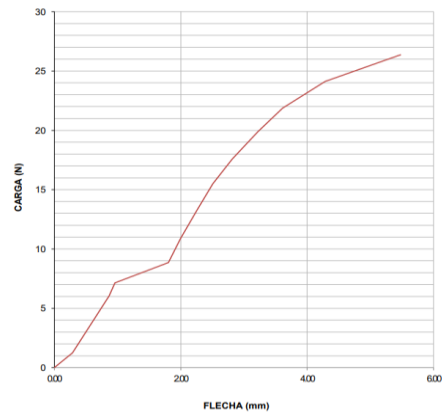
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 19
DESIGNACIÓN: C-C9/0.0/90-F-1
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



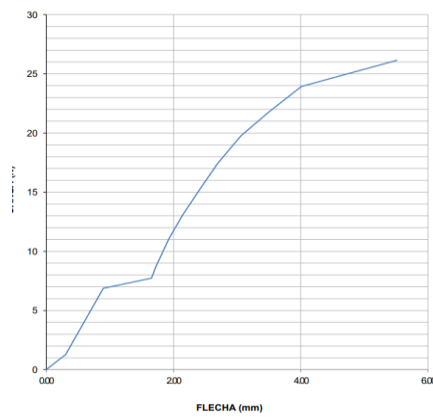
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

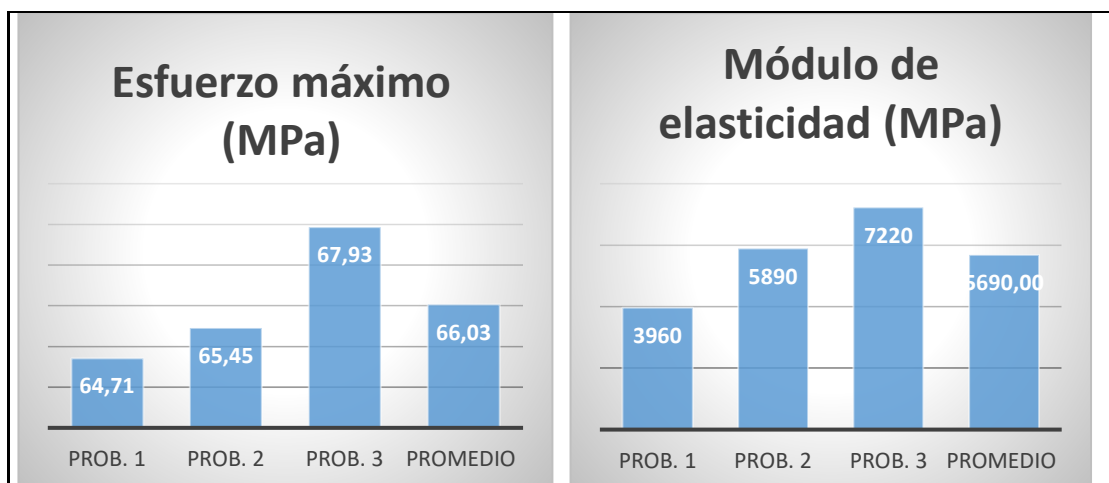
MUESTRA N°: 20
DESIGNACIÓN: C-C9/0.0/90-F-2
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 21
DESIGNACIÓN: C-C9/0.0/90-F-3
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21





OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además las tres probetas presenten un tipo de falla OAU nos indica que la falla se localiza en la punta de carga y la localización de la falla es desconocida.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	66,03	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	5690	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	6,01	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	25,57	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 25 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 10

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
	FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS FLEXIÓN ASTM D7264		
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C10/-45.45/90-F
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE DISEÑO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	40,16
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación :	Al vacío
Orientación de fibra:	-45°,45°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,72
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	50	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	10,52	20,65	8,55	9650	OAB
2	11,78	24,04	9,3	6310	OAB
3	12,37	26,42	7,31	9210	OAB
Promedio	11,62	23,70	8,39	8390	

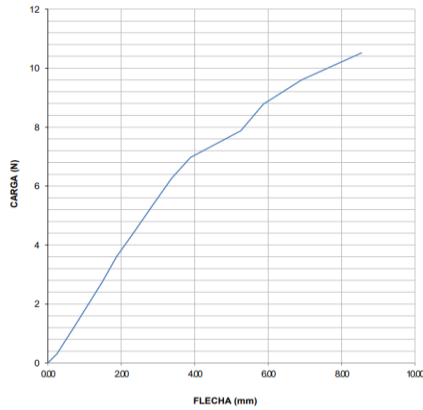
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

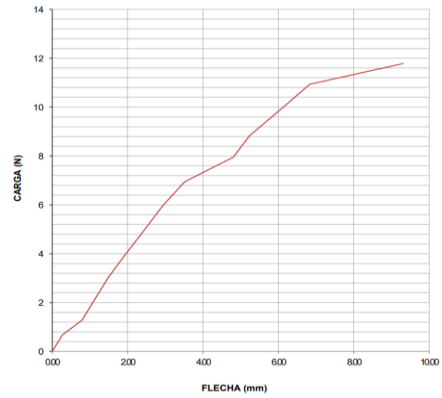
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 22
DESIGNACIÓN: C-C10/-45.45/90-F-1
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



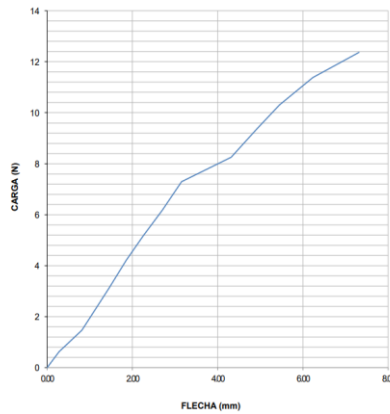
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 23
DESIGNACIÓN: C-C10/-45.45/90-F-2
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21

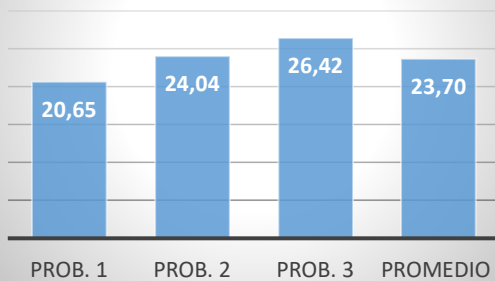


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

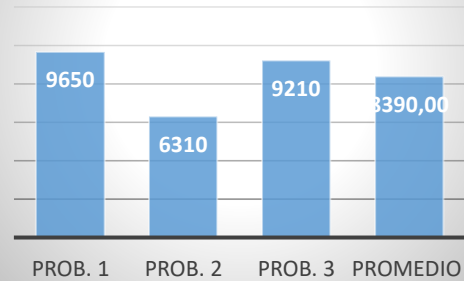
MUESTRA N°: 24
DESIGNACIÓN: C-C10/-45.45/90-F-3
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**Esfuerzo máximo
(MPa)**



**Módulo de
elasticidad (MPa)**



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además tiene un tipo de fallo OAB el cual indica que el fallo está en la punta de carga y la localización de la falla es profunda.

VALORES PROMEDIO

APROBACIÓN Y VALIDACIÓN

Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	23,7	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	8390	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	8,39	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	11.62	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 26 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 11

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C11/45.45/90-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	40,96
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	90°	Estratificación:	Al vacío
Orientación de fibra:	45°,45°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,66
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	52	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					

Nº de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	16,99	27,94	8,85	555	OAB
2	21,41	50,76	9,2	1470	OAB
3	18,11	30,1	8,16	664	OAT
Promedio	18,84	36,27	8,74	896,33	

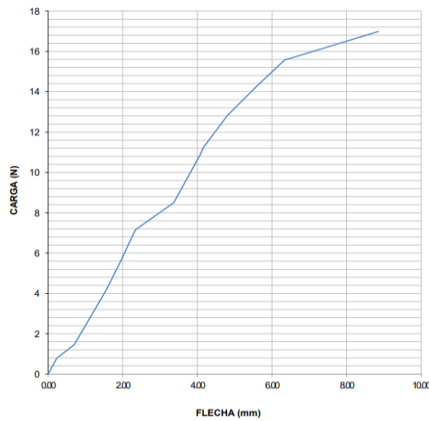
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

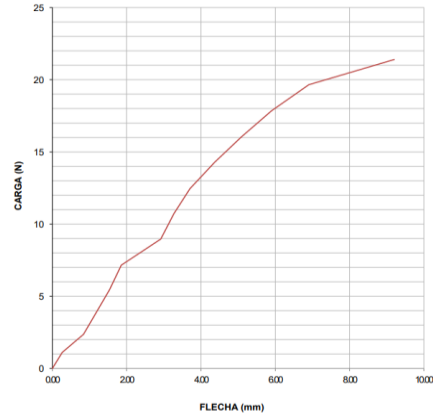
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA Nº: 25
 DESIGNACIÓN: C-C11/45.45/90-F-1
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



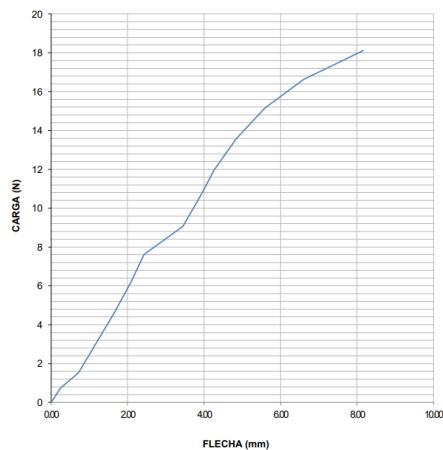
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

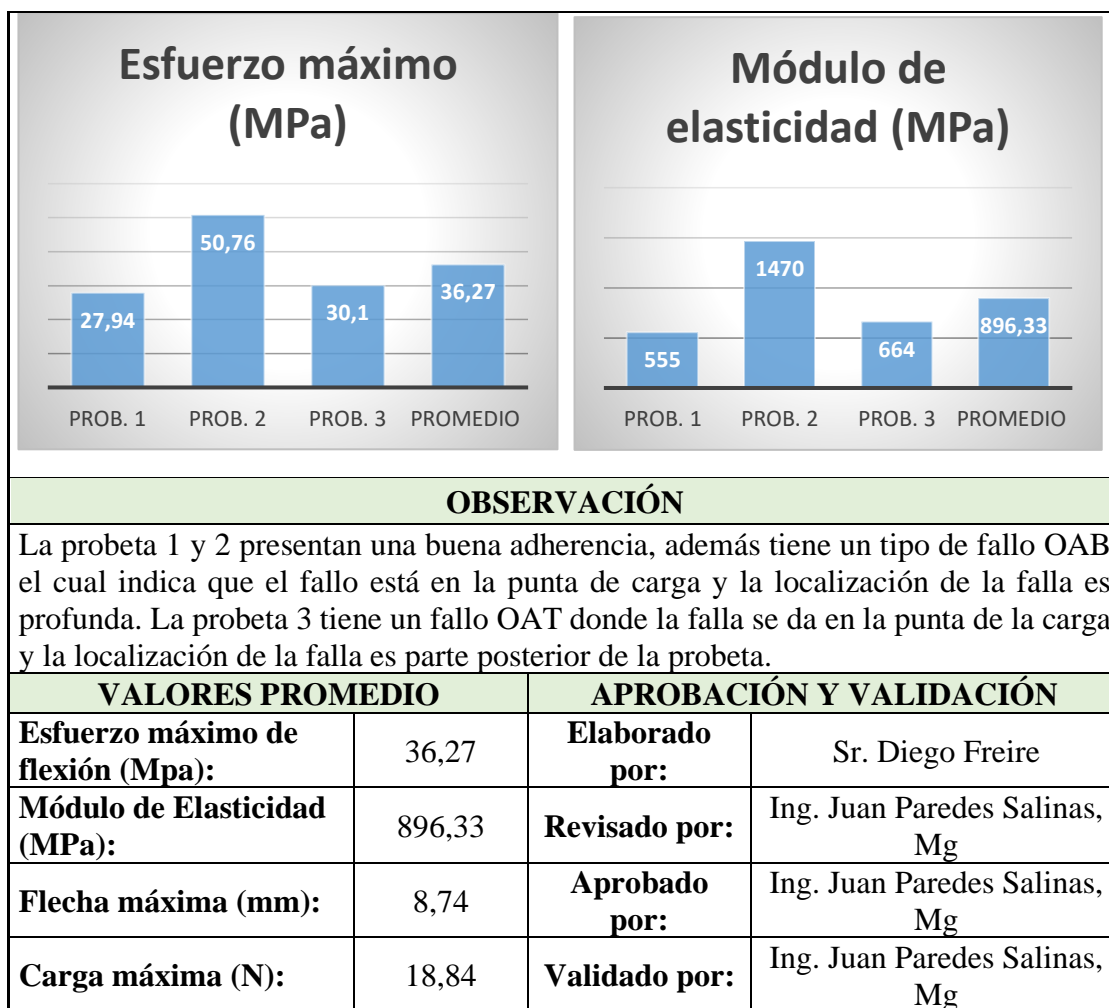
MUESTRA Nº: 26
 DESIGNACIÓN: C-C11/45.45/90-F-2
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA Nº: 27
 DESIGNACIÓN: C-C11/45.45/90-F-3
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21






Fuente: Autor

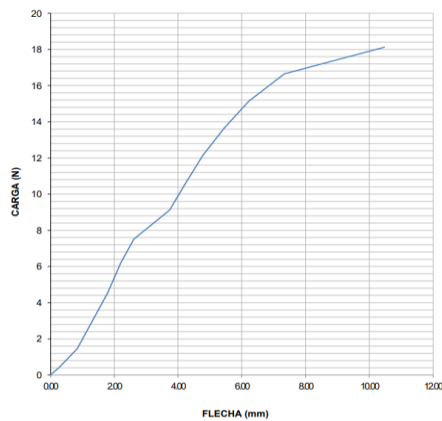
Tabla 3. 27 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 12

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
FLEXIÓN ASTM D7264			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C12/0.-45/120-F
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE DISEÑO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	42,52
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación :	Al vacío
Orientación de fibra:	0°, -45°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,66
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	54	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					
N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	18,13	41,45	10,47	1150	OAB
2	16,54	39,6	8,84	1320	OAB
3	18,82	37,4	8,73	1060	OAB
Promedio	17,83	39,48	9,35	1176,67	
PROBETAS ENSAYADAS					
					
GRÁFICAS					

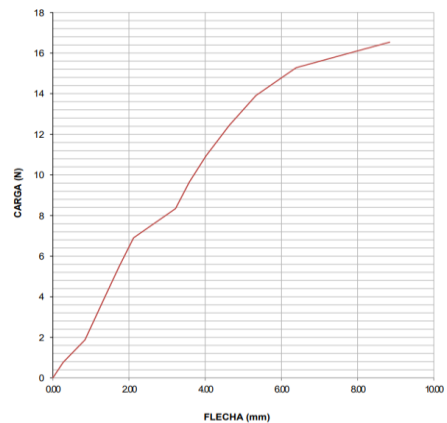
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 28
 DESIGNACIÓN: C-C12/0.-45/120-F-1
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



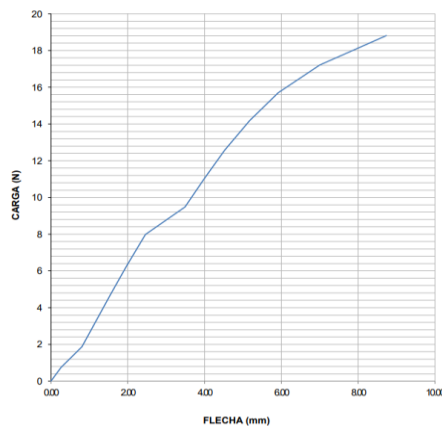
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA N°: 29
 DESIGNACIÓN: C-C12/0.-45/120-F-2
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21

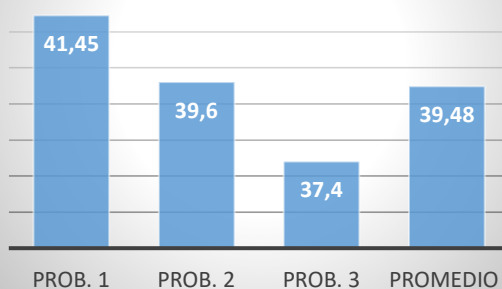


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

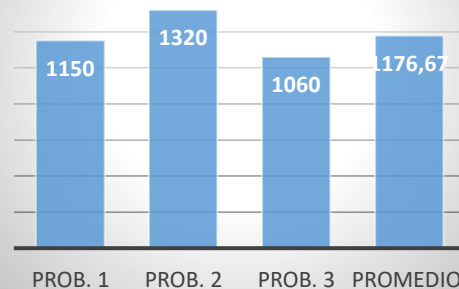
MUESTRA N°: 30
 DESIGNACIÓN: C-C12/0.-45/120-F-3
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**Esfuerzo máximo
(MPa)**



Módulo de elasticidad (MPa)





OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además tiene un tipo de fallo OAB el cual indica que el fallo está en la punta de carga y la localización de la falla es profunda.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	39,48	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	1176,67	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	9,35	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	17,83	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 28 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 13

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
FLEXIÓN ASTM D7264					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C13/-45.0/120-F		
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg		
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador				
PARÁMETROS DE DISEÑO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	44,09
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación :	Al vacío
Orientación de fibra:	-45°,0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,55
Peso de las fibras FC+FCh (gr):	56	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno
RESULTADOS					

Nº de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	20,52	57,39	6,25	4950	OAB
2	30,74	70,77	7,39	4230	OAB
3	25,6	65,48	7,1	6380	OAB
Promedio	25,62	64,55	6,91	5186,67	

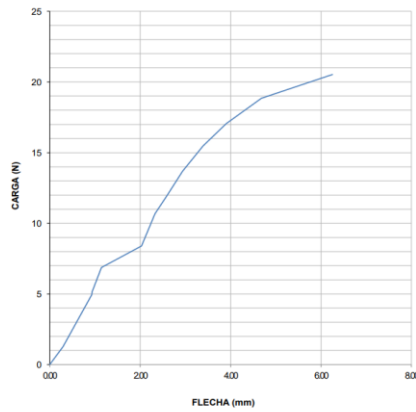
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

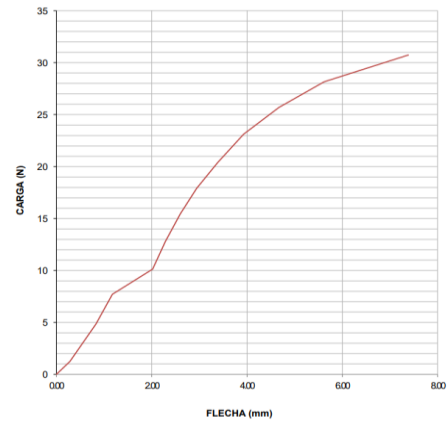
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA Nº: 31
 DESIGNACIÓN: C-C13/-45.0/120-F-1
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



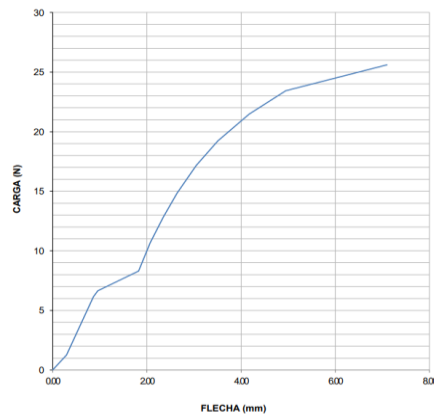
**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

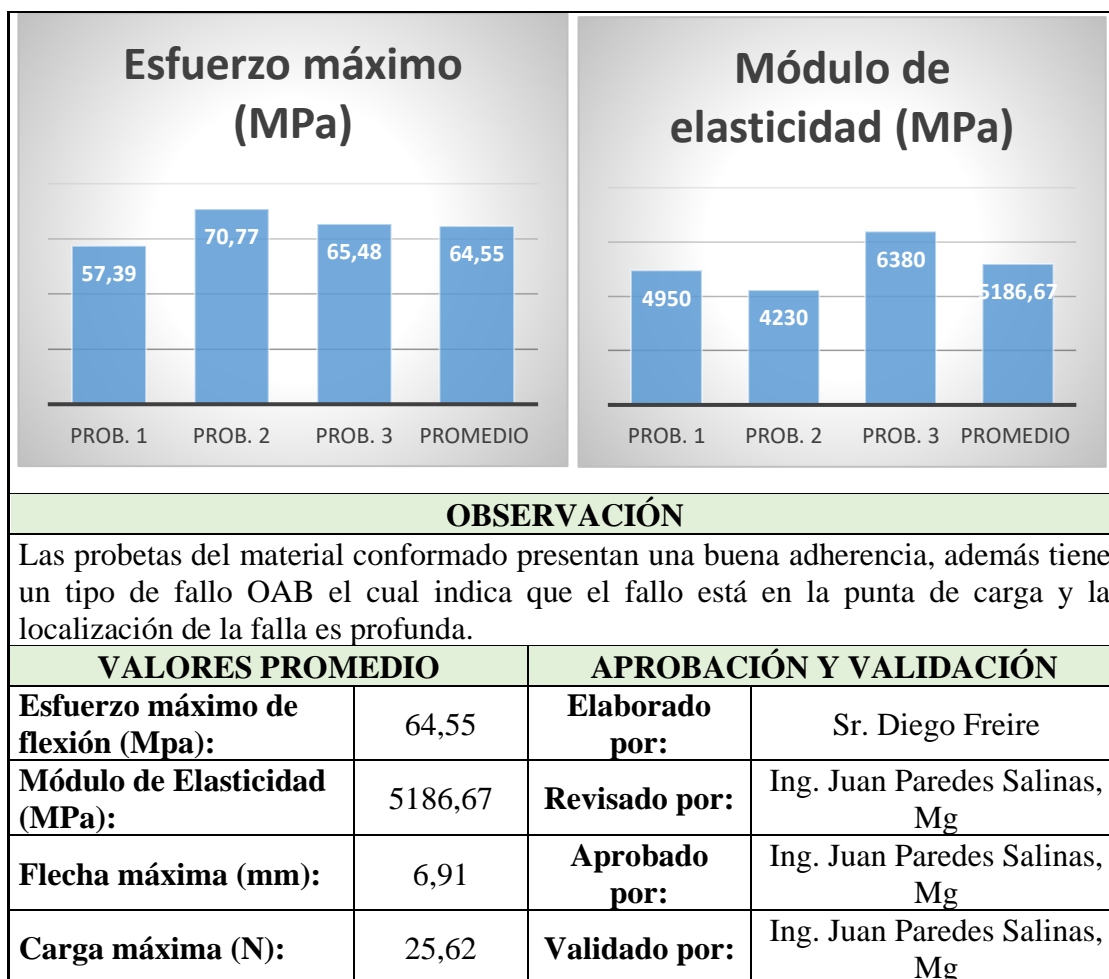
MUESTRA Nº: 32
 DESIGNACIÓN: C-C13/-45.0/120-F-2
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

MUESTRA Nº: 33
 DESIGNACIÓN: C-C13/-45.0/120-F-3
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21





Fuente: Autor

Tabla 3. 29 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 14

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS			
FLEXIÓN ASTM D7264			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C14/45.0/120-F
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador		
PARÁMETROS DE DISEÑO			

Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	39,37
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación :	Al vacío
Orientación de fibra:	45°,0°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,63
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	50	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno

RESULTADOS

N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla
1	21,09	43,28	4,91	4380	OAB
2	18,54	46,41	4,34	5170	OAB
3	22,63	55,62	4,92	6000	OAB
Promedio	20,75	48,44	4,72	5183,33	

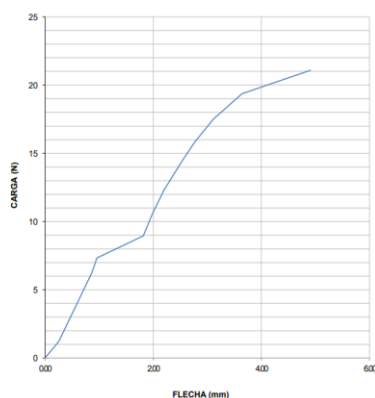
PROBETAS ENSAYADAS



GRÁFICAS

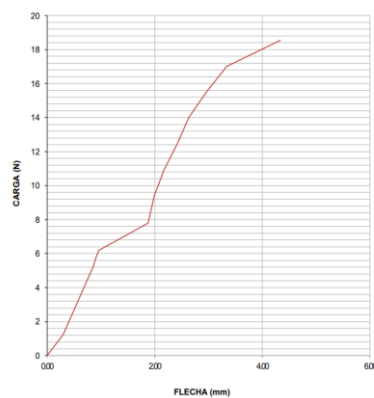
ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 34
DESIGNACIÓN: C-C1445.0/120-F-1
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



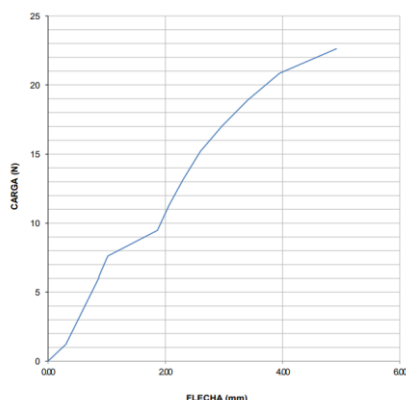
ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 35
DESIGNACIÓN: C-C1445.0/120-F-2
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21

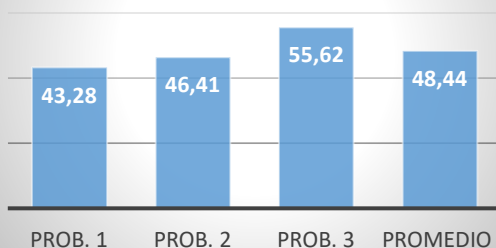


**ENSAYO DE FLEXIÓN
DIAGRAMA CARGA - FLECHA**

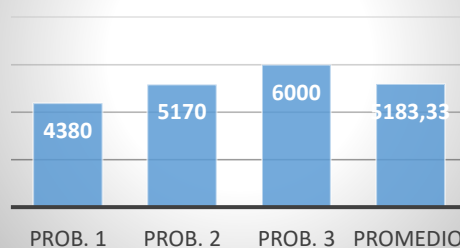
MUESTRA N°: 36
DESIGNACIÓN: C-C1445.0/120-F-3
FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



**Esfuerzo máximo
(MPa)**



**Módulo de
elasticidad (MPa)**



OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además tiene un tipo de fallo OAB el cual indica que el fallo está en la punta de carga y la localización de la falla es profunda.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	48,44	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	5183,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	4,72	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	20,75	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

Tabla 3. 30 Ficha técnica del material híbrido a Flexión caso 15

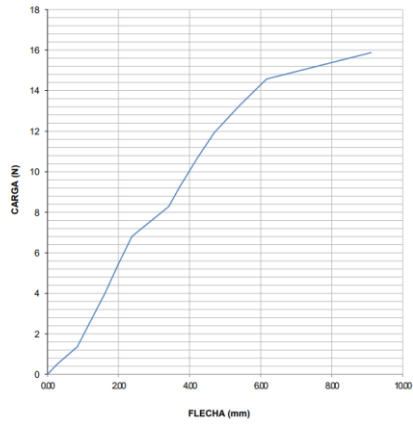
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA				
		FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS				
FLEXIÓN ASTM D7264						
DATOS INFORMATIVOS						
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C15/0.45/120-F			
Fecha de ejecución:	24/05/2021	Equipo:	Máquina Universal de Ensayos WAW600B			
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg			
Lugar:	LenMav-Laboratorio Ensayo de Materiales. Riobamba-Ecuador					
PARÁMETROS DE DISEÑO						
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D7264	Número de probetas:	3	
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones (mm):	160*13*e	Peso de la matriz (gr):	42,52	
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C):	120°	Estratificación:	Al vacío	
Orientación de fibra:	0°,45°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh	Espesor promedio (mm):	1,68	
Peso de las fibras FC+FCh (gr)	54	Velocidad de ensayo:	1mm/min	Tiempo de curado:	2h en horno	
RESULTADOS						
N° de Probetas	Carga Máxima (N)	Esfuerzo de Flexión máximo (MPa)	Flecha Máxima (mm)	Módulo de Elasticidad (MPa)	Tipo de Falla	
1	15,87	35,57	9,11	941	OAB	
2	17,15	37,16	7,47	1040	OAB	
3	20,48	42,67	9,03	1050	OAB	
Promedio	17,83	38,47	7,87	1010,33		
PROBETAS ENSAYADAS						



GRÁFICAS

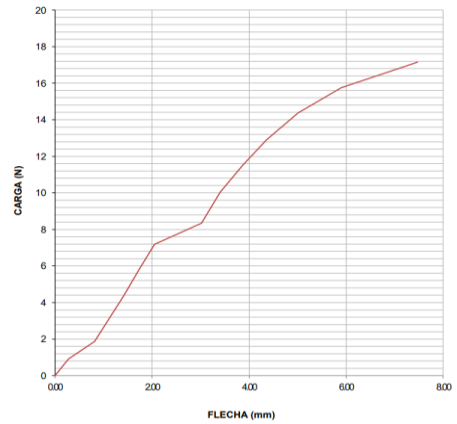
ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 37
 DESIGNACIÓN: C-C15/0.45/120-F-1
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



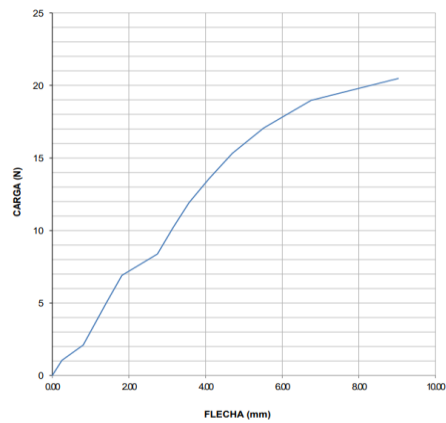
ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

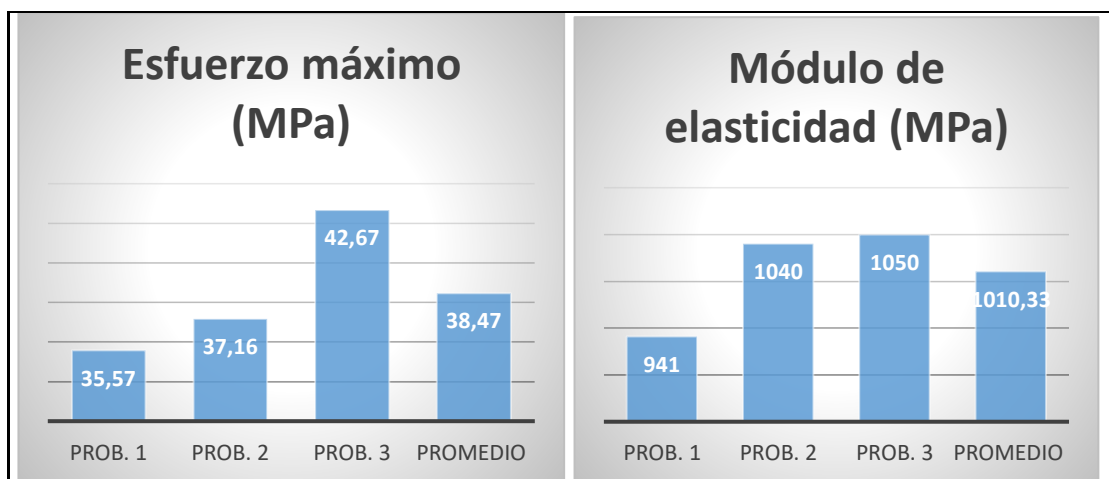
MUESTRA N°: 38
 DESIGNACIÓN: C-C15/0.45/120-F-2
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21



ENSAYO DE FLEXIÓN DIAGRAMA CARGA - FLECHA

MUESTRA N°: 39
 DESIGNACIÓN: C-C15/0.45/120-F-3
 FECHA DE ENSAYO: 30-abr-21





OBSERVACIÓN

Las probetas del material conformado presentan una buena adherencia, además tiene un tipo de fallo OAB el cual indica que el fallo está en la punta de carga y la localización de la falla es profunda.

VALORES PROMEDIO		APROBACIÓN Y VALIDACIÓN	
Esfuerzo máximo de flexión (Mpa):	38,47	Elaborado por:	Sr. Diego Freire
Módulo de Elasticidad (MPa):	1010,33	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Flecha máxima (mm):	7,87	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg
Carga máxima (N):	17,83	Validado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg

Fuente: Autor

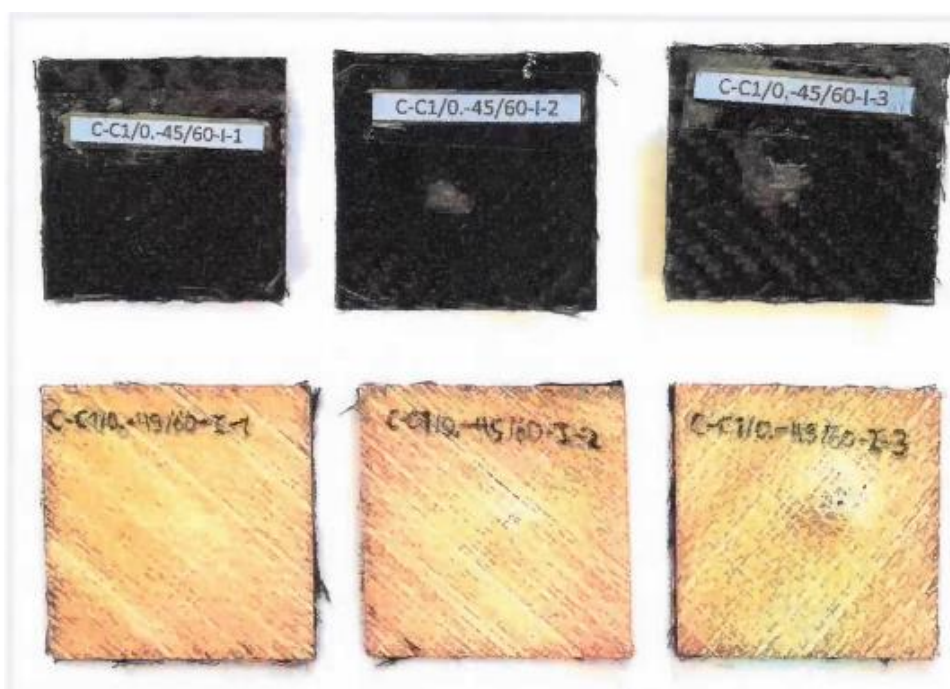
3.1.3. Recolección de datos del ensayo a Impacto

Tabla 3. 31 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso1

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C1/0.-45/60-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	0°,-45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C)	60°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS





RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	200	0,232	0.352	1,1458	A
2	400	0,232	0.352	2,2916	D
3	600	0,232	0,352	3,4374	D
Promedio	400	-	-	2,2916	
Observación	La probeta 1 tiene la falla de tipo A, que significa grietas pequeñas en la parte posterior de las probetas a una altura de 200 mm y una masa de 0,232 kg. La probeta 2 y 3 tiene				

	la falla tipo D, que significa que la placa presenta hundimiento a una altura de 400 y 600 mm con una masa de 0,232kg.		
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.

Fuente: Autor

Tabla 3. 32 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso2

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental		Codificación:	C-C2/-45.0/60-I	
Fecha de ejecución :	31/05/2021		Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto	
Realizado por:	Diego Freire		Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones:	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	-45°,0
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C)	60°	Orden de Capas:	FC+FCh+FC h

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

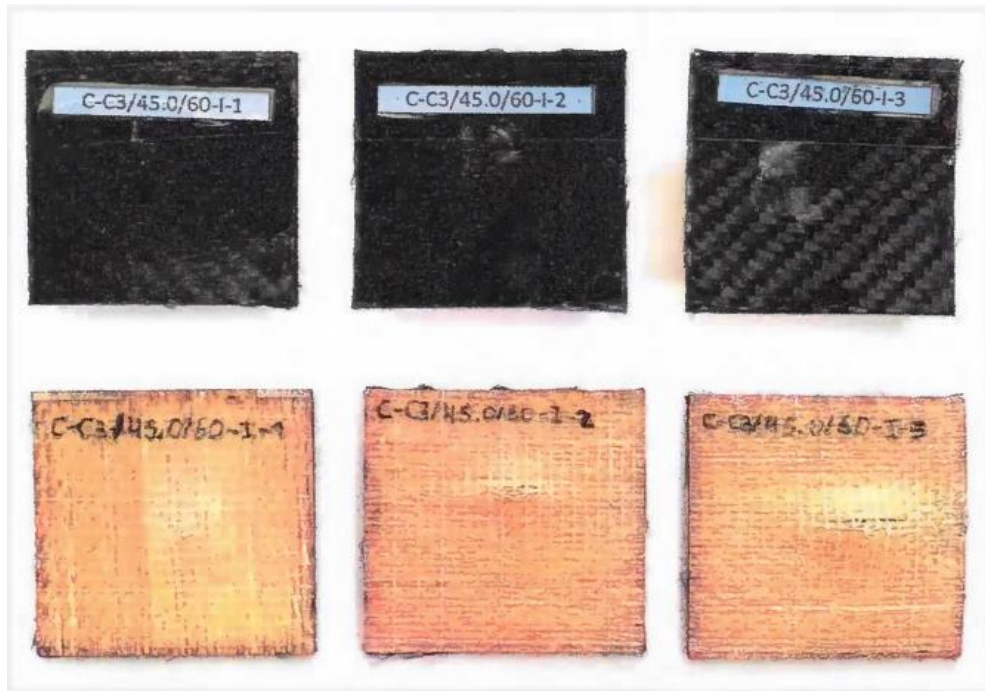
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (mm)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,352	2,2916	A
2	500	0,232	0,352	2,8645	A
3	700	0,232	0,352	4,010	D
Promedio	533,33	-	-	3,055	
Observación	La probeta 1 y 2 tiene el tipo de falla A, que significa pequeñas fisuras o grietas en la parte posterior de la probeta a una altura de 400 y 500 mm con una masa de 0,232 kg. La probeta 3 tiene el tipo de falla D, que significa que la placa presenta hundimiento a una altura de 700 mm y una masa de 0,232 kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 33 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso3

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C3/45.0/60-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones:	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	45°,0°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C)	60°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

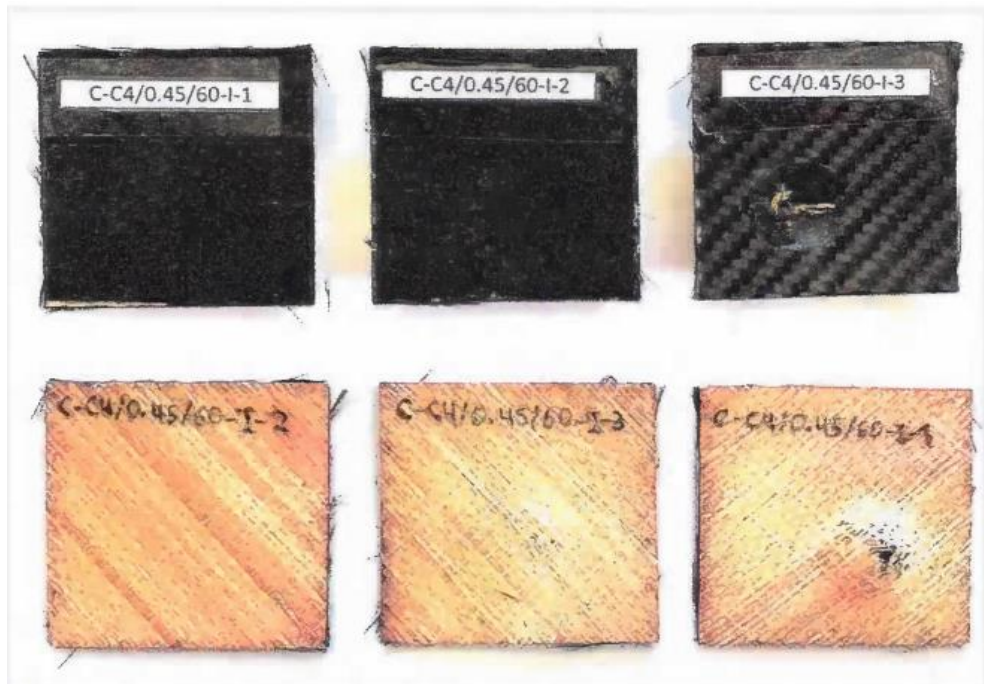
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,441	2,641	A
2	500	0,232	0,441	3,301	A
3	600	0,232	0,441	3,961	A
Promedio	500	-	-	3,301	
Observación	Las probetas número 1, 2 y 3 tiene un tipo de fallo tipo A, que significa que la probeta tiene pequeñas fisuras en la parte posterior de la probeta con sus respectivas alturas y sus masas.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 34 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 4

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C4/0.45/60-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	0°,45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi a	Temperatura de curado (°C)	60°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

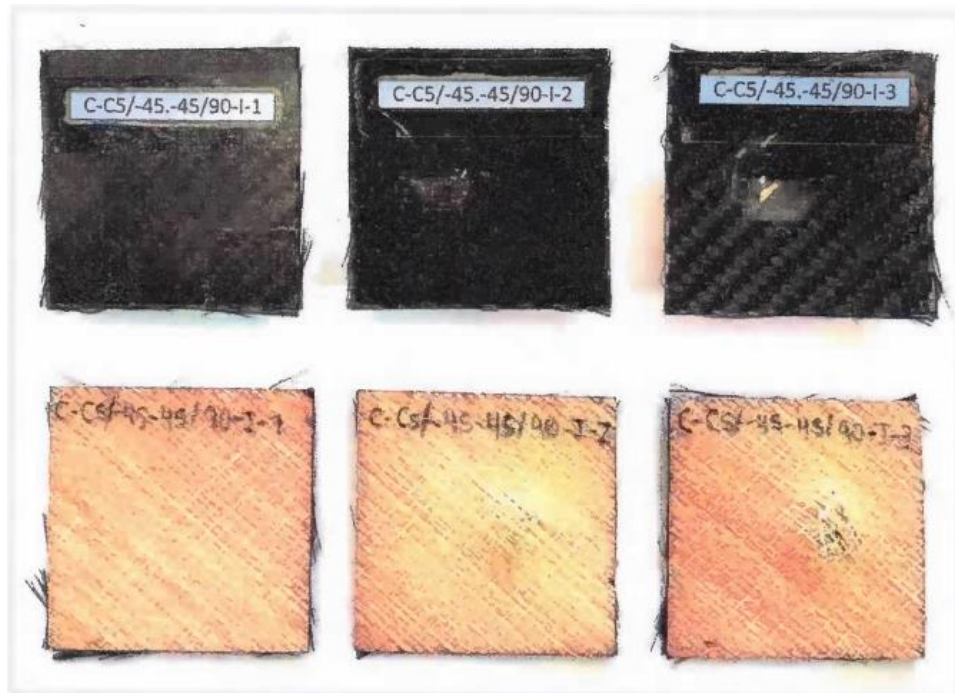
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	600	0,232	0,528	4,473	A
2	700	0,232	0,528	5,218	A
3	800	0,232	0,528	5,964	D
Promedio	700	-	-	5,218	
Observación	La probeta 1, 2 tiene un tipo de falla A, que significa que tiene pequeñas grietas en su par posterior de la probeta a una altura de 600, 700mm y su masa de 0,232kg. La probeta 3 tiene una falla de tipo D, lo que significa que la placa presenta hundimiento a una altura de 800mm y con una masa de 0,232kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 35 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 5

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C5/-45.-45/90-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	-45°, -45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi a	Temperatura de curado (°C)	90°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,528	2,982	A
2	500	0,232	0,528	3,728	A
3	600	0,232	0,528	4,473	D
Promedio	500	-	-	3,727	
Observación	La probeta 1, 2 tiene un tipo de falla A, que significa que tiene pequeñas grietas en su par posterior de la probeta a una altura de 400, 500mm y su masa de 0,232kg. La probeta 3 tiene una falla de tipo D, lo que significa que la placa presenta hundimiento a una altura de 600mm y con una masa de 0,232kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 36 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 6

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C6/45.-45/90-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	45°, -45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambera	Temperatura de curado (°C)	90°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

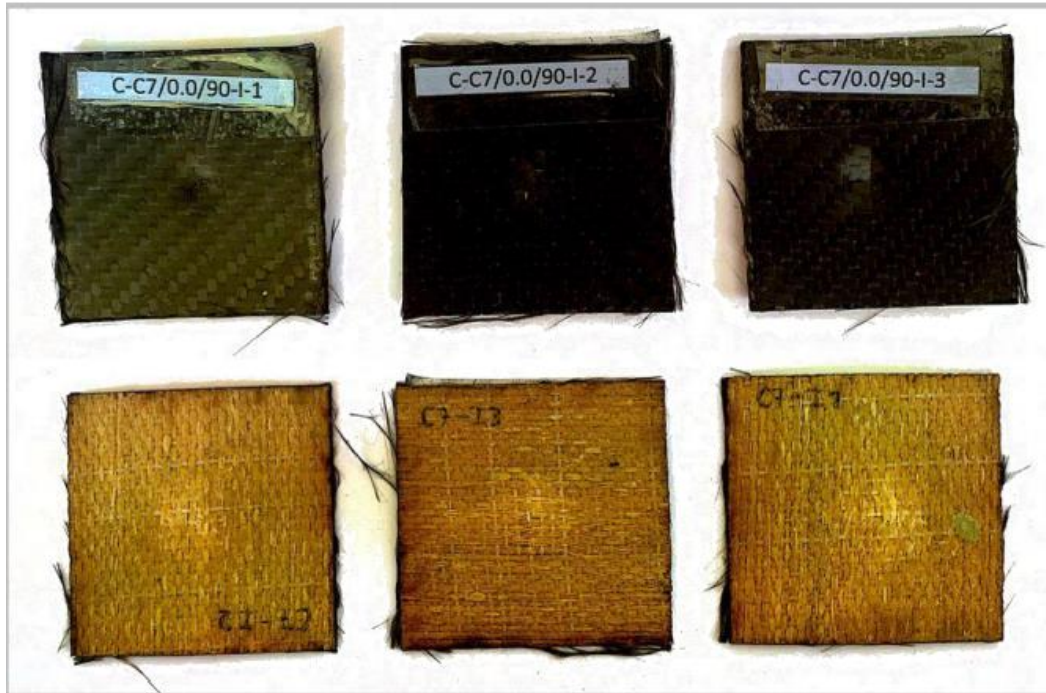
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,439	2,633	A
2	500	0,232	0,439	3,291	D
3	600	0,232	0,439	3,949	D
Promedio	500	-	-	3,291	
Observación	La probeta 1 presente un tipo de falla A, que significa que la probeta tiene pequeñas grietas en la parte posterior con altura de 400mm y una masa de 0,232kg. Las probetas 2 y 3 presentan un tipo de falla D, que significa que presenta hundimiento en la placa a su altura y con su masa respectivamente.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 37 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 7

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C7/0.0/90-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aerepoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	0°,0°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi a	Temperatura de curado (°C)	90°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

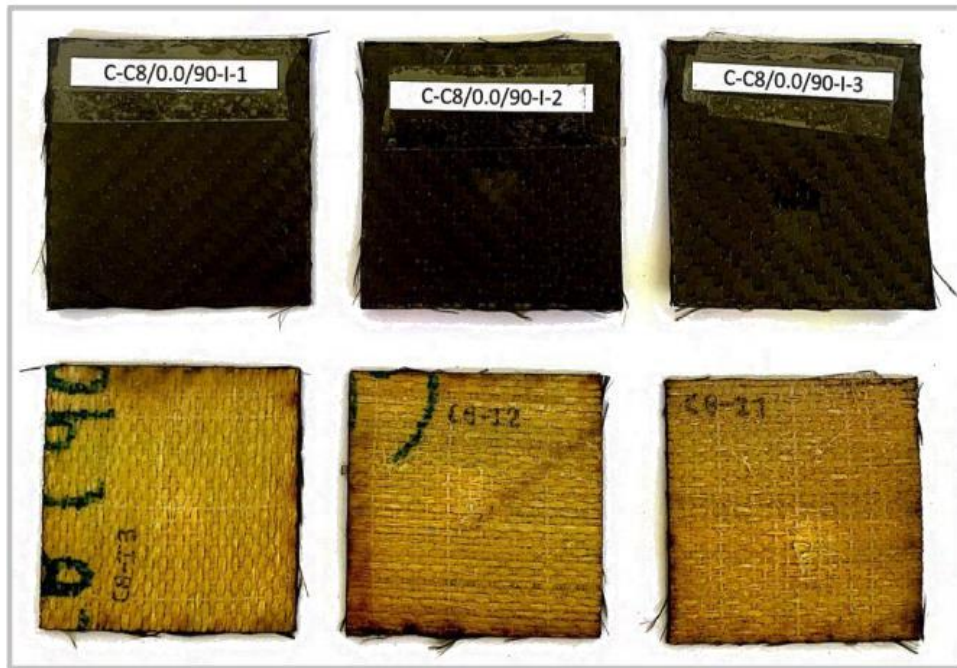
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	300	0,232	0,352	1,718	A
2	350	0,232	0,352	2,001	A
3	400	0,232	0,352	2,292	A
Promedio	350	-	-	2,003	
Observación:	Las 3 probetas tienen un tipo de falla A, lo que significa que tiene pequeñas grietas en la probeta en la parte posterior a sus respectivas alturas y masas.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 38 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 8

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C8/0.0/90-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	0°,0°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambera	Temperatura de curado (°C)	90°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

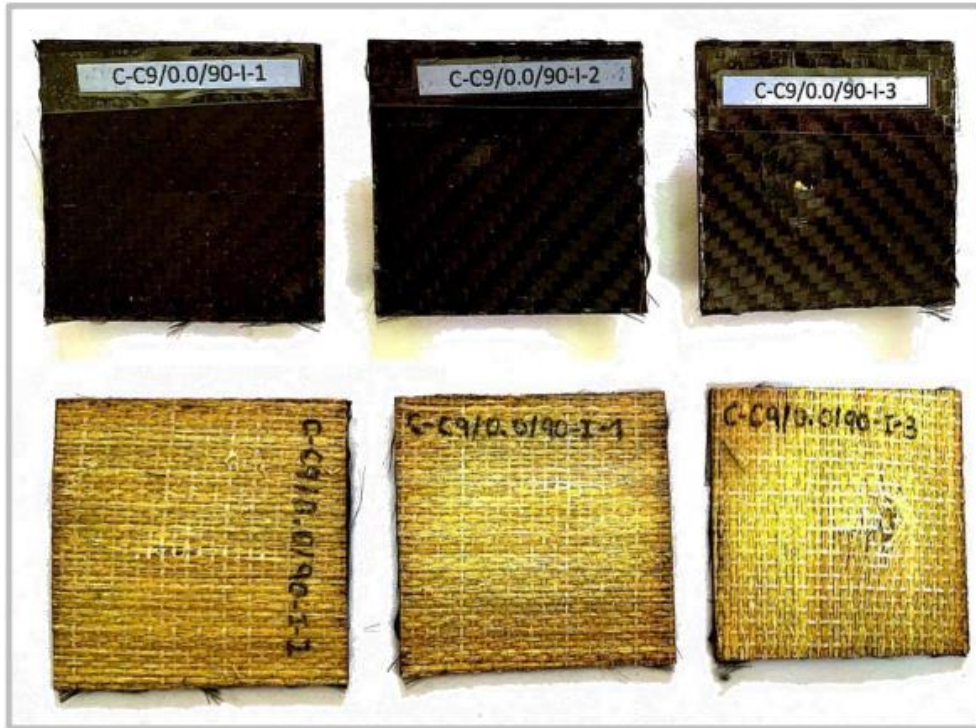
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	200	0,232	0,352	1,146	A
2	300	0,232	0,352	1,719	A
3	400	0,232	0,352	2,292	A
Promedio	300	-	-	1,719	
Observación	Las 3 probetas tienen un tipo de falla A, lo que significa que tiene pequeñas grietas en la probeta en la parte posterior a sus respectivas alturas y masas.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 39 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 9

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C9/0.0/90-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aerepoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	0°,0°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi a	Temperatura de curado (°C)	90°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

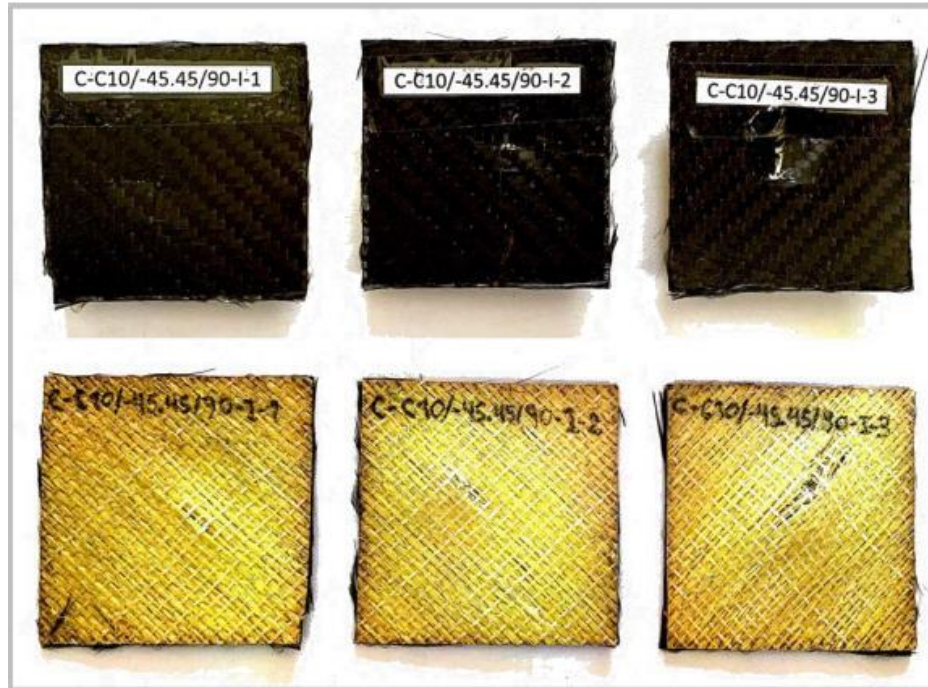
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,439	2,633	A
2	450	0,232	0,439	2,962	A
3	500	0,232	0,439	3,291	D
Promedio	450	-	-	2,962	
Observación	La probeta 1, 2 tiene un tipo de falla A, que significa que tiene pequeñas grietas en su par posterior de la probeta a una altura de 400, 450mm y su masa de 0,232kg. La probeta 3 tiene una falla de tipo D, lo que significa que la placa presenta hundimiento a una altura de 500mm y con una masa de 0,232kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 40 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 10

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C10/-45.45/90-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aerepoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	-45°,45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi a	Temperatura de curado (°C)	90°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

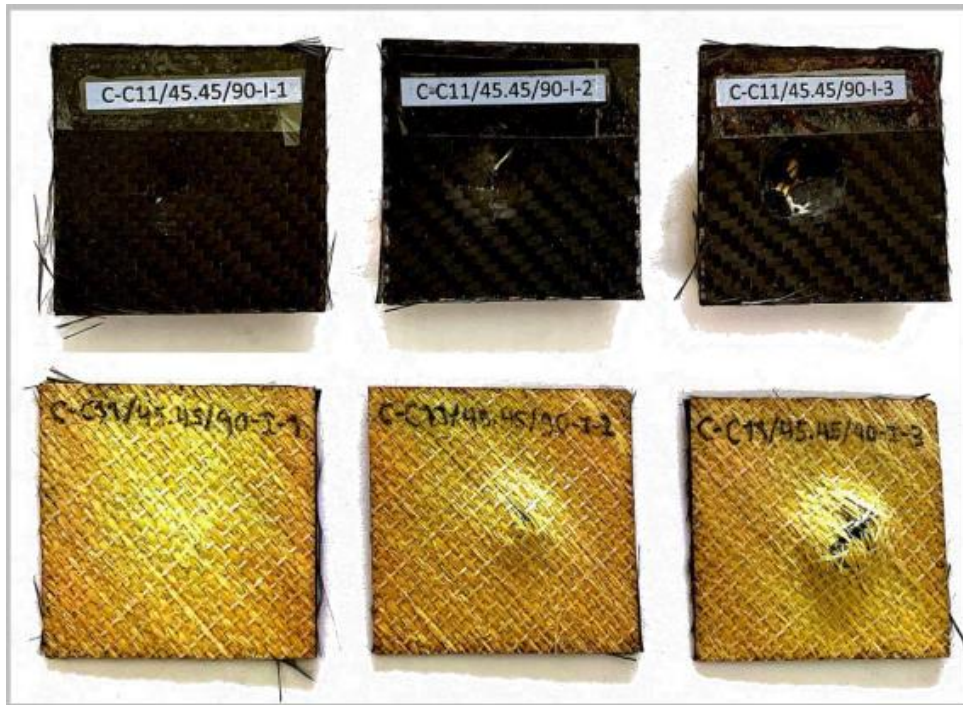
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,528	2,982	A
2	500	0,232	0,528	3,728	A
3	600	0,232	0,528	4,473	D
Promedio	500	-	-	3,728	
Observación	La probeta 1, 2 tiene un tipo de falla A, que significa que tiene pequeñas grietas en su par posterior de la probeta a una altura de 400, 500mm y su masa de 0,232kg. La probeta 3 tiene una falla de tipo D, lo que significa que la placa presenta hundimiento a una altura de 600mm y con una masa de 0,232kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 41 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 11

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C11/45.45/90-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aerepoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	45°,45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi	Temperatura de curado (°C)	90°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

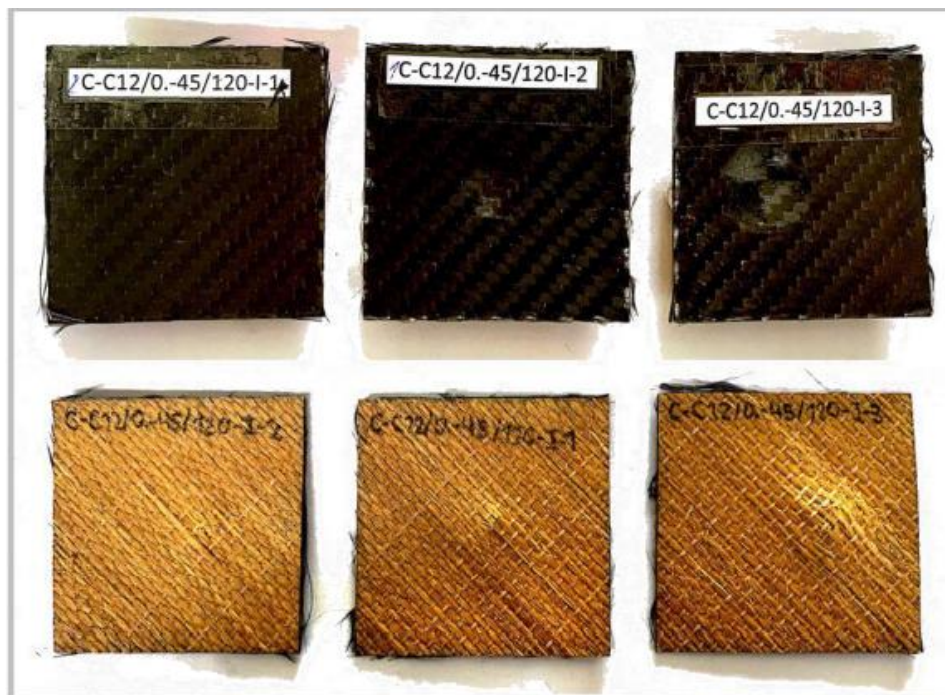
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,528	2,982	A
2	500	0,232	0,528	3,727	D
3	600	0,232	0,528	4,473	D
Promedio	500	-	-	3,727	
Observación	La probeta 1 tiene un tipo de falla A, lo que significa tener pequeñas grietas en la probeta a una altura de 400mm y un peso de 0.232kg. La probeta 2 y 3 tiene un tipo de falla D, que significa que presenta un hundimiento en las probetas a sus respectivas alturas y masas.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 42 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 12

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C12/0.-45/120-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	0°,-45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C)	120°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

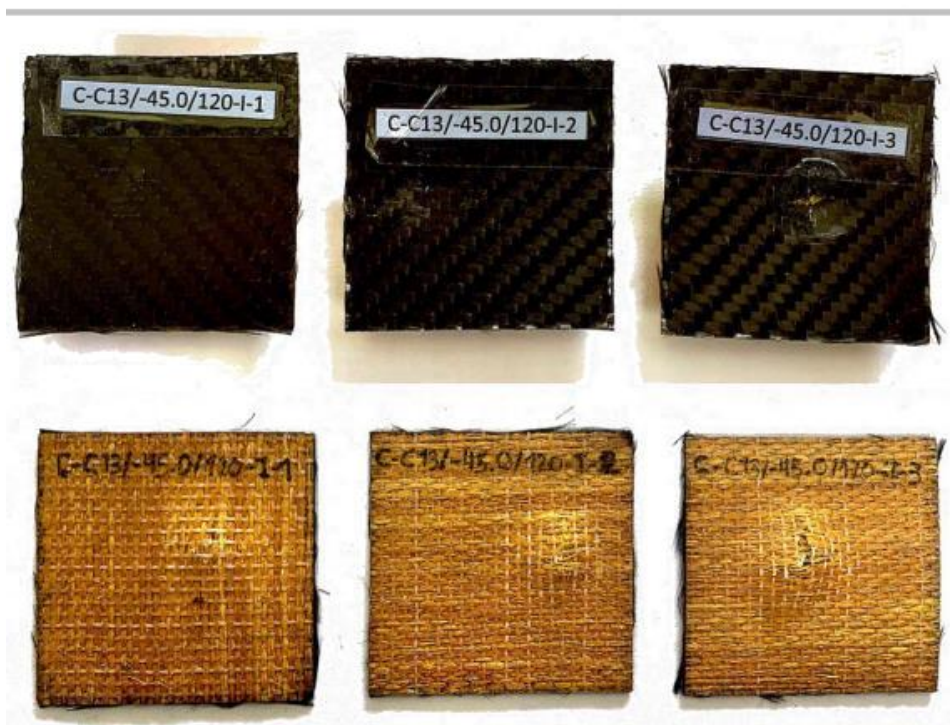
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	300	0,232	0,528	2,237	A
2	400	0,232	0,528	2,982	A
3	500	0,232	0,528	3,727	D
Promedio	400	-	-	2.982	
Observación	La probeta 1 y 2 tiene un tipo de falla A, que significa que tiene pequeñas fisuras en la probeta a una altura de 300 y 400mm y una masa de 0,232 kg. La probeta 3 tiene un tipo de falla D, que significa que la probeta presenta hundimiento a una altura de 500mm y su masa de 0,232kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 43 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 13

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C13/-45.0/120-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	-45°,0°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi	Temperatura de curado (°C)	120°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

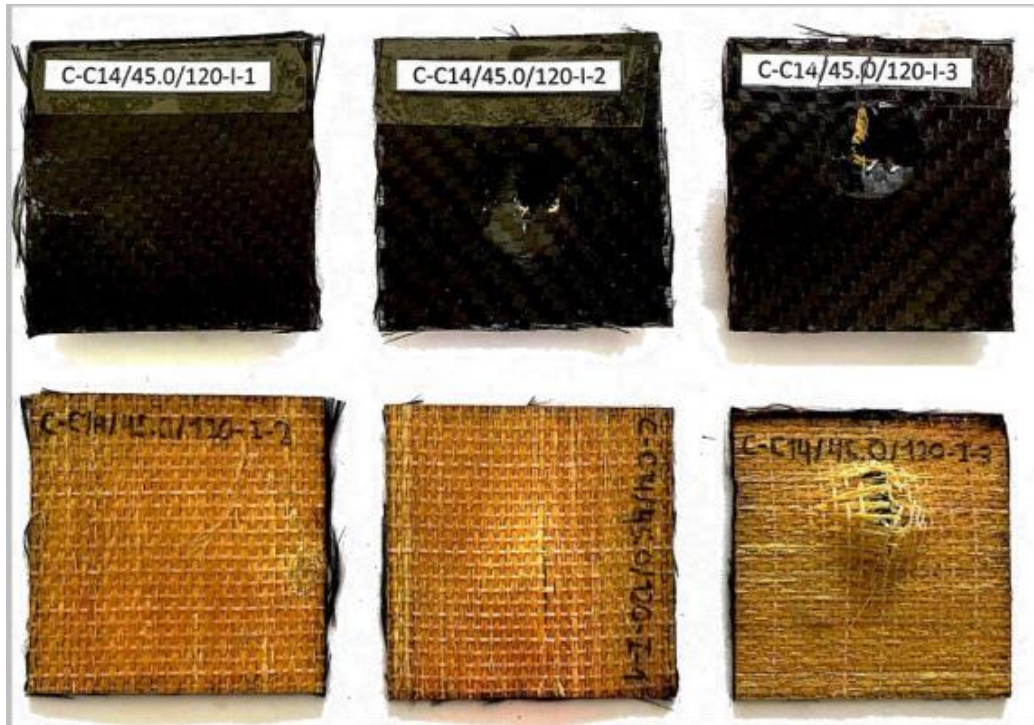
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	450	0,232	0,528	3,355	A
2	600	0,232	0,528	4,473	A
3	700	0,232	0,528	5,218	D
Promedio	583,33	-	-	4,348	
Observación:	La probeta 1 y 2 tiene un tipo de falla A, que significa que tiene pequeñas fisuras en la probeta a una altura de 450 y 600mm y una masa de 0,232 kg. La probeta 3 tiene un tipo de falla D, que significa que la probeta presenta hundimiento a una altura de 700mm y su masa de 0,232kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 44 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 14

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C14/45.0/120-I		
Fecha de ejecución:	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones:	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	45°,0°
Refuerzo:	Fibra de Carbono + Fibra de Chambir a	Temperatura de curado (°C)	120°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

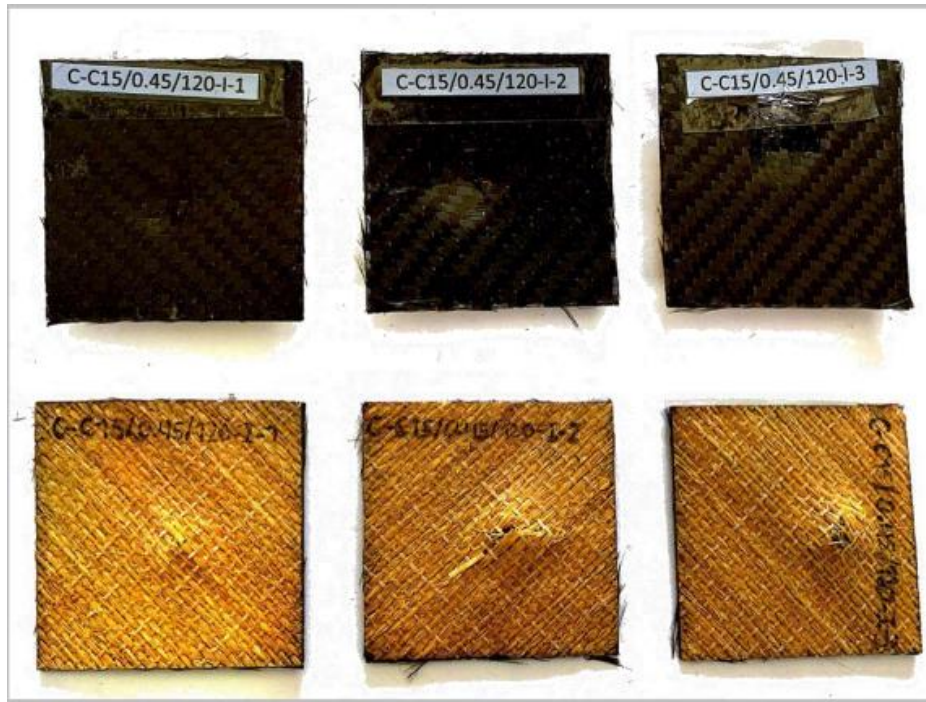
N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	450	0,232	0,528	3,355	A
2	600	0,232	0,528	4,473	A
3	700	0,232	0,528	5,218	D
Promedio	583,33	-	-	4,384	
Observación:	La probeta 1 y 2 tiene un tipo de fallo A, que significa tener pequeñas grietas en la probeta a alturas de 450 y 600mm y una masa de 0,232 kg. La probeta 3 tiene un tipo de falla D que significa tener un hundimiento en la probeta a una altura de 700mm y una masa de 0,232kg.				
Elaborado por:	Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		

Fuente: Autor

Tabla 3. 45 Ficha técnica del material híbrido a Impacto caso 15

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE TABULACIÓN DE DATOS					
IMPACTO ASTM D5628-10					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio:	Experimental	Codificación:	C-C15/0.45/120-I		
Fecha de ejecución :	31/05/2021	Equipo:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Realizado por:	Diego Freire	Revisado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.		
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica - UTA				
PÁRAMETROS DE ENSAYO					
Matriz:	Resina Epoxi	Norma:	ASTM D5628-10	Numero de probetas:	3
Marca:	Aeropoxy PR2032	Dimensiones :	(58x58) mm	Orientación de la fibra:	0°,45°
Refuerzo :	Fibra de Carbono + Fibra de Chambi a	Temperatura de curado (°C)	120°	Orden de Capas:	FC+FCh+FCh

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

N° de probetas	Altura media de fallo (mm)	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Energía media de fallo (J)	Tipo de falla
1	400	0,232	0,528	2,982	A
2	500	0,232	0,528	3,727	D
3	600	0,232	0,528	4,473	D
Promedio	500	-	-	3,727	
Observación		La probeta 1 tiene un tipo de falla A, lo que significa que tiene pequeñas grietas en la probeta a una altura de 400mm y una masa de 0,232kg. La probeta 2 y 3 tiene un tipo de falla D, lo que significa que tiene hundimiento en las probetas a una altura de 500 y 600mm y una masa de 0,232 kg.			
Elaborado por:		Diego Freire	Aprobado por:	Ing. Juan Paredes Salinas, Mg.	

Fuente: Autor

3.2. Análisis y discusión de resultado

Mediante una matriz generada anteriormente, se procede a analizar los datos obtenidos en los ensayos de tracción, flexión e impacto. Cada tabla presenta propiedades mecánicas a estudiar además y se determinó la densidad en cada caso.

Tabla 3. 46 Resultados de ensayos de tracción

#	Factores			Propiedades a tracción			
	Orient. C1	Orient. C2	Temp.	Esf. Tracción [MPa]	Elast. Tracción [Mpa]	Elong. [%]	Densidad Trac. [kg/m ³]
Caso 1	0	-45	60	125	9480	1,5	1,265
	0	-45	60	100	8410	1	1,361
	0	-45	60	140	10170	1,5	1,185
Caso 2	-45	0	60	104	9500	4	1,198
	-45	0	60	96	11190	5	1,195
	-45	0	60	112	11200	1	1,246
Caso 3	45	0	60	114	10410	2,5	1,248
	45	0	60	114	9370	1,5	1,195
	45	0	60	116	8720	1,5	1,245
Caso 4	0	45	60	123	9510	2,5	1,251
	0	45	60	136	11720	1	1,254
	0	45	60	107	9480	3	1,195
Caso 5	-45	-45	90	95	7290	1,5	1,261
	-45	-45	90	99	7900	0,5	1,241
	-45	-45	90	89	8360	1	1,242
Caso 6	45	-45	90	94	8010	1,5	1,195
	45	-45	90	228	9429	4,5	1,186
	45	-45	90	80	7560	1,5	1,187
Caso 7	0	0	90	231	8574	0,5	1,119
	0	0	90	108	2170	2	1,287
	0	0	90	117	9760	1,5	1,189
Caso 8	0	0	90	102	9970	1,5	1,245
	0	0	90	108	9860	1,5	1,265
	0	0	90	92	9740	0,5	1,267
Caso 9	0	0	90	282	10550	2,5	1,311
	0	0	90	118	11660	3	1,278
	0	0	90	114	13570	1,5	1,289
Caso 10	-45	45	90	89	7520	1,5	1,245
	-45	45	90	85	8330	2,5	1,189
	-45	45	90	85	8830	2,5	1,117
Caso 11	45	45	90	247	11340	1	1,211
	45	45	90	254	10550	0,5	1,275
	45	45	90	264	10220	1	1,284
Caso 12	0	-45	120	276	12590	3	1,214
	0	-45	120	120	9680	3,5	1,225
	0	-45	120	115	9810	5,5	1,236
Caso 13	-45	0	120	113	9120	2	1,314
	-45	0	120	123	9750	1	1,321
	-45	0	120	127	9940	0,5	1,289
	45	0	120	114	10010	0,5	1,178

Caso 14	45	0	120	106	8820	3	1,189
	45	0	120	88	8530	2	1,168
Caso 15	0	45	120	114	9500	1,5	1,366
	0	45	120	95	9200	0,5	1,411
	0	45	120	105	8710	1,5	1,256

Fuente: Autor

Tabla 3. 47 Resultados de ensayos a flexión

#	Factores			Propiedades a flexión			
	Orient. C1	Orient. C2	Temp.	Esf. Flexión [MPa]	Elast. Flexión [MPa]	Deflexión [mm]	Densid. Flex. [kg/m ³]
Caso 1	0	-45	60	72,38	2670	9,14	1,142
	0	-45	60	56,78	2060	9,01	1,185
	0	-45	60	64,7	2530	8,78	1,189
Caso 2	-45	0	60	66,66	3720	5,53	1,235
	-45	0	60	74,46	4820	5,24	1,267
	-45	0	60	79,28	4820	5,34	1,258
Caso 3	45	0	60	77,65	7010	4,92	1,247
	45	0	60	83,56	6920	5,93	1,242
	45	0	60	68,67	7900	4,35	1,258
Caso 4	0	45	60	43,43	1570	7,2	1,125
	0	45	60	40,98	1460	8,52	1,137
	0	45	60	42,87	1380	7,87	1,149
Caso 5	-45	-45	90	35,18	950	9,78	1,246
	-45	-45	90	32,56	876	10,38	1,238
	-45	-45	90	32,15	634	8,7	1,258
Caso 6	45	-45	90	30,21	1170	7,86	1,278
	45	-45	90	35,78	1070	9,02	1,189
	45	-45	90	43,11	1350	9,31	1,185
Caso 7	0	0	90	98,43	6340	6,81	1,178
	0	0	90	74,63	3970	5,51	1,652
	0	0	90	98,63	7160	6,94	1,678
Caso 8	0	0	90	81,71	4610	6,28	1,789
	0	0	90	83,46	4910	6,06	1,658
	0	0	90	88,27	5950	6,61	1,574
Caso 9	0	0	90	64,71	3960	7,04	1,311
	0	0	90	65,45	5890	5,48	1,256
	0	0	90	67,93	7220	5,51	1,263
Caso 10	-45	45	90	20,65	965	8,55	1,274
	-45	45	90	24,04	631	9,3	1,165
	-45	45	90	26,42	921	7,31	1,281
Caso 11	45	45	90	27,94	555	8,85	1,174
	45	45	90	50,76	1470	9,2	1,189
	45	45	90	30,1	664	8,16	1,167

Caso 12	0	-45	120	41,45	1150	10,47	1,167
	0	-45	120	39,6	1320	8,84	1,154
	0	-45	120	37,4	1060	8,73	1,174
Caso 13	-45	0	120	43,28	4380	4,91	1,241
	-45	0	120	46,41	5170	4,34	1,231
	-45	0	120	55,62	6000	4,92	1,218
Caso 14	45	0	120	57,39	4950	6,25	1,258
	45	0	120	70,77	4230	7,39	1,254
	45	0	120	65,48	6380	7,1	1,354
Caso 15	0	45	120	35,57	941	9,11	1,258
	0	45	120	37,16	1040	7,47	1,189
	0	45	120	42,67	1050	9,03	1,175

Fuente: Autor

Tabla 3. 48 Resultados de ensayos a impacto

Casos	Factores			Propiedades a impacto	
	Orient. C1	Orient. C2	Temp.	Energía fallo [J]	Densid. Impac. [kg/m ³]
Caso 1	0	-45	60	3,437	1,083
	0	-45	60		1,095
	0	-45	60		1,113
Caso 2	-45	0	60	4,01	1,127
	-45	0	60		1,135
	-45	0	60		1,147
Caso 3	45	0	60	3,961	1,078
	45	0	60		1,089
	45	0	60		1,094
Caso 4	0	45	60	5,964	1,189
	0	45	60		1,211
	0	45	60		1,235
Caso 5	-45	-45	90	4,473	1,238
	-45	-45	90		1,289
	-45	-45	90		1,241
Caso 6	45	-45	90	3,949	1,237
	45	-45	90		1,245
	45	-45	90		1,256
Caso 7	0	0	90	2,291	1,189
	0	0	90		1,175
	0	0	90		1,568
Caso 8	0	0	90	2,291	1,211
	0	0	90		1,235
	0	0	90		1,256
Caso 9	0	0	90	3,291	1,117
	0	0	90		1,118

	0	0	90		1,178
Caso 10	-45	45	90	4,473	1,256
	-45	45	90		1,235
	-45	45	90		1,269
Caso 11	45	45	90	4,473	1,174
	45	45	90		1,189
	45	45	90		1,178
Caso 12	0	-45	120	3,727	1,182
	0	-45	120		1,141
	0	-45	120		1,178
Caso 13	-45	0	120	4,473	1,169
	-45	0	120		1,256
	-45	0	120		1,178
Caso 14	45	0	120	5,218	1,256
	45	0	120		1,238
	45	0	120		1,269
Caso 15	0	45	120	4,473	1,258
	0	45	120		1,263
	0	45	120		1,279

Fuente: Autor

3.3. Análisis de datos a Tracción

3.3.1. Análisis de datos del esfuerzo a Tracción.

3.3.1.1. Verificación de Supuestos

Se tiene contemplado que la metodología de superficie de respuesta basa su cálculo en emplear el análisis de la varianza, por lo que es preciso que los datos cumplan con los supuestos paramétricos requeridos para la certeza de los resultados. Esos supuestos son: normalidad en los datos, igualdad de varianza en los tratamientos e independencia de datos.

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos del esfuerzo a tracción, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a tratar los datos con un parámetro de transformación de -2,22, se obtiene un valor-p de 0,066, el cual al ser mayor que 0,05 se puede entender que los datos provienen de una distribución normal.

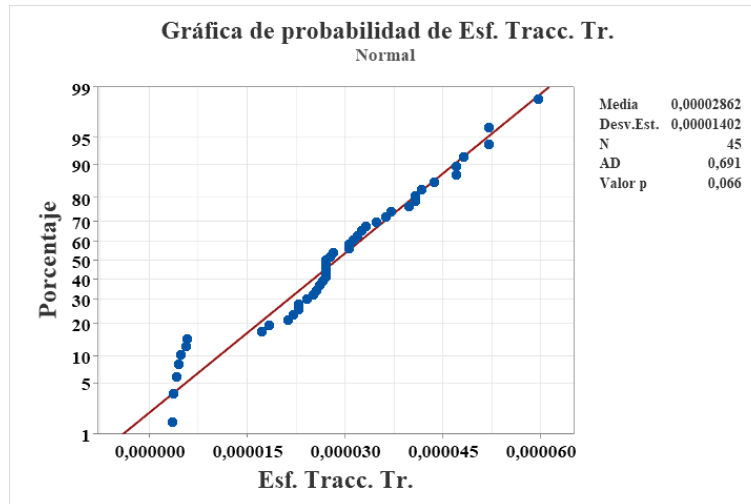


Figura 3. 1. Gráfica de probabilidad normal del esfuerzo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software.

Supuesto de Igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos del esfuerzo a tracción tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Posterior a la transformación de los datos se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,344, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos.

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos del esfuerzo a tracción.

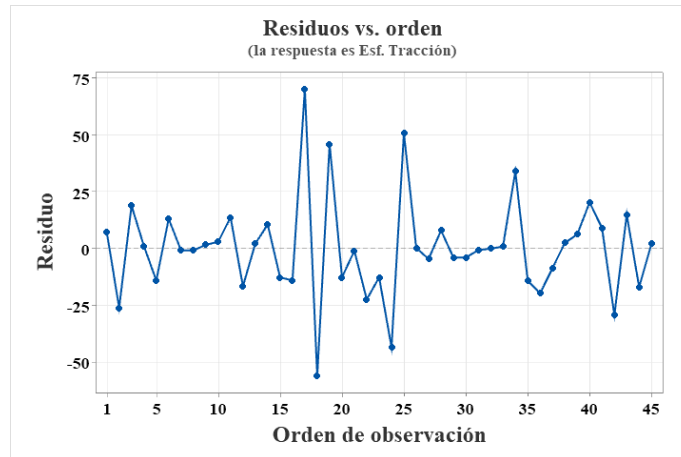


Figura 3. 2. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del esfuerzo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software.

En la Figura 3.2 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos del esfuerzo a la tracción.

3.3.1.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3. 49 ANOVA para el esfuerzo a tracción

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	25962,7	2163,55	3,20	0,004
Orient.C1	1	95,6	95,65	0,14	0,709
Orient.C2	1	834,0	834,02	1,23	0,275
Temp.	1	21,9	21,93	0,03	0,858
Orient.C1*Orient.C1	1	2445,0	2445,03	3,62	0,066
Orient.C2*Orient.C2	1	141,9	141,95	0,21	0,650
Temp.*Temp.	1	130,5	130,50	0,19	0,663
Orient.C1*Orient.C2	1	6577,5	6577,52	9,73	0,004
Orient.C1*Temp.	1	1446,8	1446,76	2,14	0,153
Orient.C2*Temp.	1	1095,4	1095,41	1,62	0,212
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2	1	2759,3	2759,33	4,08	0,052
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	20,0	20,03	0,03	0,864

Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	6607,9	6607,94	9,77	0,004
Error	32	21639,3	676,23		
Total	44	47601,9			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos del esfuerzo a la tracción tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,004, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 54,54% de la variabilidad del esfuerzo a tracción.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.3 esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación del esfuerzo a tracción.

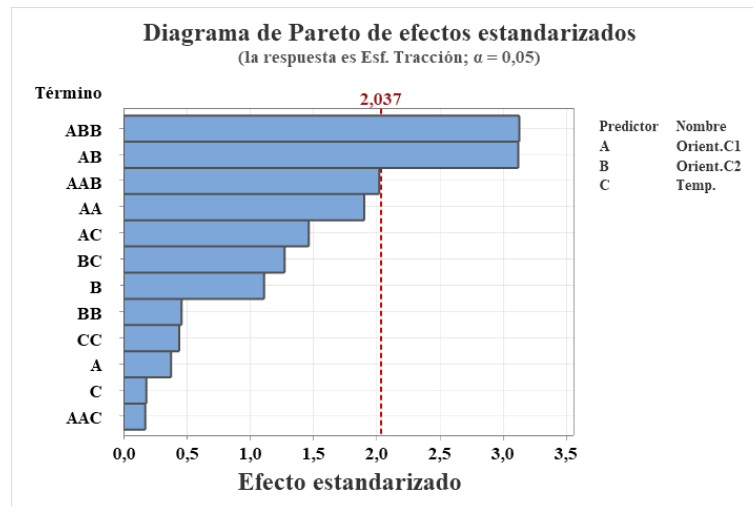


Figura 3. 3. Diagrama de Pareto de los efectos para el esfuerzo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software.

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la figura 3.4 esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la

pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

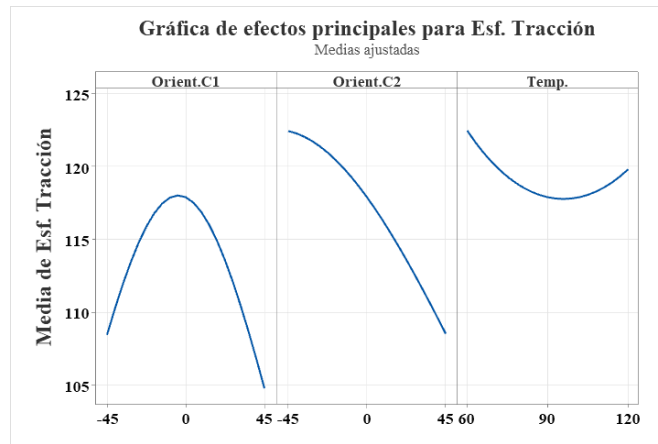


Figura 3. 4. Gráfica de efectos principales para el esfuerzo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software.

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la figura 3.5 todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

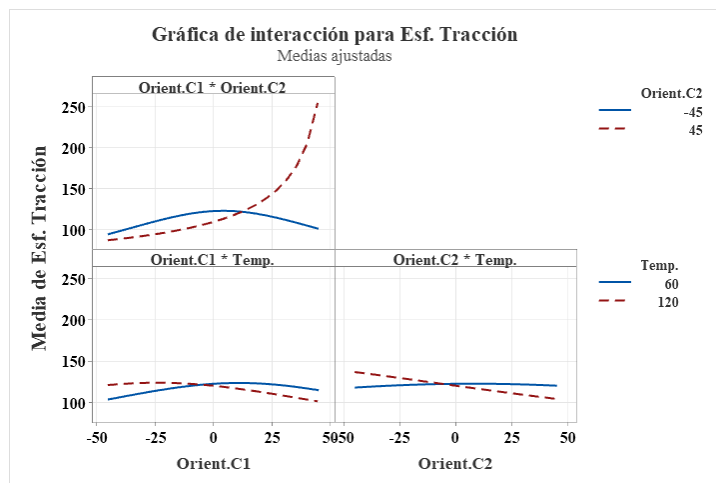


Figura 3. 5. Gráfica de interacción para el esfuerzo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software.

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la figura 3.6 en esta se describe el comportamiento del esfuerzo a tracción ante la variación de los niveles de los factores.

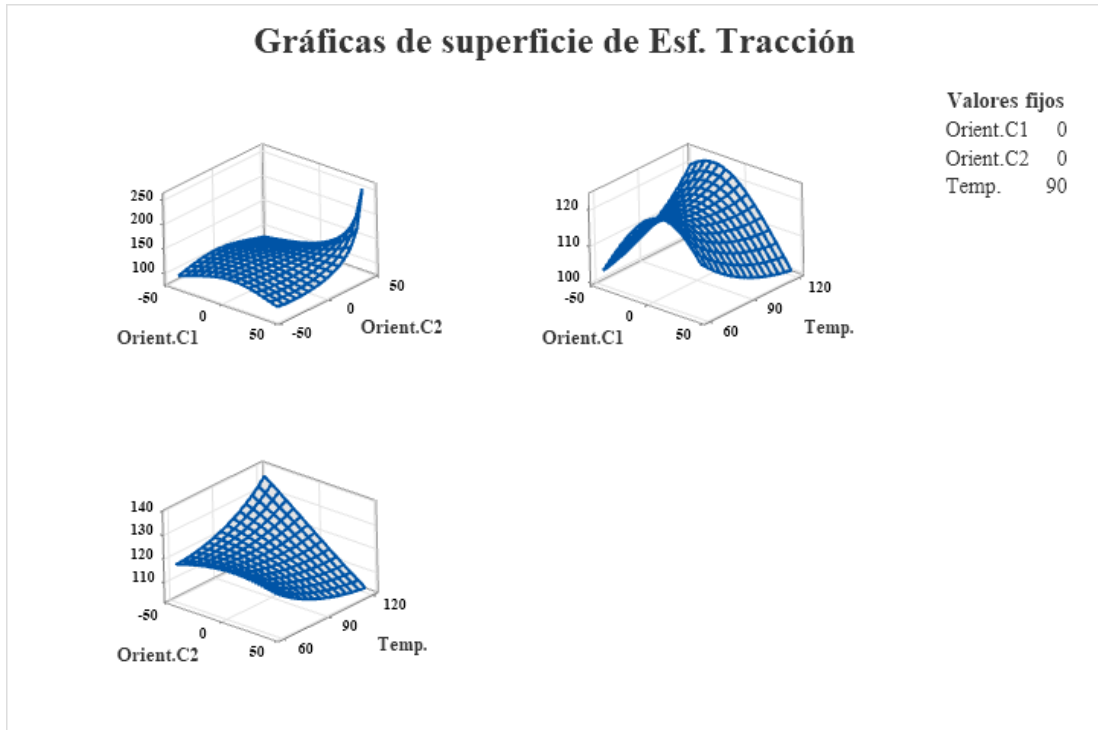


Figura 3. 6. Gráfica de interacción para el esfuerzo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software.

En la figura 3.6, se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más altos del esfuerzo a la tracción.

3.3.1.3. Optimización individual del esfuerzo a tracción.

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos del esfuerzo a tracción, además se tiene claro que el objetivo es maximizar dicha propiedad

Los parámetros considerados se detallan en la figura 3.7, en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

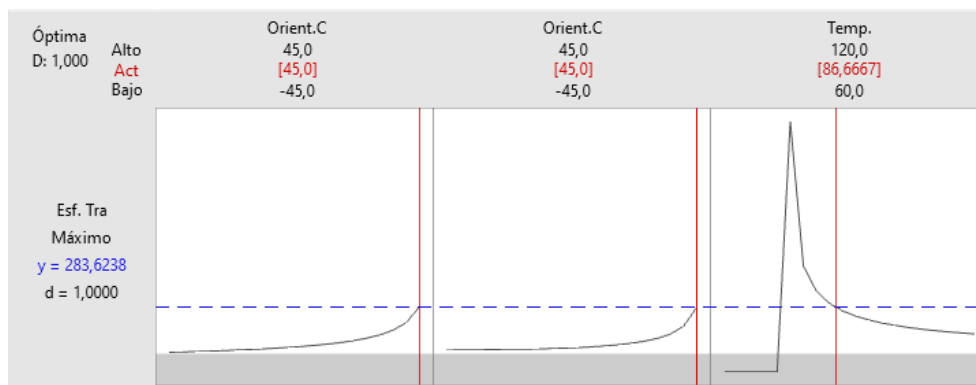


Figura 3. 7. Gráfica de optimización para el esfuerzo a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software.

Los niveles de cada factor que optimizan el esfuerzo a tracción maximizando el valor del mismo, se detallan en la figura 3.7, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 50 ANOVA para el esfuerzo a tracción

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	45°	Esfuerzo a tracción	283,624 MPa
Orientación Capa 2	45°		
Temperatura	86,67 °C		

Fuente: Autor

3.3.2. Análisis de datos del módulo de elasticidad a Tracción.

3.3.2.1. Verificación de supuestos

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos del módulo de elasticidad a tracción, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a tratar los datos mediante un análisis de valore atípicos, se obtiene un valor-p de 0.191, el cual al ser mayor que 0,05 se puede entender que los datos provienen de una distribución normal.

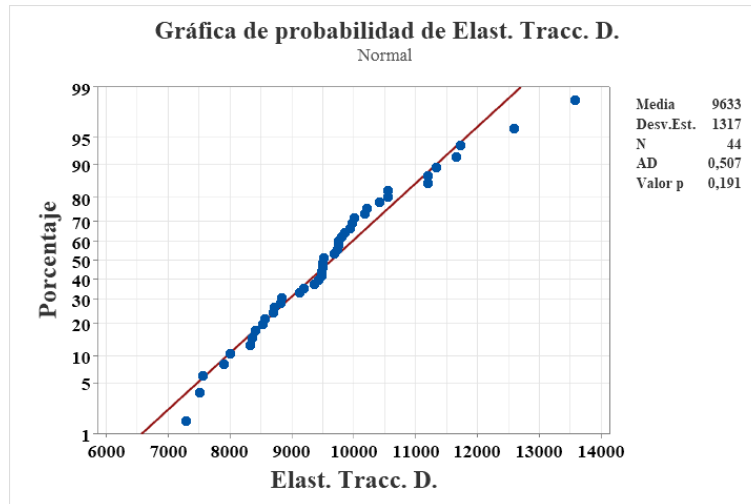


Figura 3. 8. Gráfica de probabilidad normal del módulo de elasticidad a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos del módulo de elasticidad a tracción tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Posterior al tratamiento de los datos se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,989, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuestos de independencia de datos

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos del módulo de elasticidad a tracción.



Figura 3. 9. Gráfica de probabilidad normal del módulo de elasticidad a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.9. se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos del módulo de elasticidad a tracción.

3.3.2.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuestas (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.43 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3. 51 ANOVA para el módulo de elasticidad a tracción

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Regresión	12	38722558	3226880	2,79	0,011
Orient.C1	1	1952133	1952133	1,69	0,204
Orient.C2	1	340033	340033	0,29	0,592
Temp.	1	43200	43200	0,04	0,848
Orient.C1*Orient.C1	1	8871125	8871125	7,67	0,009
Orient.C2*Orient.C2	1	6329059	6329059	5,47	0,026
Temp.*Temp.	1	289667	289667	0,25	0,620
Orient.C1*Orient.C2	1	2981030	2981030	2,58	0,119
Orient.C1*Temp.	1	313633	313633	0,27	0,606
Orient.C2*Temp.	1	4465200	4465200	3,86	0,058
	1	4387005	4387005	3,79	0,061
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2					
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	1016817	1016817	0,88	0,356

Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	7842123	7842123	6,78	0,014
Error	31	35865235	1156943		
Total	43	74587793			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos del módulo de elasticidad a tracción tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,011, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 51,92% de la variabilidad del módulo de elasticidad a tracción.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.10, esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación del módulo de elasticidad a tracción.

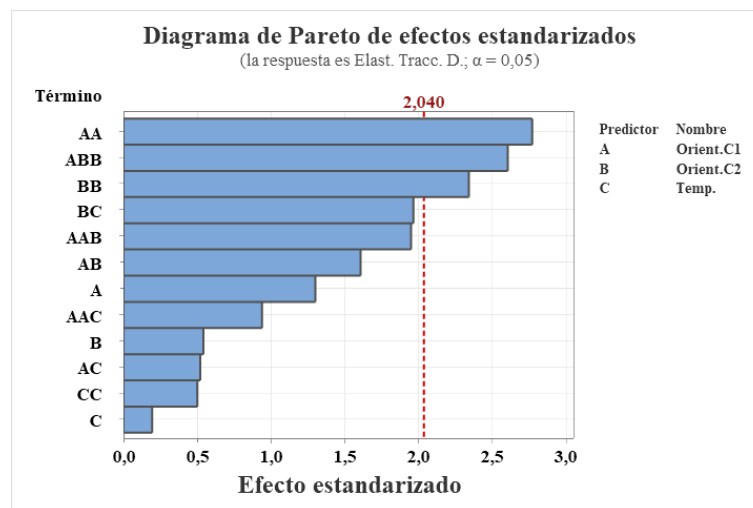


Figura 3. 10. Diagrama de Pareto de los efectos para el módulo de elasticidad a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.11, esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la

pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

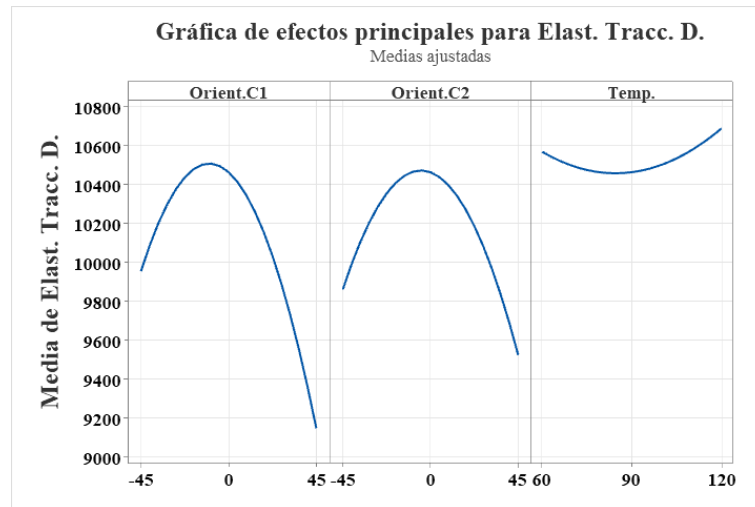


Figura 3. 11. Gráfica de efectos principales para el módulo de elasticidad a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.12, todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

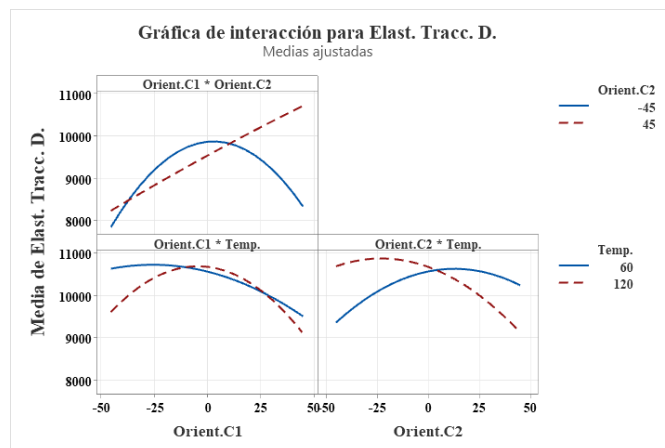


Figura 3. 12. Gráfica de interacción para el módulo de elasticidad a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la Figura 3.13, en esta se describe el comportamiento del esfuerzo a tracción ante la variación de los niveles de los factores.

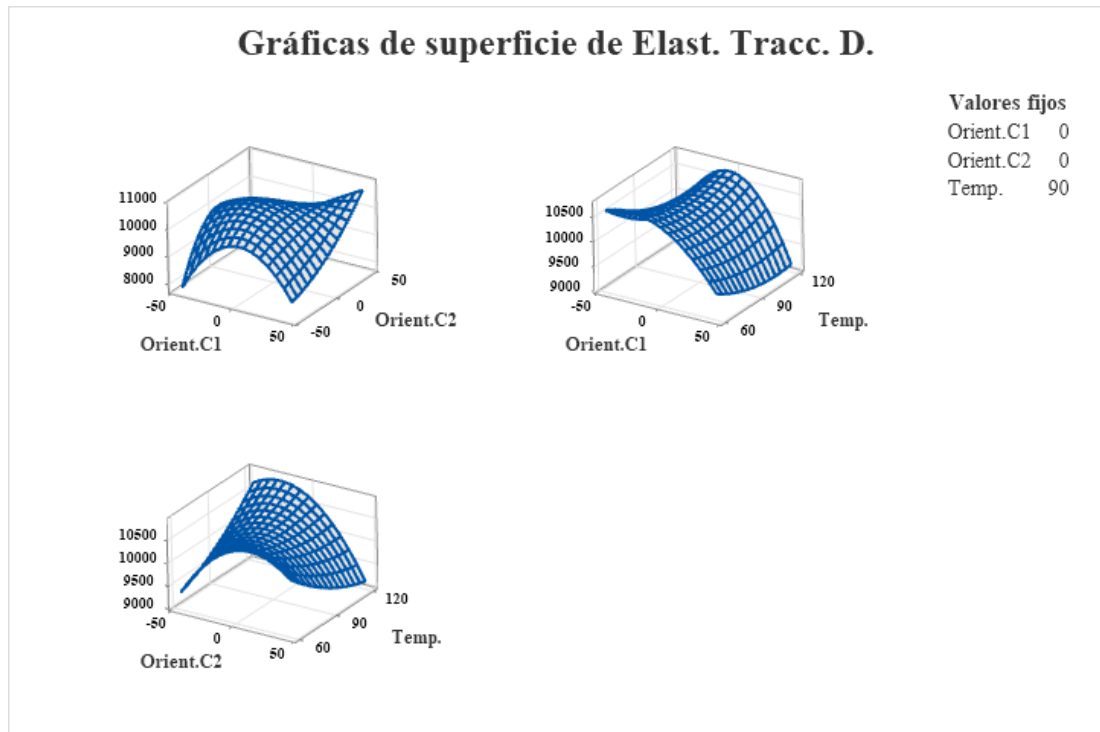


Figura 3. 13. Gráfica de superficie del módulo de elasticidad a tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.13, se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más altos del módulo de elasticidad a tracción.

3.3.2.3. Optimización individual del módulo de elasticidad a Tracción

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos del módulo de elasticidad a tracción, además se tiene claro que el objetivo es maximizar dicha propiedad

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.14, en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

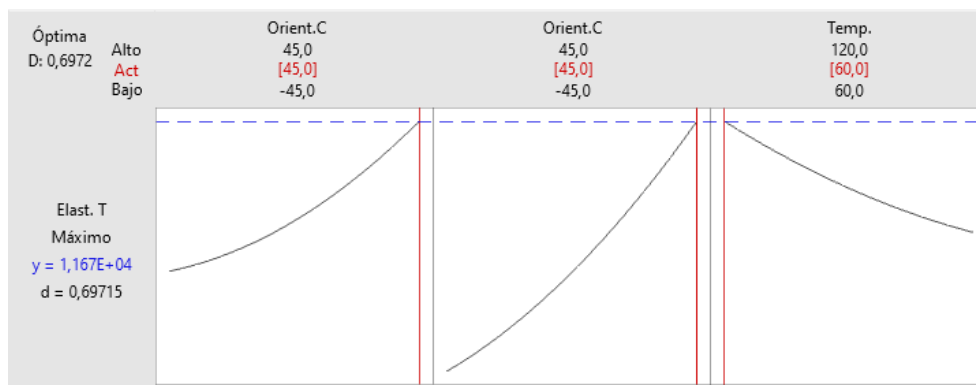


Figura 3. 14. Gráfica de optimización para el módulo de elasticidad a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan el módulo de elasticidad a tracción maximizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.52, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 52 Valores predichos para el punto óptimo del módulo de elasticidad a tracción

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	45°	Módulo de elasticidad a tracción	11668 MPa
Orientación Capa 2	45°		
Temperatura	60 °C		

Fuente: Autor

3.3.3. Análisis de datos de la elongación

3.3.3.1. Verificación de supuestos

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos de la elongación, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a tratar los datos mediante un parámetro de transformación de 0,29, se obtiene un valor-p de 0.018, el cual al ser menor que 0,05 se puede entender que los datos no provienen de una distribución normal.

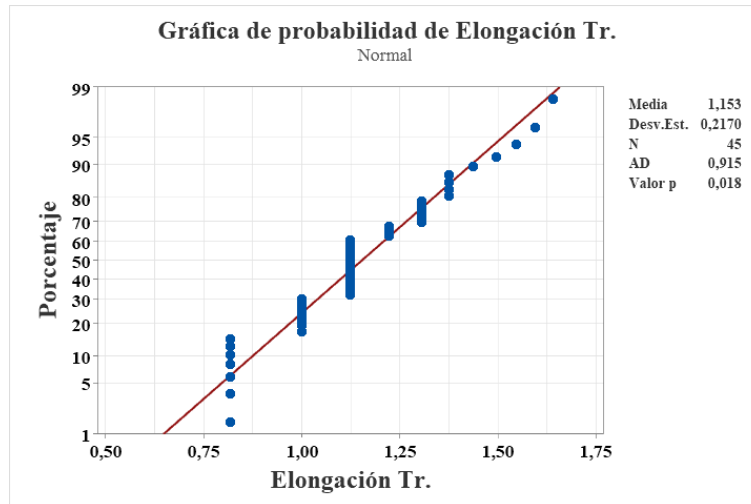


Figura 3. 15. Gráfica de probabilidad normal de la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos de la elongación tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Posterior a la transformación de los datos se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,982, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos de la elongación.



Figura 3. 16. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.16 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos de la elongación.

3.3.3.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3. 53 ANOVA para la elongación

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	0,90743	0,075619	2,08	0,049
Orient.C1	1	0,00215	0,002147	0,06	0,810
Orient.C2	1	0,07604	0,076045	2,09	0,158
Temp.	1	0,02911	0,029114	0,80	0,378
Orient.C1*Orient.C1	1	0,00375	0,003755	0,10	0,750
Orient.C2*Orient.C2	1	0,00127	0,001271	0,03	0,853
Temp.*Temp.	1	0,06767	0,067672	1,86	0,182
Orient.C1*Orient.C2	1	0,26087	0,260866	7,16	0,012
Orient.C1*Temp.	1	0,06914	0,069145	1,90	0,178
Orient.C2*Temp.	1	0,27461	0,274611	7,54	0,010
	1	0,02456	0,024555	0,67	0,418
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2					
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	0,13177	0,131772	3,62	0,066

Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	0,00040	0,000405	0,01	0,917
Error	32	1,16525	0,036414		
Total	44	2,07268			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos de la elongación tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,049, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 43,78% de la variabilidad de la elongación.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.17, esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación de la elongación.

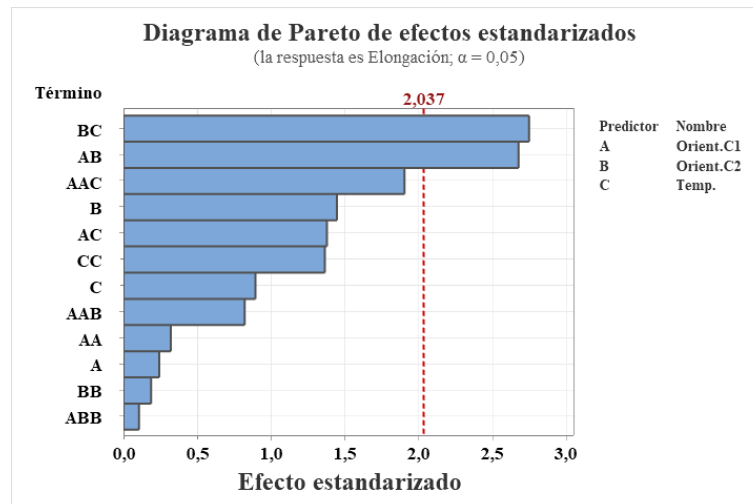


Figura 3. 17. Diagrama de Pareto de los efectos para la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.18, esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la

pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales

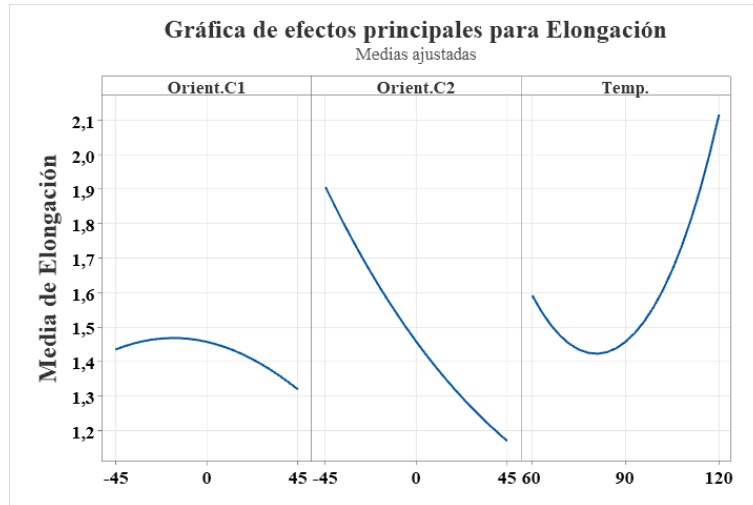


Figura 3. 18. Gráfica de efectos principales para la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.19, todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

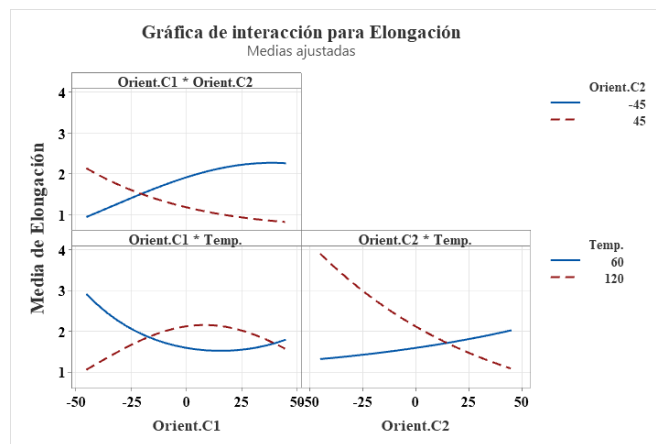


Figura 3. 19. Gráfica de interacción para la elongación

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la Figura 3.20, en esta se describe el comportamiento del esfuerzo a tracción ante la variación de los niveles de los factores

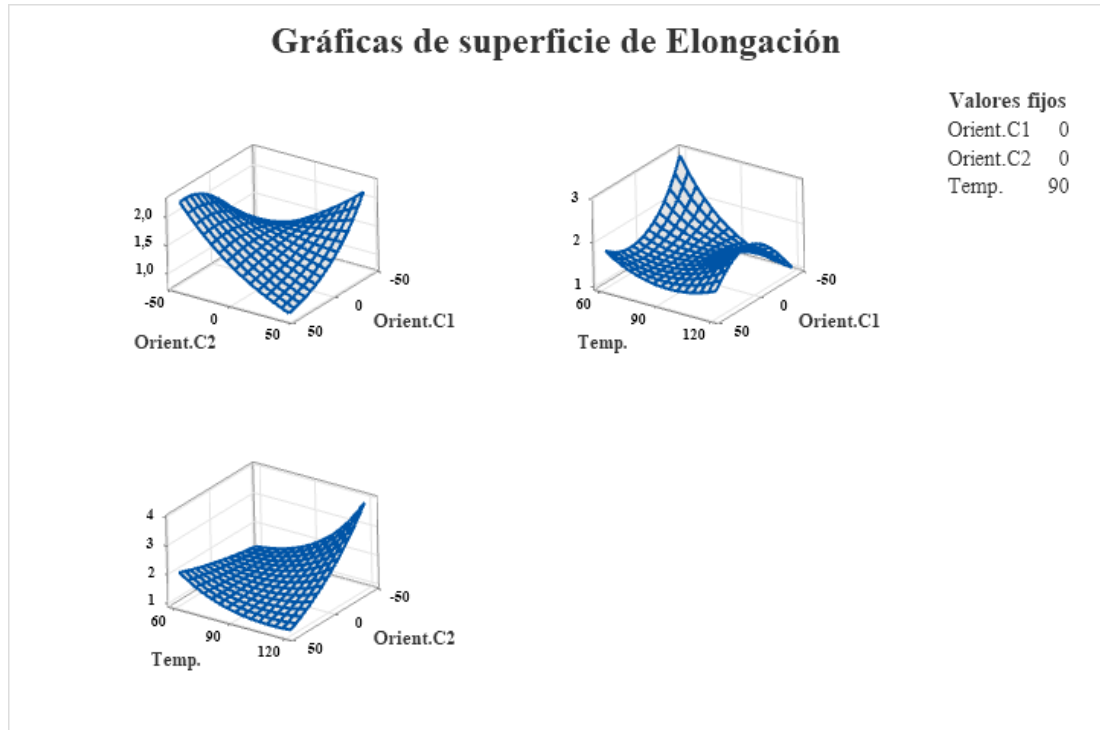


Figura 3. 20. Gráfica de superficie de la elongación.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.20, se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más bajos de la elongación.

3.3.3.3. Optimización individual de la elongación

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos del módulo de elasticidad a tracción, además se tiene claro que el objetivo es minimizar dicha propiedad.

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.21, en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

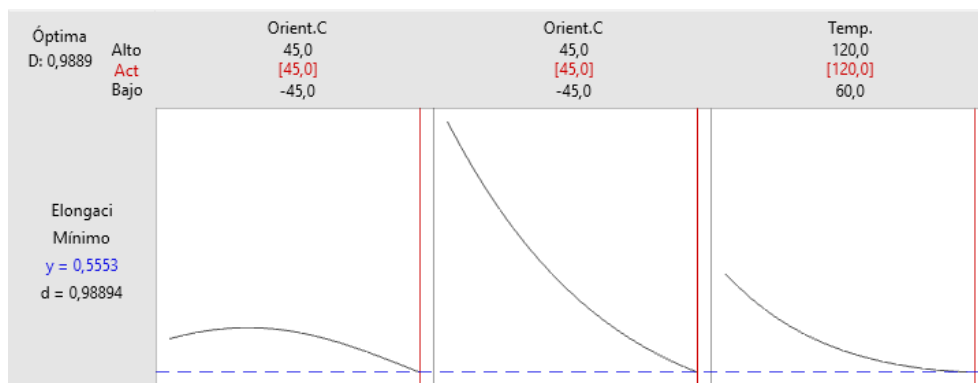


Figura 3. 21. Gráfica de superficie de la elongación.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan la elongación minimizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.54, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 54 Valores predichos para el punto óptimo de la elongación

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	45°	Elongación	0,5553 %
Orientación Capa 2	45°		
Temperatura	120 °C		

Fuente: Autor

3.3.4. Análisis de datos de la densidad de las probetas a tracción

3.3.4.1. Verificación de supuestos

Supuesto de Normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos de la densidad de las probetas a tracción, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, se obtiene un valor-p de 0.147, el cual al ser menor que 0,05 se puede entender que los datos no provienen de una distribución normal.

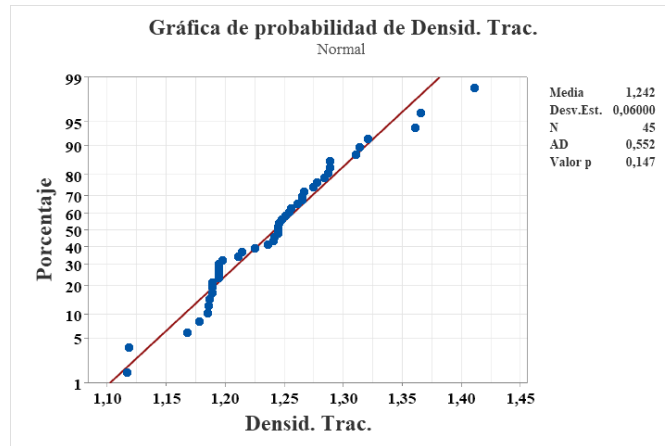


Figura 3. 22. Gráfica de probabilidad normal de la densidad de las probetas a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos de la densidad de las probetas a tracción tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,564, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos de la densidad de las probetas a tracción.

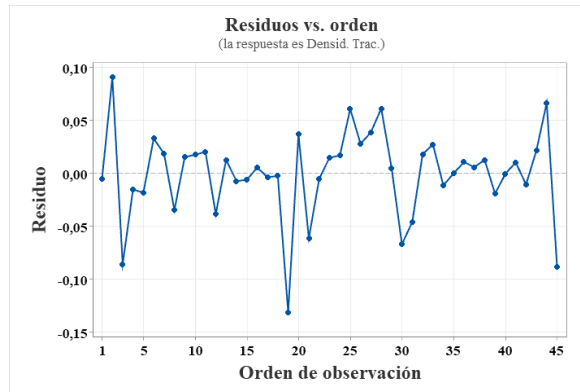


Figura 3. 23. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la densidad de las probetas de tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.23, se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos de la densidad de las probetas a tracción

3.3.4.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3. 55 ANOVA para la densidad de las probetas a tracción

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	0,083009	0,006917	2,94	0,007
Orient.C1	1	0,009633	0,009633	4,09	0,052
Orient.C2	1	0,005084	0,005084	2,16	0,152
Temp.	1	0,003234	0,003234	1,37	0,250
Orient.C1*Orient.C1	1	0,012308	0,012308	5,22	0,029
Orient.C2*Orient.C2	1	0,000084	0,000084	0,04	0,852
Temp.*Temp.	1	0,002661	0,002661	1,13	0,296
Orient.C1*Orient.C2	1	0,013002	0,013002	5,52	0,025
Orient.C1*Temp.	1	0,015987	0,015987	6,78	0,014
Orient.C2*Temp.	1	0,018330	0,018330	7,78	0,009
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2	1	0,002360	0,002360	1,00	0,324
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	0,000176	0,000176	0,07	0,786
Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	0,006112	0,006112	2,59	0,117
Error	32	0,075417	0,002357		
Total	44	0,158426			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos de la densidad de las probetas a tracción tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,007, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 52,40% de la variabilidad de la densidad de las probetas a tracción.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.23, esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación de la densidad de las probetas a tracción.

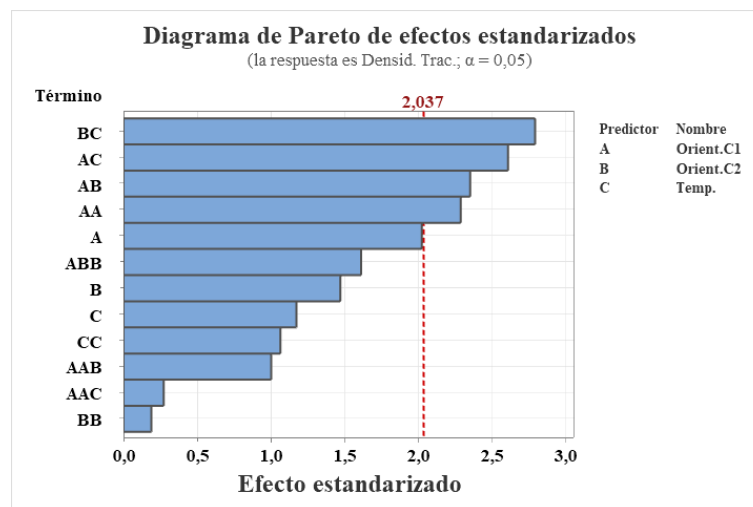


Figura 3.24. Diagrama de Pareto de los efectos para la densidad de las probetas a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.24, esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

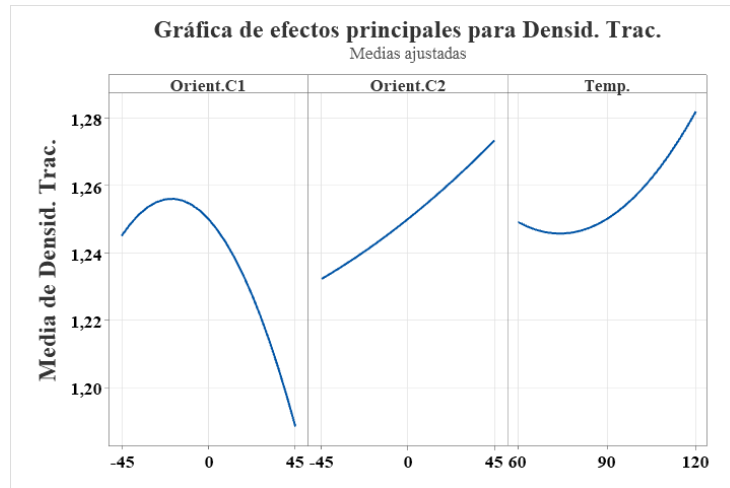


Figura 3.25. Gráfica de efectos principales para la densidad de las probetas a traccion.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.25, todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

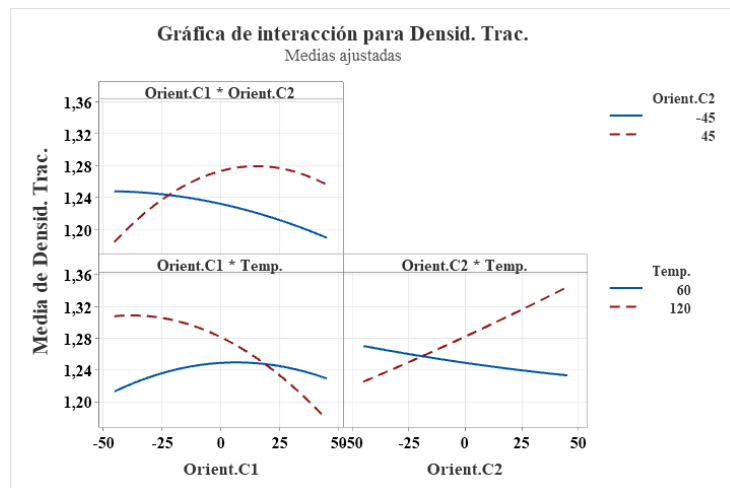


Figura 3.26. Gráfica de interacción para de la densidad de las probetas a traccion.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de

variables empujadas, estas se detallan en la Figura 3.26, en esta se describe el comportamiento del esfuerzo a tracción ante la variación de los niveles de los factores.

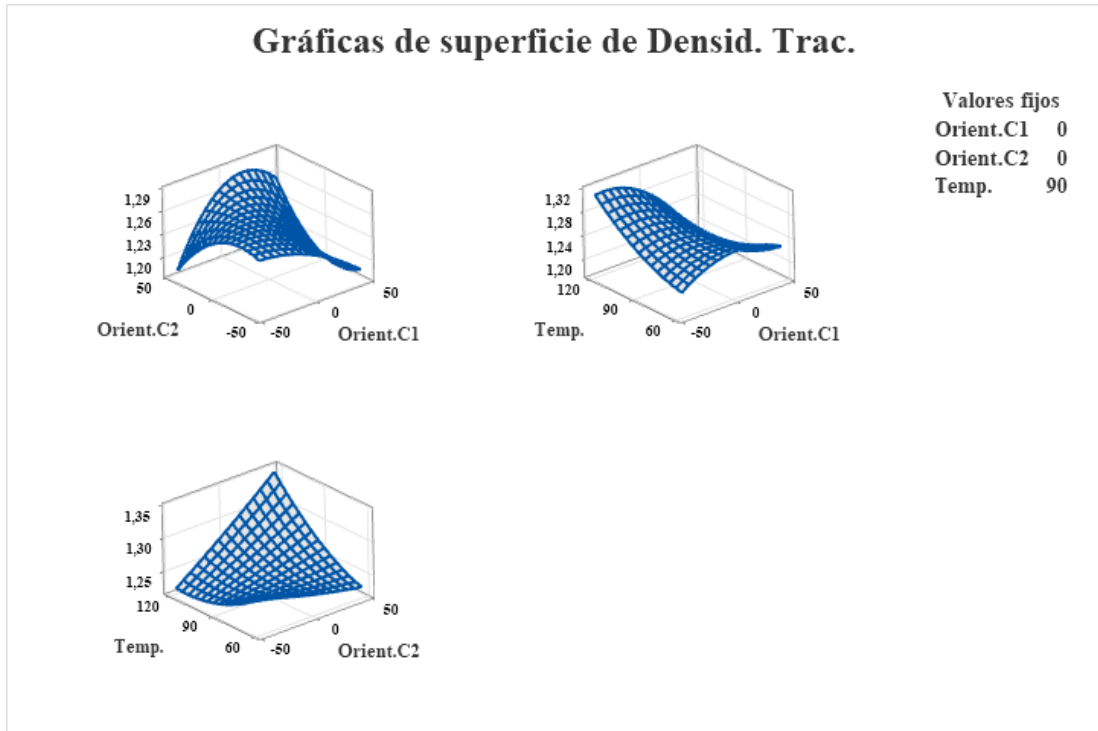


Figura 3.27. Gráfica de superficie de la densidad de las probetas a tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.27, se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más bajos de la densidad de las probetas a tracción.

3.3.4.3. Optimización individual de la densidad

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos del módulo de elasticidad a tracción, además se tiene claro que el objetivo es minimizar dicha propiedad.

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.28, en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

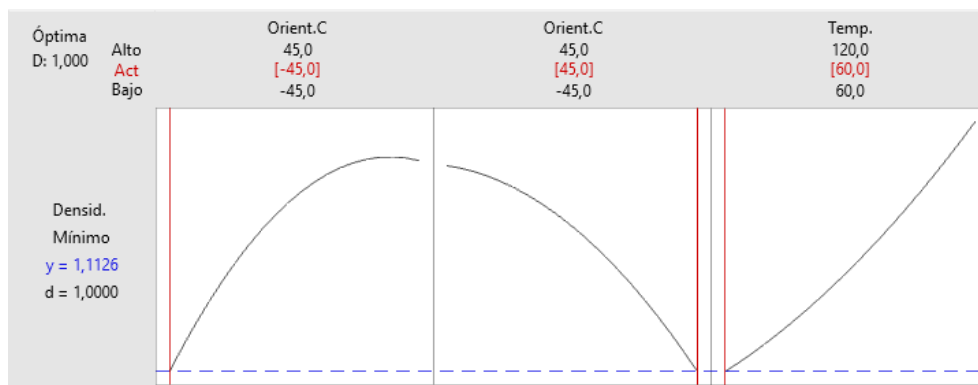


Figura 3.28. Gráfica de optimización para la densidad de las probetas de la tracción

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan la densidad de las probetas a tracción minimizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.56 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 56 Valores predichos para el punto óptimo de la densidad de las probetas a tracción

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	- 45°	Densidad de las probetas a tracción	1,1126 kg/m ³
Orientación Capa 2	45°		
Temperatura	60 °C		

Fuente: Autor

3.4. Análisis de datos a Flexión

3.4.1. Análisis de datos del esfuerzo a Flexión

3.4.1.1. Verificación de Supuestos

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos del esfuerzo a flexión, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a tratar los datos con un parámetro de transformación de 0,43, se obtiene un valor-p de 0,073, el cual al ser mayor que 0,05 se puede entender que los datos provienen de una distribución normal.

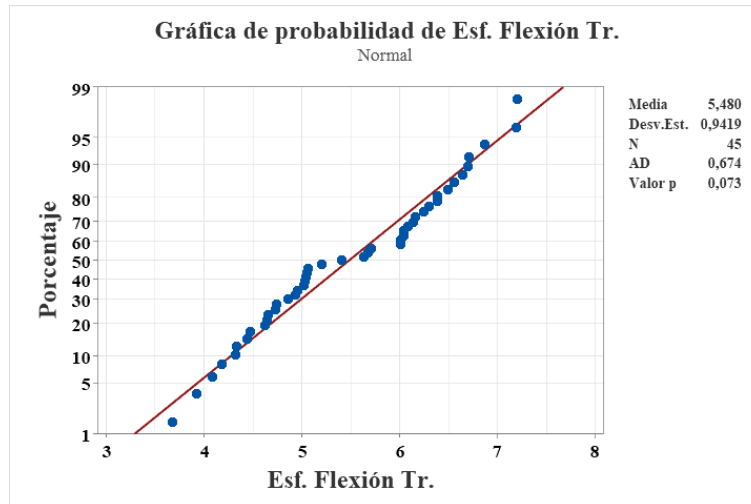


Figura 3.29. Gráfica de probabilidad normal del esfuerzo a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos del esfuerzo a flexión tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Posterior a la transformación de los datos se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,466, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos.

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos del esfuerzo a flexión.

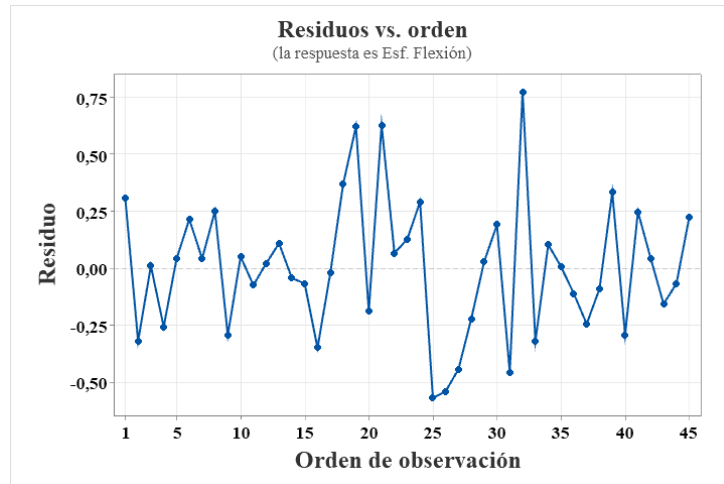


Figura 3.30. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del esfuerzo a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.30 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos del esfuerzo a la flexión.

3.4.1.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3. 57 ANOVA para el esfuerzo a flexión

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	35,1570	2,9297	24,17	0,000
Orient.C1	1	0,4967	0,4967	4,10	0,051
Orient.C2	1	0,8169	0,8169	6,74	0,014
Temp.	1	1,3670	1,3670	11,28	0,002
Orient.C1*Orient.C1	1	4,5854	4,5854	37,83	0,000
Orient.C2*Orient.C2	1	24,9100	24,9100	205,52	0,000
Temp.*Temp.	1	0,0913	0,0913	0,75	0,392
Orient.C1*Orient.C2	1	0,2534	0,2534	2,09	0,158
Orient.C1*Temp.	1	0,2560	0,2560	2,11	0,156
Orient.C2*Temp.	1	0,6489	0,6489	5,35	0,027
	1	0,0569	0,0569	0,47	0,498
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2					
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	0,0089	0,0089	0,07	0,789

Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	0,0033	0,0033	0,03	0,870
Error	32	3,8785	0,1212		
Total	44	39,0355			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos del esfuerzo a la flexión tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 90,06% de la variabilidad del esfuerzo a flexión.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.31, esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación del esfuerzo a flexión.

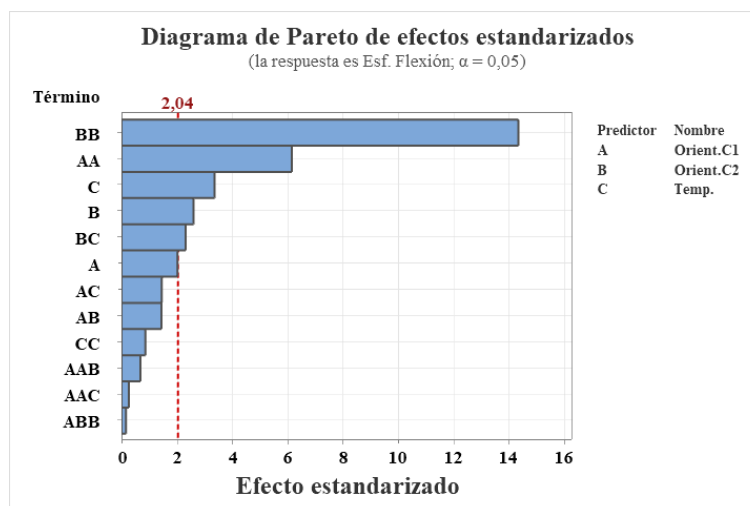


Figura 3.31. Diagrama de Pareto de los efectos para el esfuerzo a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.32, esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será

el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

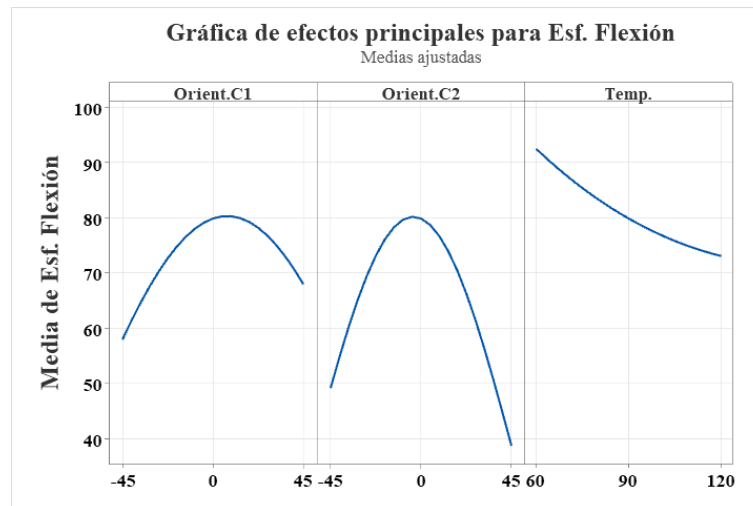


Figura 3.32. Gráfica de efectos principales para el esfuerzo a flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.33, todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

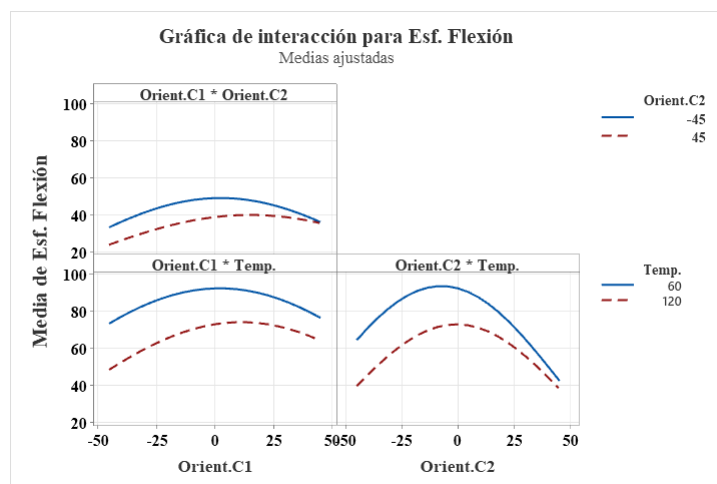


Figura 3.33. Gráfica de interacción para el esfuerzo a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la Figura 3.34, en esta se describe el comportamiento del esfuerzo a tracción ante la variación de los niveles de los factores

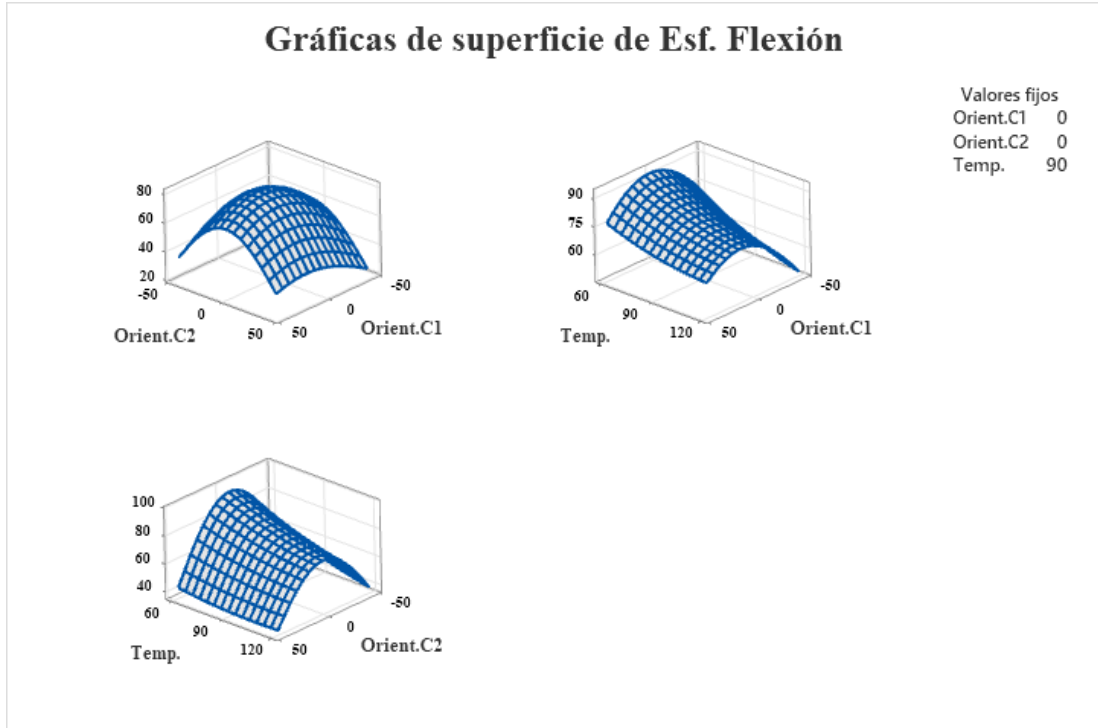


Figura 3.34. Gráfica de interacción para el esfuerzo a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.34, se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más altos del esfuerzo a la flexión

3.4.1.3. Optimización individual del esfuerzo a tracción.

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos del esfuerzo a flexión, además se tiene claro que el objetivo es maximizar dicha propiedad

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.35, en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

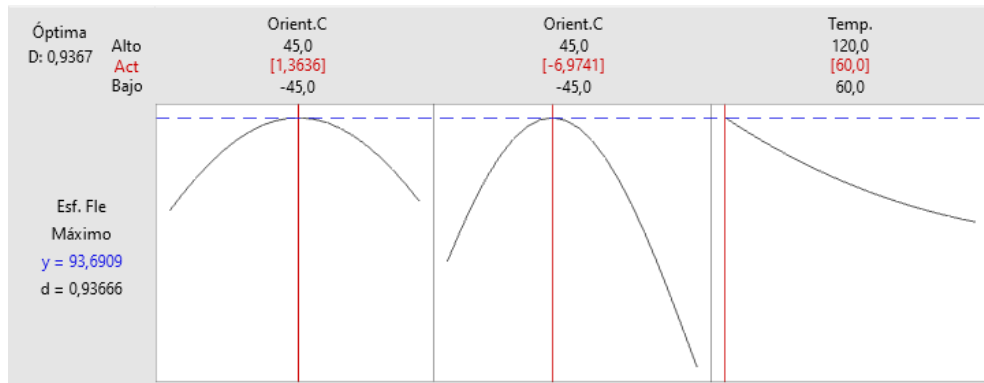


Figura 3.35. Gráfica de optimización para el esfuerzo a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan el esfuerzo a flexión maximizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.58, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 58 Valores predichos para el punto óptimo del esfuerzo a flexión

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	1,364°	Esfuerzo a flexión	93,69 MPa
Orientación Capa 2	-6,974°		
Temperatura	60 °C		

Fuente: Autor

3.4.2. Análisis de datos del módulo de elasticidad a Flexión

3.4.2.1. Verificación de supuestos

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos del módulo de elasticidad a flexión, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a tratar los datos con un parámetro de transformación de 0,13, se obtiene un valor-p de $<0,005$, el cual al ser menor que 0,05 se puede entender que los datos no provienen de una distribución normal.

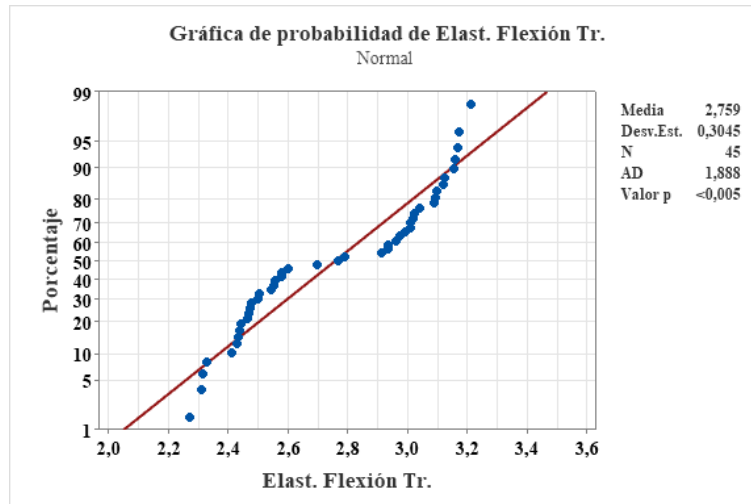


Figura 3.36. Gráfica de probabilidad normal del módulo de elasticidad a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos del módulo de elasticidad a flexión tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Posterior a la transformación de los datos se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,622, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos del módulo de elasticidad a flexión.



Figura 3.37. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del módulo de elasticidad a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.37 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos del módulo de elasticidad a flexión.

3.4.2.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo

Tabla 3. 59 ANOVA para el módulo de elasticidad a flexión

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	3,89731	0,32478	57,00	0,000
Orient.C1	1	0,02891	0,02891	5,07	0,031
Orient.C2	1	0,03619	0,03619	6,35	0,017
Temp.	1	0,10178	0,10178	17,87	0,000
Orient.C1*Orient.C1	1	0,06617	0,06617	11,61	0,002
Orient.C2*Orient.C2	1	3,47744	3,47744	610,36	0,000
Temp.*Temp.	1	0,06158	0,06158	10,81	0,002
Orient.C1*Orient.C2	1	0,01149	0,01149	2,02	0,165
Orient.C1*Temp.	1	0,03005	0,03005	5,27	0,028
Orient.C2*Temp.	1	0,01134	0,01134	1,99	0,168
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2	1	0,00443	0,00443	0,78	0,384
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	0,03072	0,03072	5,39	0,027
Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	0,00205	0,00205	0,36	0,553
Error	32	0,18232	0,00570		
Total	44	4,07963			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos del módulo de elasticidad a flexión tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 95,53% de la variabilidad del módulo de elasticidad a flexión.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.38 esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación del módulo de elasticidad a flexión.

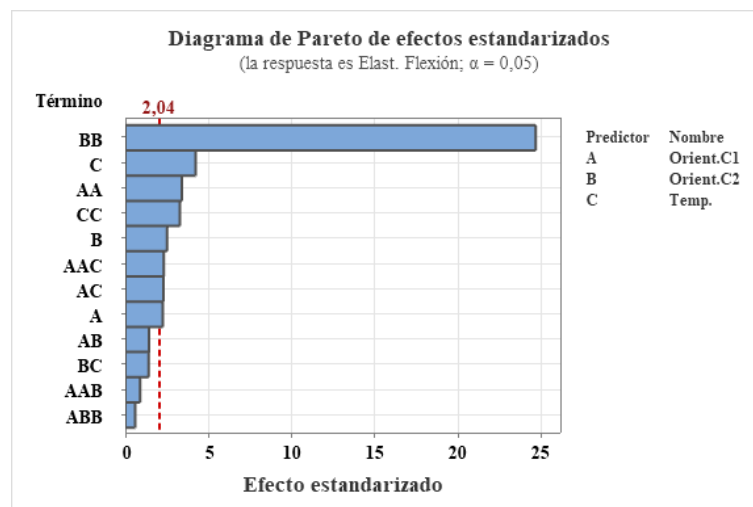


Figura 3.38. Diagrama de Pareto de los efectos para el módulo de elasticidad a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.39, esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

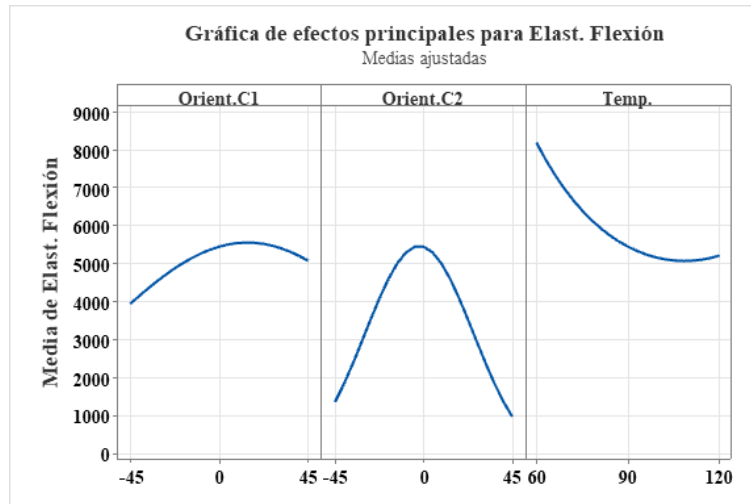


Figura 3.39. Gráfica de efectos principales para el módulo de elasticidad a flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.40 todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

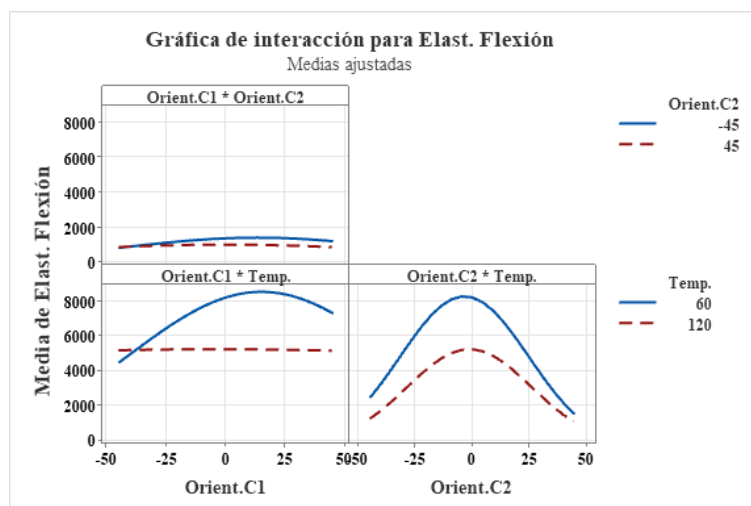


Figura 3.40. Gráfica de interacción para el módulo de elasticidad a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de

variables empujadas, estas se detallan en la Figura 3.41, en esta se describe el comportamiento del módulo de elasticidad a flexión ante la variación de los niveles de los factores.

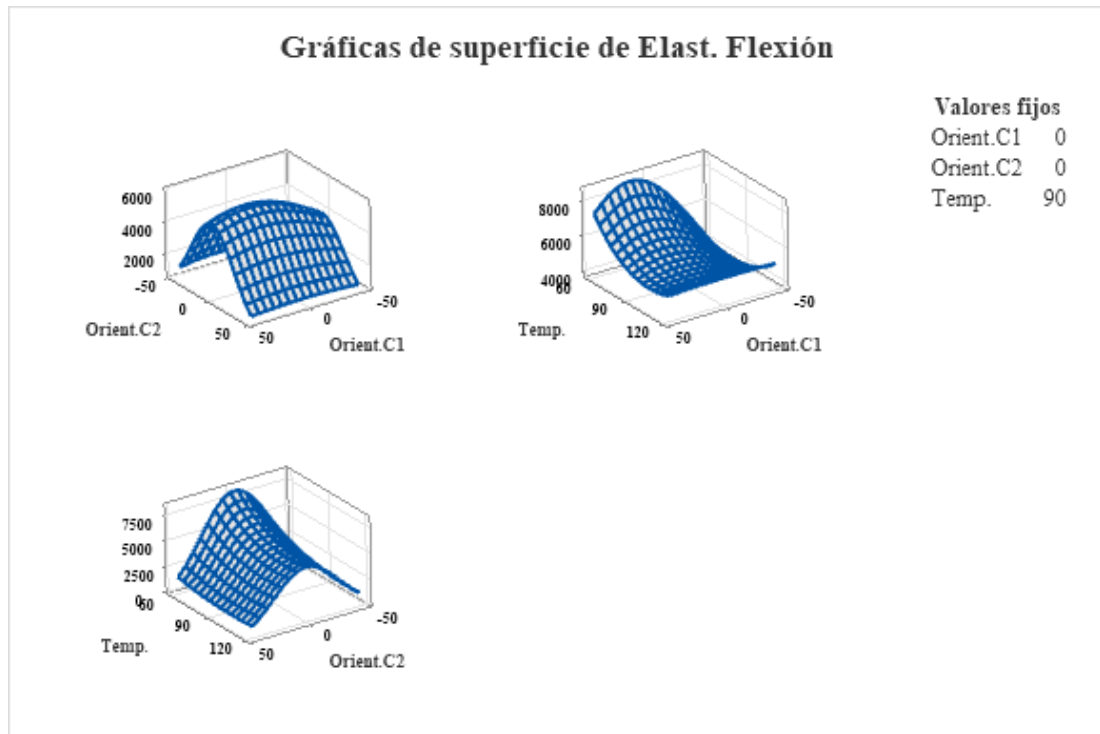


Figura 3.41. Gráfica de superficie del módulo de elasticidad a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.41 se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más altos del módulo de elasticidad a flexión.

3.4.2.3. Optimización individual del esfuerzo a tracción

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos del módulo de elasticidad a flexión, además se tiene claro que el objetivo es maximizar dicha propiedad

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.42 en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

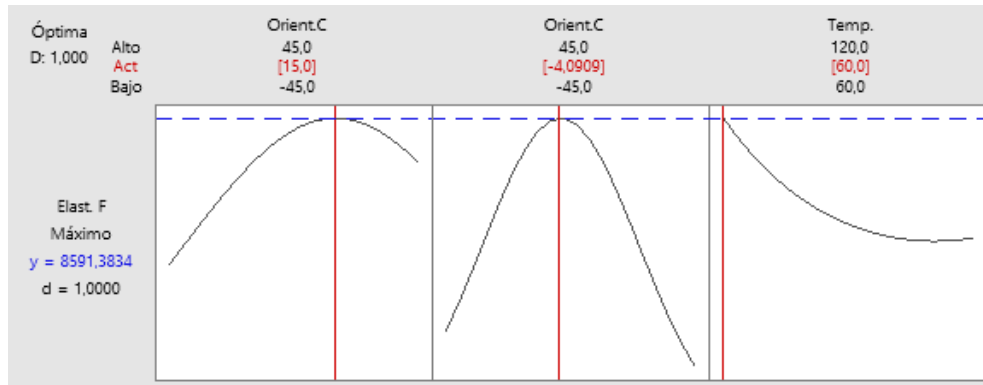


Figura 3.42. Gráfica de optimización para el módulo de elasticidad a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan el módulo de elasticidad a flexión maximizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.60 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 60 Valores predichos para el punto óptimo del módulo de elasticidad a flexión

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	15°	Elasticidad a flexión	8591,38 MPa
Orientación Capa 2	-4,09°		
Temperatura	60 °C		

Fuente: Autor

3.4.3. Análisis de datos de la deflexión

3.4.3.1. Verificación de supuestos

Supuesto de Normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos de la deflexión, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a la transformación con parámetro de transformación de 1,5; se obtiene un valor-p de 0.033, el cual al ser menor que 0,05 se puede entender que los datos no provienen de una distribución normal.

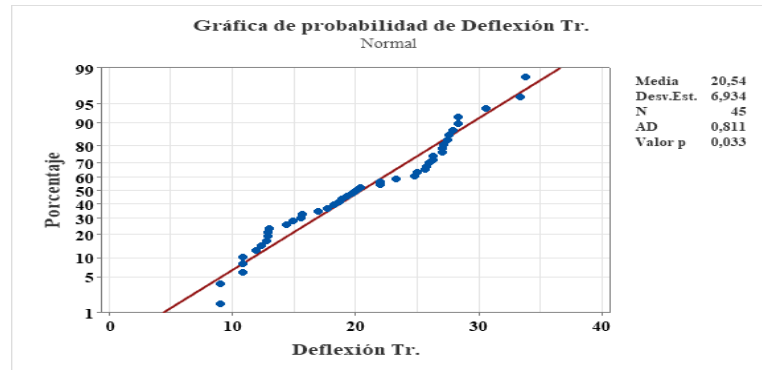


Figura 3.43. Gráfica de probabilidad normal de la deflexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos de la deflexión tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,908, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos.

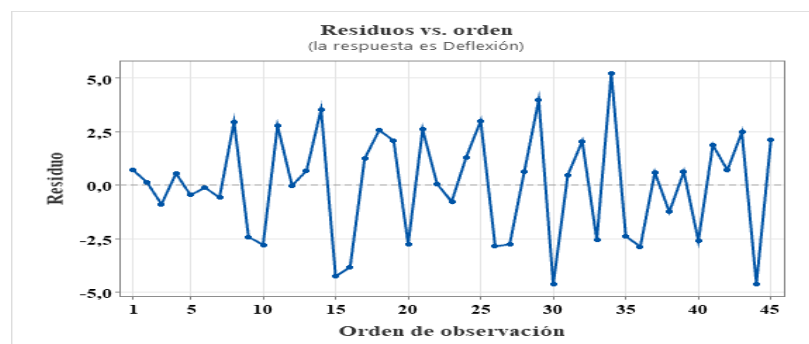


Figura 3.44. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la deflexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.44 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos de la deflexión.

3.4.3.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuestas (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo

Tabla 3. 61 ANOVA para la deflexión.

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	1849,82	154,15	18,56	0,000
Orient.C1	1	36,35	36,35	4,38	0,044
Orient.C2	1	53,48	53,48	6,44	0,016
Temp.	1	16,43	16,43	1,98	0,169
Orient.C1*Orient.C1	1	8,44	8,44	1,02	0,321
Orient.C2*Orient.C2	1	1513,25	1513,25	182,20	0,000
Temp.*Temp.	1	32,01	32,01	3,85	0,058
Orient.C1*Orient.C2	1	22,89	22,89	2,76	0,107
Orient.C1*Temp.	1	59,46	59,46	7,16	0,012
Orient.C2*Temp.	1	1,03	1,03	0,12	0,727
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2	1	3,21	3,21	0,39	0,538
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	0,00	0,00	0,00	0,981
Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	34,14	34,14	4,11	0,051
Error	32	265,77	8,31		
Total	44	2115,59			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos de la densidad de las probetas a flexión tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 87,44% de la variabilidad de la deflexión.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.45 esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación de la deflexión.

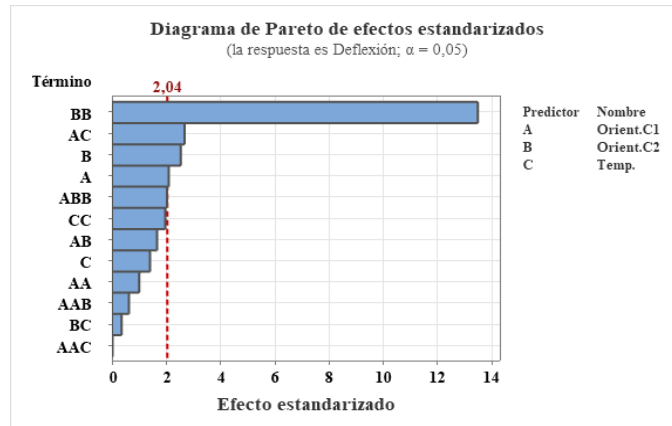


Figura 3.45. Diagrama de Pareto de los efectos para la deflexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.46 esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

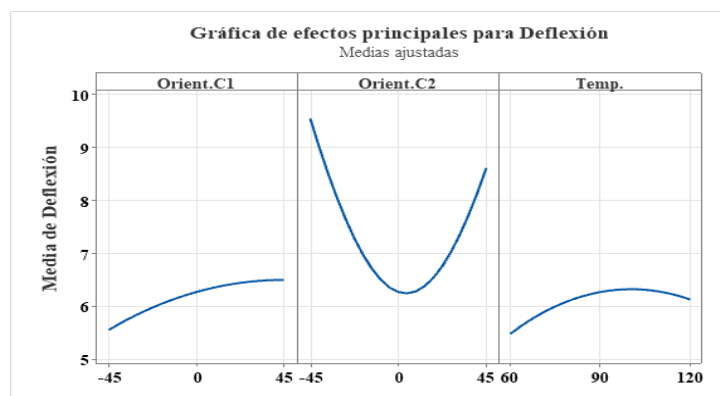


Figura 3.46. Gráfica de efectos principales para la deflexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.47 todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una

marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

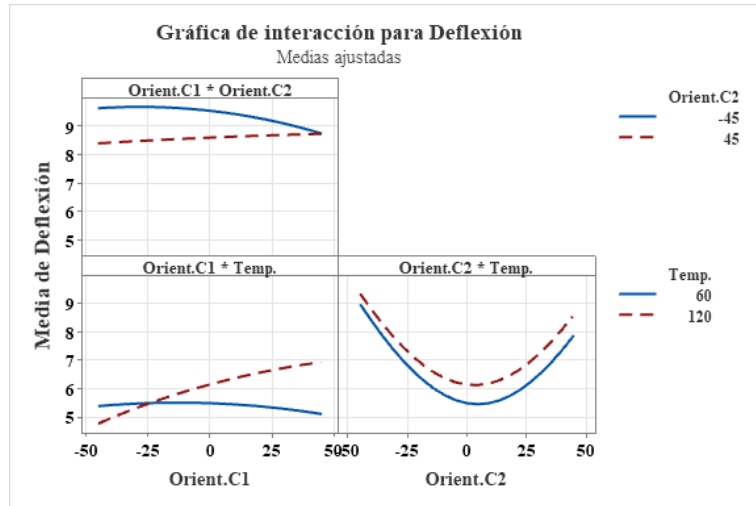


Figura 3.47 Gráfica de interacción para de la deflexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la Figura 3.48 en esta se describe el comportamiento del esfuerzo a flexión ante la variación de los niveles de los factores

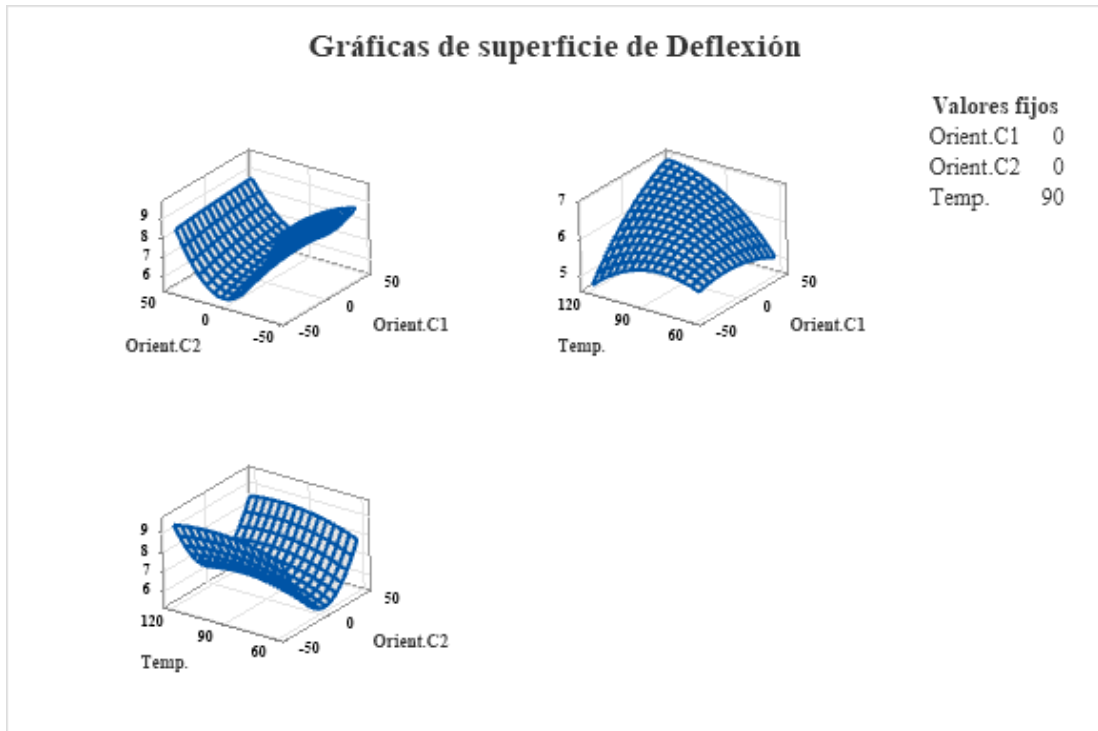


Figura 3.48 Gráfica de superficie de la deflexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.48 se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más bajos de la deflexión.

3.4.3.3. Optimización individual de la deflexión

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos de la deflexión, además se tiene claro que el objetivo es minimizar dicha propiedad.

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.49 en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

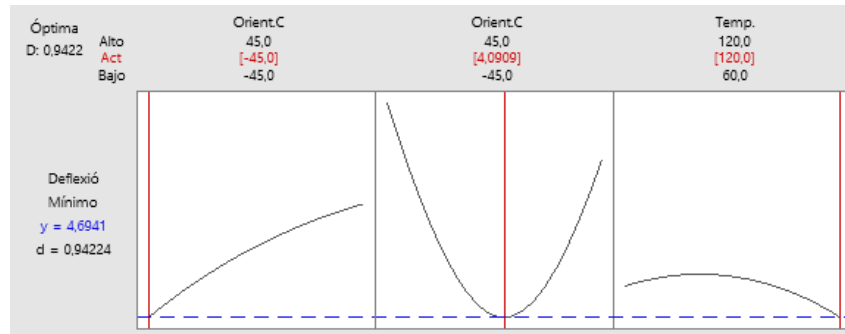


Figura 3.49 Gráfica de optimización para la deflexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan la deflexión minimizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.62 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 62 Valores predichos para el punto óptimo de la deflexión

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	- 45°	Deflexión	4,6941 mm
Orientación Capa 2	4,091°		
Temperatura	120 °C		

Fuente: Autor

3.4.4. Análisis de datos de la densidad de las probetas a flexión.

3.4.4.1. Verificación de supuestos.

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos de la densidad de las probetas a flexión, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a la transformación con parámetro de transformación de -5; se obtiene un valor-p de <0.005, el cual al ser menor que 0,05 se puede entender que los datos no provienen de una distribución normal.

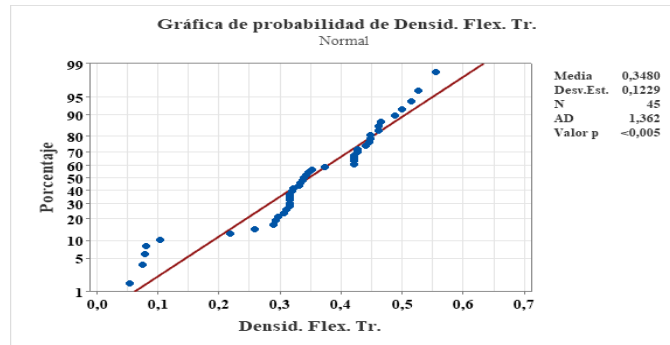


Figura 3.50 Gráfica de probabilidad normal de la densidad de las probetas a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos de la densidad de las probetas a flexión tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,356, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos de la densidad de las probetas a flexión.



Figura 3.51 Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la densidad de las probetas a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.51 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos de la densidad de las probetas a flexión.

3.4.4.2. Aplicación de la metodología de superficies de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3. 63 ANOVA para la densidad a Flexión

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	0,288197	0,024016	5,38	0,000
Orient.C1	1	0,001976	0,001976	0,44	0,510
Orient.C2	1	0,000000	0,000000	0,00	0,993
Temp.	1	0,007017	0,007017	1,57	0,219
Orient.C1*Orient.C1	1	0,004187	0,004187	0,94	0,340
Orient.C2*Orient.C2	1	0,186176	0,186176	41,74	0,000
Temp.*Temp.	1	0,083778	0,083778	18,78	0,000
Orient.C1*Orient.C2	1	0,000906	0,000906	0,20	0,655
Orient.C1*Temp.	1	0,002676	0,002676	0,60	0,444
Orient.C2*Temp.	1	0,010045	0,010045	2,25	0,143
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2	1	0,001636	0,001636	0,37	0,549
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	0,002896	0,002896	0,65	0,426
Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	0,010265	0,010265	2,30	0,139
Error	32	0,142728	0,004460		
Total	44	0,430926			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos de la densidad de las probetas a flexión tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 66,88% de la variabilidad de la densidad de las probetas a flexión.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.52 esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la

variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación de la densidad de las probetas a flexión

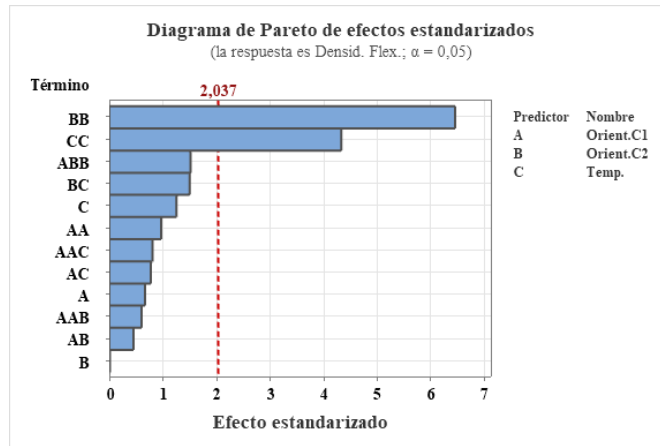


Figura 3.52 Diagrama de Pareto de los efectos para la densidad de las probetas a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.53 esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

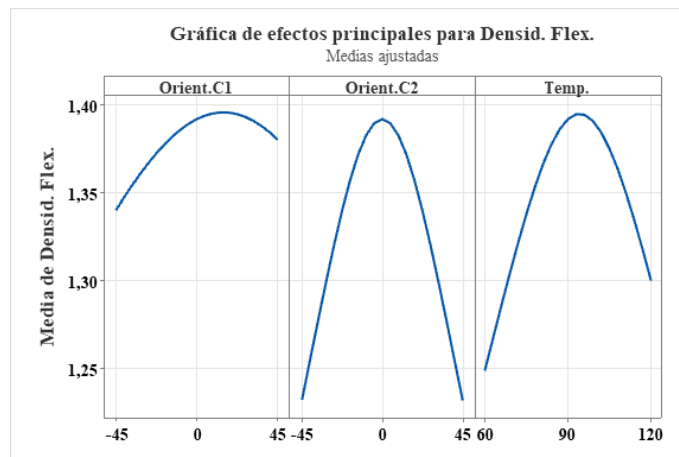


Figura 3.53 Gráfica de efectos principales para la densidad de las probetas a flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.54 todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

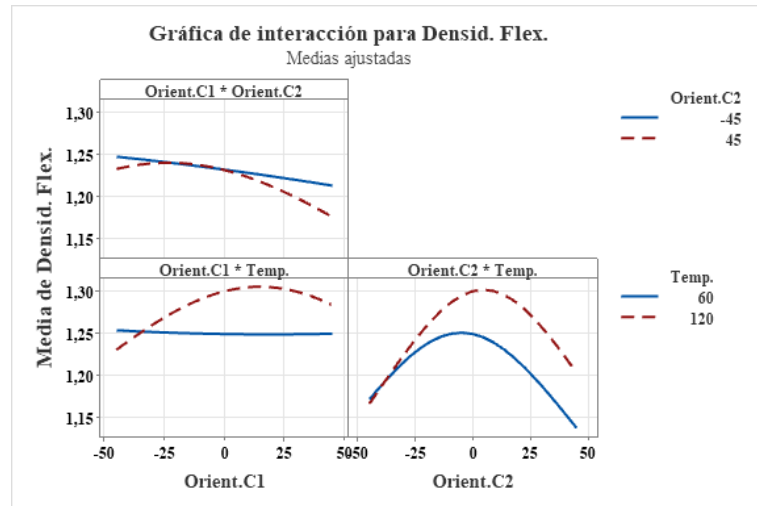


Figura 3.54 Gráfica de interacción para de la densidad de las probetas a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empujadas, estas se detallan en la Figura 3.55 en esta se describe el comportamiento del esfuerzo a flexión ante la variación de los niveles de los factores.

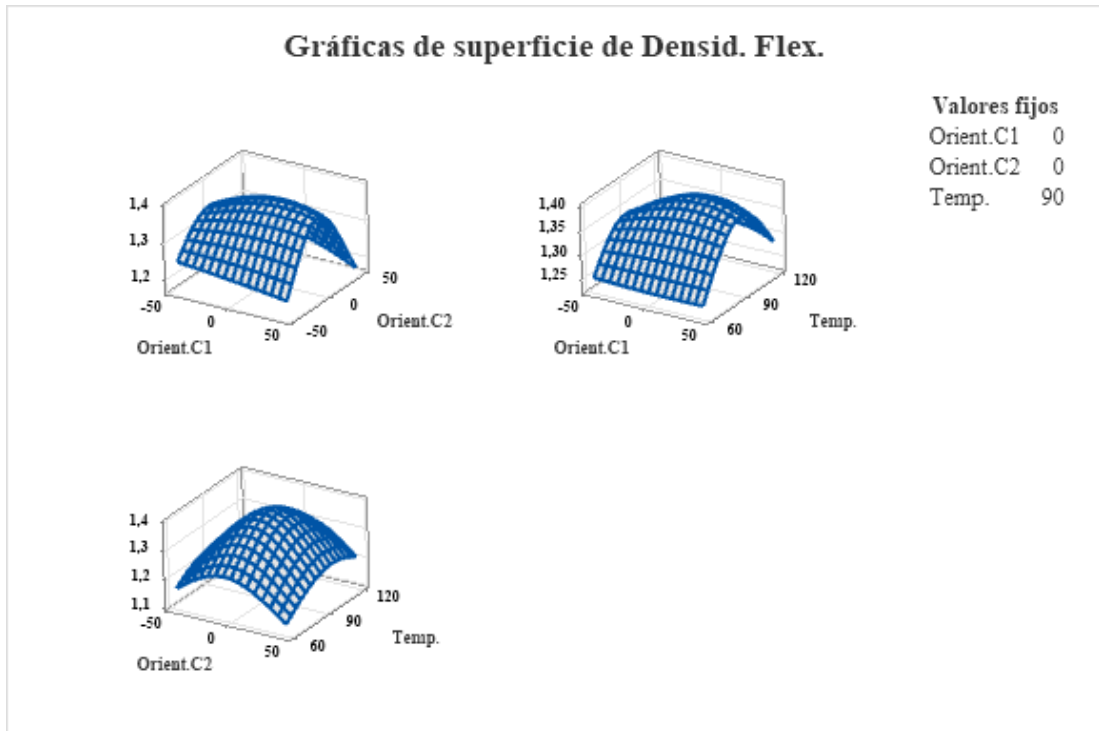


Figura 3.55 Gráfica de interacción para de la densidad de las probetas a flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.55 se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más bajos de la densidad de las probetas a flexión.

3.4.4.3. Optimización individual de la densidad a Flexión.

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos de la densidad de la probeta a flexión, además se tiene claro que el objetivo es minimizar dicha propiedad.

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.56, en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

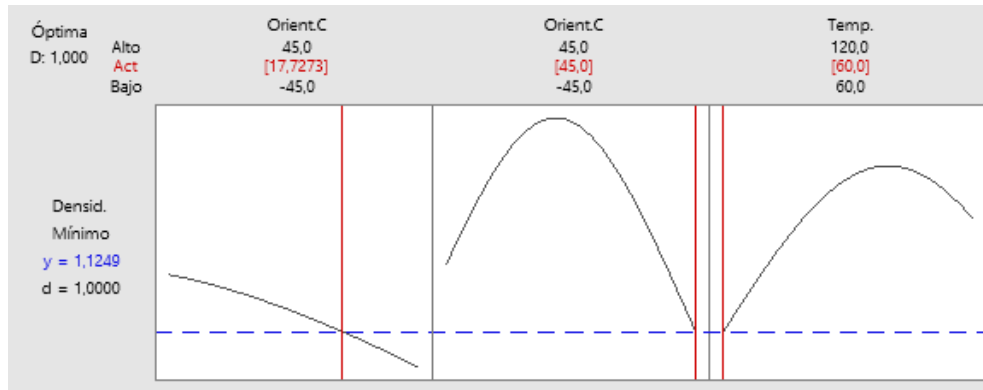


Figura 3.56 Gráfica de optimización para la densidad de las probetas a flexión

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan la densidad de las probetas a flexión minimizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.64 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3. 64 Valores predichos para el punto óptimo de la densidad de las probetas a flexión

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	- 17,73°	Densidad de las probetas a flexión	1,1250 kg/m ³
Orientación Capa 2	45°		
Temperatura	60 °C		

Fuente: Autor

3.5 Análisis de datos a Impacto

3.5.1. Análisis de datos de la energía media de fallo

3.5.1.1. Variación de supuestos

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos de la energía media de fallo, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, se obtiene un valor-p de <0.005, el cual al ser menor que 0,05 se puede entender que los datos no provienen de una distribución normal.

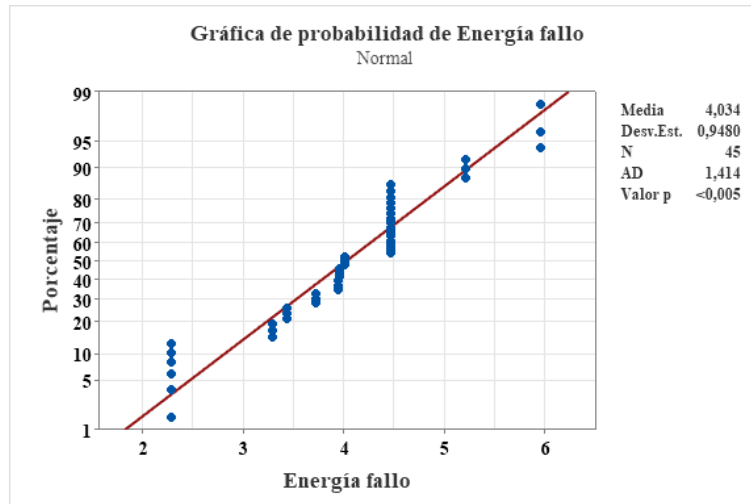


Figura 3.57 Gráfica de probabilidad normal de la energía media de fallo

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos de la energía media de fallo tengan igual varianza, se revisan las graficas de residuos versus orden de corrida, dentro de la que se evidencia la distribución los residuos dentro de una franja horizontal.

Supuesto de independencia de datos.

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos de la energía media de fallo.

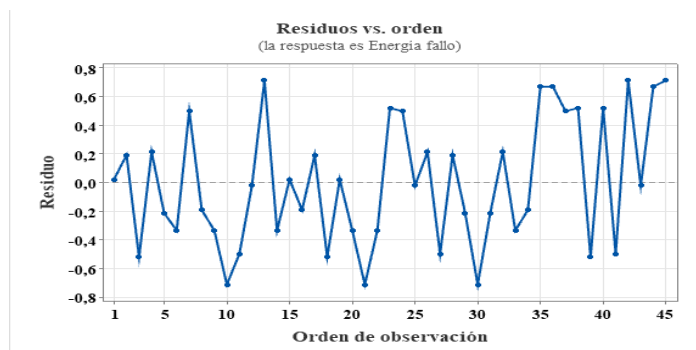


Figura 3.58 Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la energía media de fallo

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.58 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos de la energía media de fallo.

3.5.1.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3. 65 ANOVA para la energía media de fallo

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	9	30,9553	3,43947	14,01	0,000
Orient.C1	1	0,0111	0,01109	0,05	0,833
Orient.C2	1	5,4065	5,40645	22,02	0,000
Temp.	1	0,1010	0,10101	0,41	0,525
Orient.C1*Orient.C1	1	8,3160	8,31600	33,88	0,000
Orient.C2*Orient.C2	1	8,0258	8,02585	32,70	0,000
Temp.*Temp.	1	9,4717	9,47172	38,59	0,000
Orient.C1*Orient.C2	1	0,2059	0,20593	0,84	0,366
Orient.C1*Temp.	1	0,4728	0,47283	1,93	0,174
Orient.C2*Temp.	1	2,3790	2,37897	9,69	0,004
Error	35	8,5916	0,24547		
Falta de ajuste	3	6,5916	2,19721	35,16	0,000
Error puro	32	2,0000	0,06250		
Total	44	39,5469			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos de la energía media de fallo tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 78,27% de la variabilidad de la energía media de fallo.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.59, esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la

variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación de la energía media de fallo.

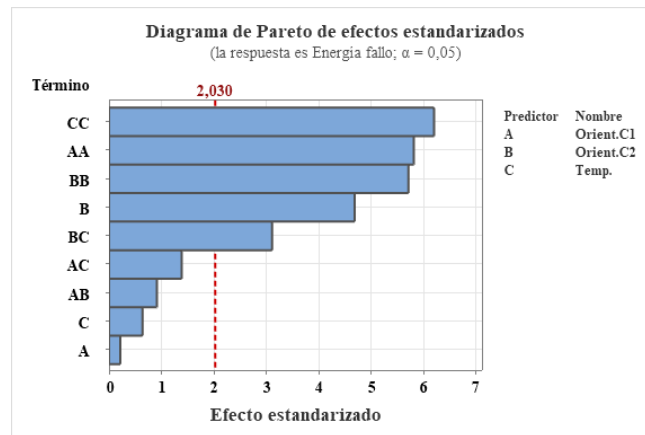


Figura 3.59 Diagrama de Pareto de los efectos para la energía media de fallo

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.60 esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

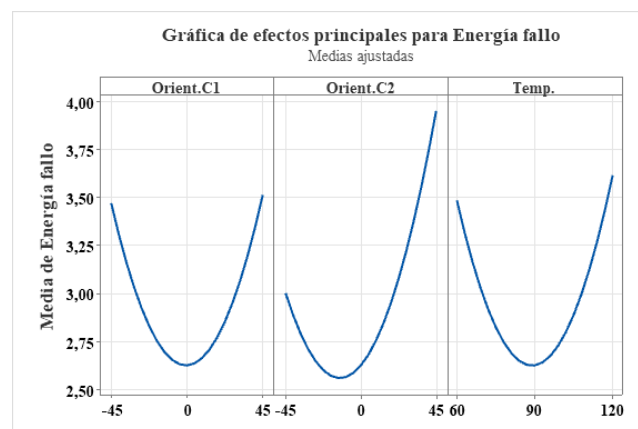


Figura 3.60 Gráfica de efectos principales para la energía media de fallo

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.61 todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

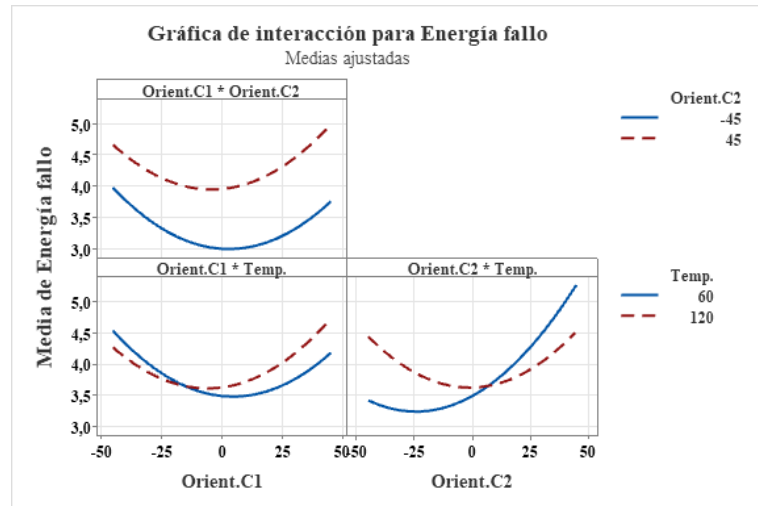


Figura 3.61 Gráfica de interacción para de la energía media de fallo

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la Figura 3.62 en esta se describe el comportamiento de la energía media de fallo ante la variación de los niveles de los factores.

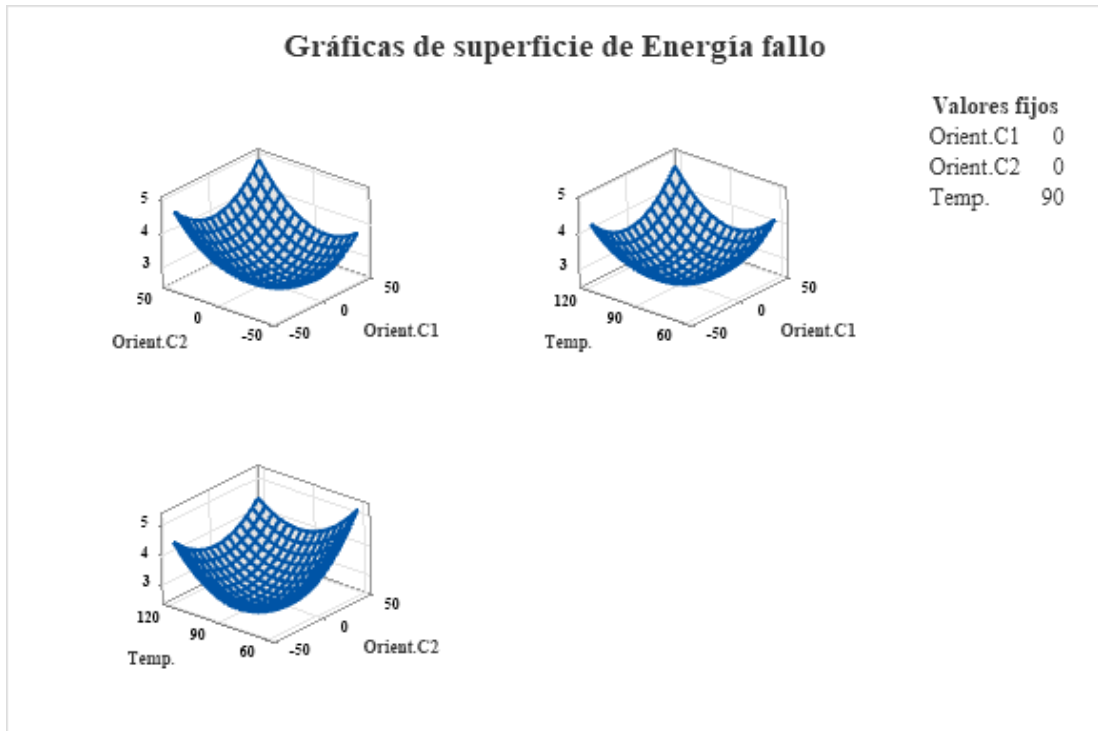


Figura 3.62 Gráfica de superficie de la energía media de fallo.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.62 se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más bajos de la energía media de fallo.

3.5.1.3. Optimización individual de la energía media de fallo

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos de la energía media de fallo, además se tiene claro que el objetivo es minimizar dicha propiedad.

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.62 en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

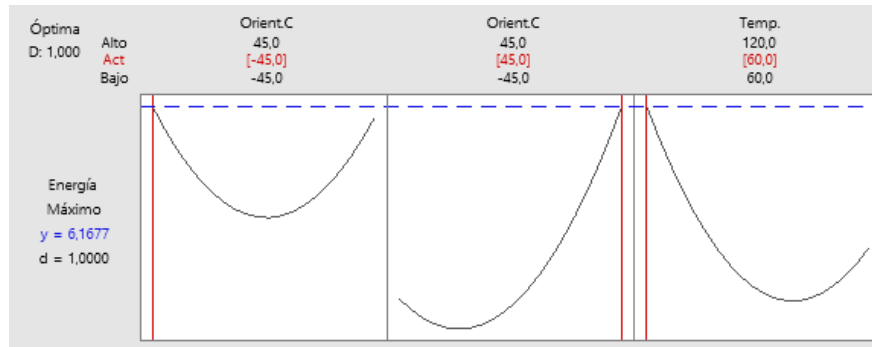


Figura 3.63 Gráfica de optimización para la energía media de fallo

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan la energía media de fallo minimizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.66 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3.66 Valores predichos para el punto óptimo de la energía media de fallo

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	- 45°	Energía media de fallo	6,168 J
Orientación Capa 2	45°		
Temperatura	60 °C		

Fuente: Autor

3.5.2 Análisis de datos de la densidad de probetas a Impacto.

3.5.2.1. Verificación de supuestos.

Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos de la densidad de las probetas a impacto, al aplicar la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Con la aplicación de la prueba de Anderson-Darling, posterior a la discriminación de un valor atípico y a la transformación con parámetro de transformación de 5; se obtiene un valor-p de 0.020, el cual al ser menor que 0,05 se puede entender que los datos no provienen de una distribución normal.

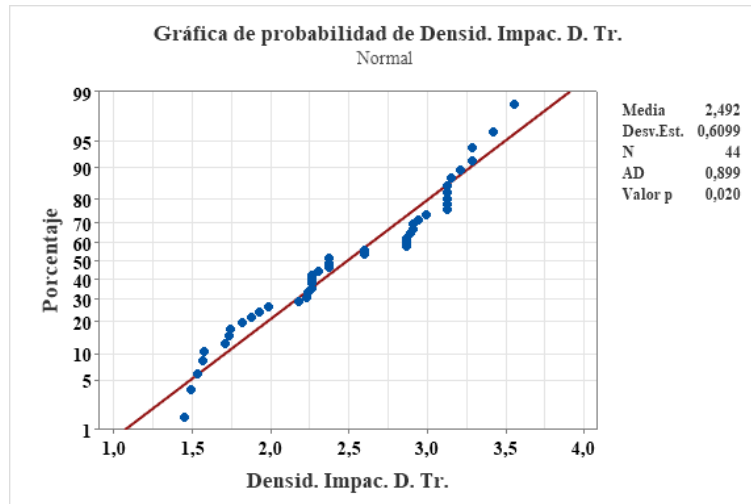


Figura 3.64 Gráfica de probabilidad normal de la densidad a impacto

Fuente: Minitab® Statistical Software

Supuesto de igualdad de varianza

Para verificar que los tratamientos de los datos de la densidad de las probetas a impacto tengan igual varianza, se aplica la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Se aplica la prueba antes mencionada, dentro de la que se obtiene un valor-p igual a 0,417, el cual al ser mayor que 0,05, se puede verificar que los tratamientos tienen igual varianza.

Supuesto de independencia de datos

La verificación del supuesto en los datos se proyecta a la verificación en los residuos de los mismos, por lo que la manera más práctica de corroborar independencia en los datos es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos de la densidad de las probetas a Impacto.

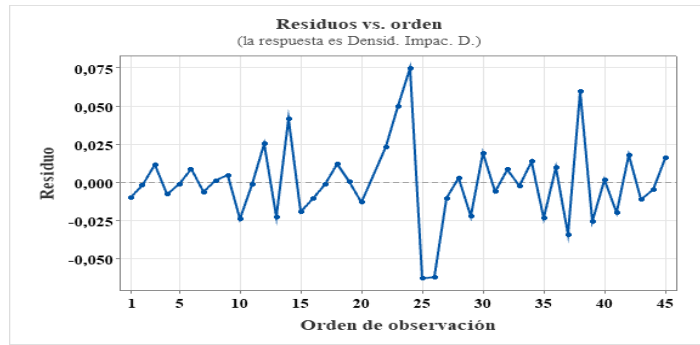


Figura 3.65 Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la densidad a impacto

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.65 se evidencia que no existe ninguna tendencia o patrón determinado, por lo que se asevera que existe independencia en los residuos de los datos de la densidad de las probetas a impacto.

3.5.2.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de tercer orden. En la Tabla 2.3 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3.67 ANOVA para la densidad a impacto

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	12	0,126942	0,010579	11,20	0,000
Orient.C1	1	0,000308	0,000308	0,33	0,572
Orient.C2	1	0,032912	0,032912	34,85	0,000
Temp.	1	0,010966	0,010966	11,61	0,002
Orient.C1*Orient.C1	1	0,003420	0,003420	3,62	0,066
Orient.C2*Orient.C2	1	0,011308	0,011308	11,97	0,002
Temp.*Temp.	1	0,008816	0,008816	9,33	0,005
Orient.C1*Orient.C2	1	0,003314	0,003314	3,51	0,071
Orient.C1*Temp.	1	0,006750	0,006750	7,15	0,012
Orient.C2*Temp.	1	0,000031	0,000031	0,03	0,857
Orient.C1*Orient.C1*Orient.C2	1	0,030222	0,030222	32,00	0,000
Orient.C1*Orient.C1*Temp.	1	0,003637	0,003637	3,85	0,059
Orient.C1*Orient.C2*Orient.C2	1	0,004777	0,004777	5,06	0,032
Error	31	0,029278	0,000944		
Total	43	0,156220			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos de la densidad de las probetas a impacto tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos. También se estima que el modelo empleado explica el 81,26% de la variabilidad de la densidad de las probetas a impacto.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.66 esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación de la densidad de las probetas a impacto.

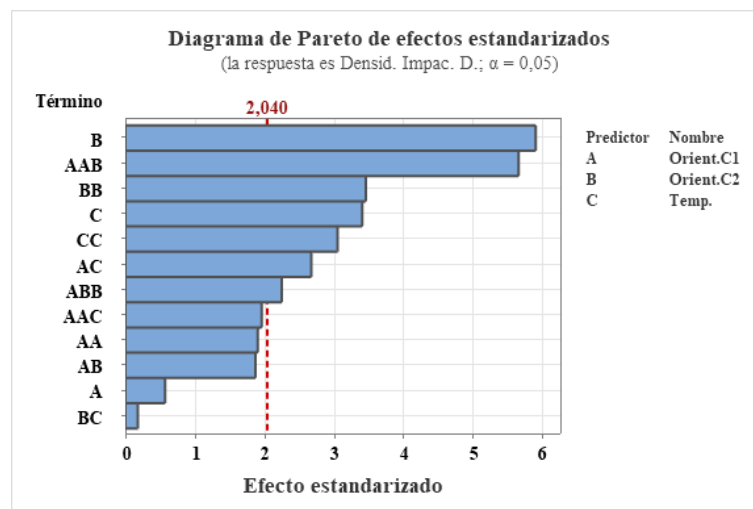


Figura 3.66 Diagrama de Pareto de los efectos para la densidad a impacto

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.67 esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales

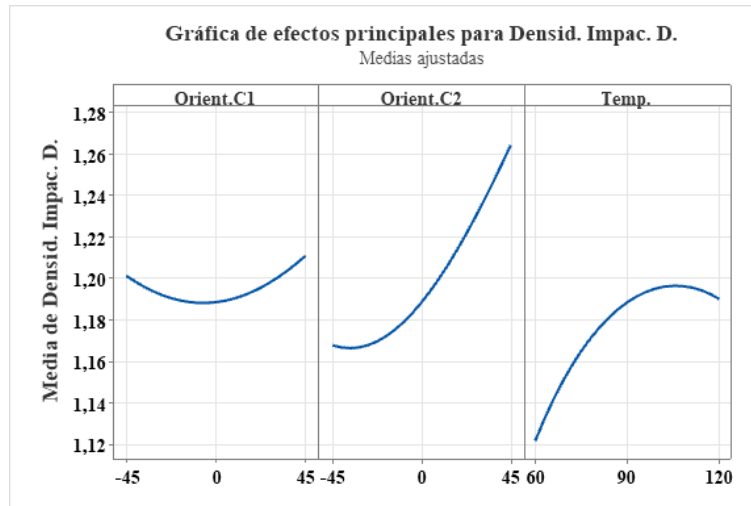


Figura 3.67 Gráfica de efectos principales para la densidad a impacto

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.68 todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 1 y la Orientación de la Capa 2 es estadísticamente significativa.

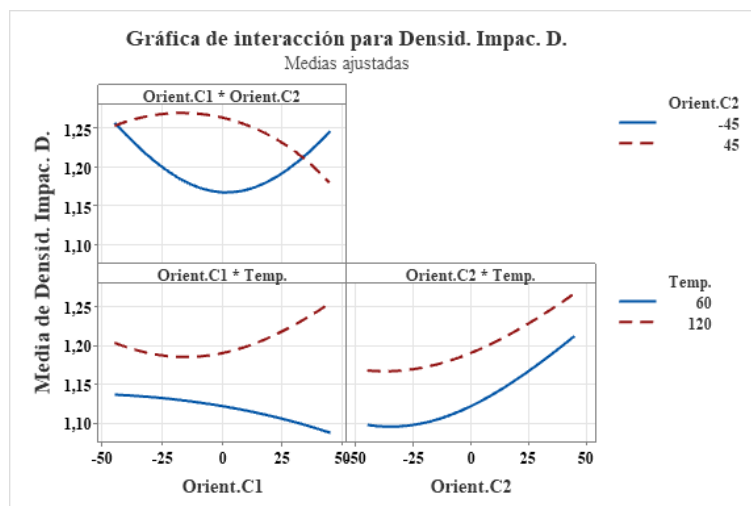


Figura 3.68 Gráfica de interacción para de la densidad a impacto

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen la gráfica de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la Figura 3.69 en esta se describe el comportamiento de la densidad de las probetas a impacto ante la variación de los niveles de los factores.

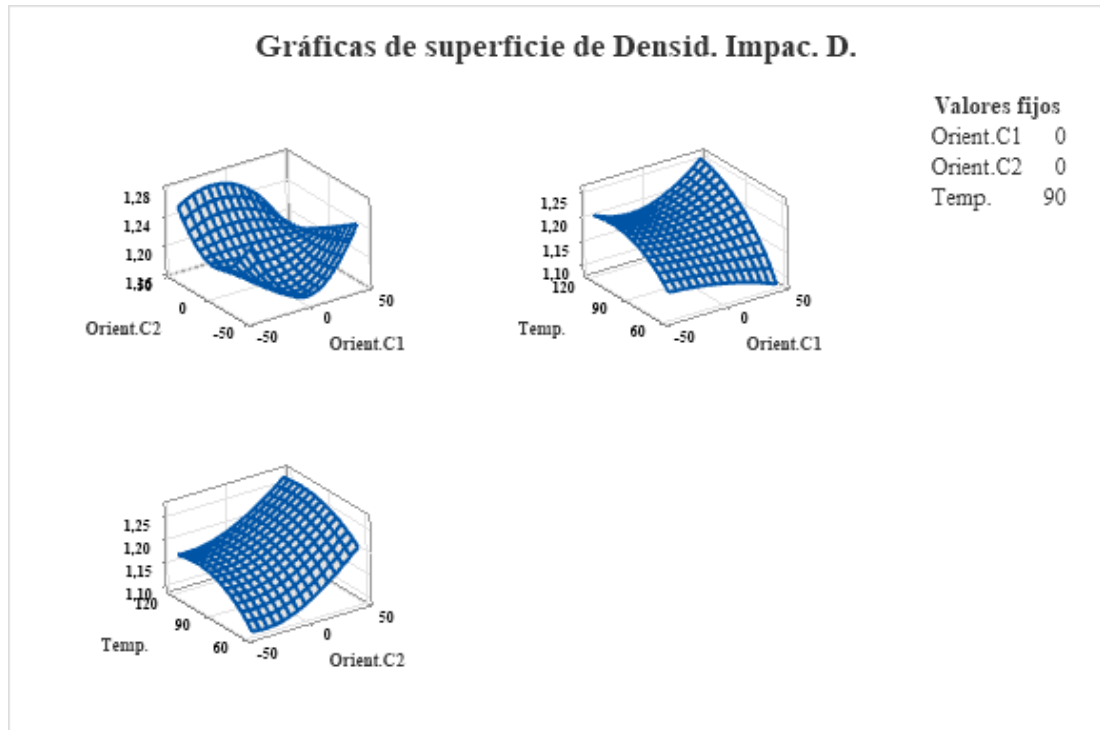


Figura 3.69 Gráfica de superficie de la densidad de las probetas a impacto.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Figura 3.69 se tiene una aproximación visual a los niveles que consiguen obtener valores más bajos de la densidad de las probetas a impacto.

3.5.2.3. Optimización individual de la densidad a impacto

El método empleado para estimar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se detallan parámetros de acuerdo a los datos medidos de la densidad de la probeta a impacto, además se tiene claro que el objetivo es minimizar dicha propiedad.

Los parámetros considerados se detallan en la Figura 3.70 en la que también se especifica el punto óptimo para los tres factores analizados: Orientación de la Capa 1, Orientación de la Capa 2 y Temperatura.

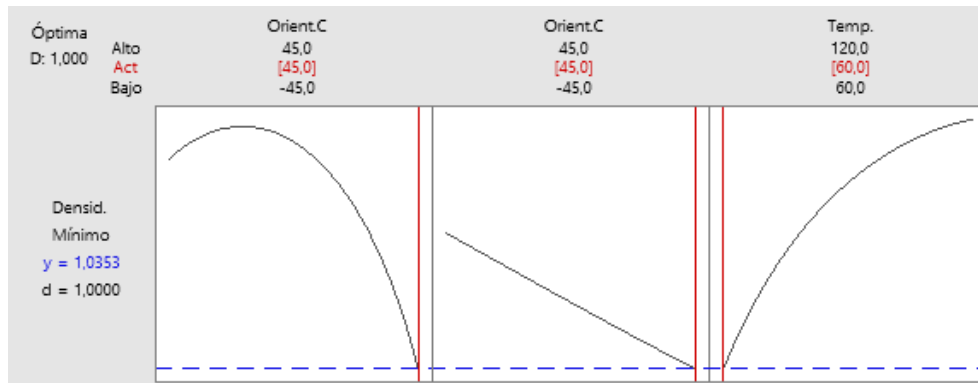


Figura 3.70 Gráfica de optimización para la densidad a impacto

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan la densidad de las probetas a flexión minimizando el valor del mismo, se detallan en la Tabla 3.68 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo empleado.

Tabla 3.68 Valores predichos para el punto óptimo de la densidad de las probetas a impacto

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	45°	Densidad de las probetas a impacto	1,0353 kg/m ³
Orientación Capa 2	45°		
Temperatura	60 °C		

Fuente: Autor

3.6. Optimización Global

Para abarcar el valor de las deseabilidades individuales, estimadas en base a los valores predichos se emplea un único valor analizable objetivamente.

Los niveles de cada factor que optimizan el factor de laminación de entrada minimizando el valor de la misma, se detallan en la Tabla 3.69 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3.69 Valores predichos para el punto óptimo global

Factores		Respuesta	
Orientación Capa 1	45°	Densid. Impac.	1,046
Orientación Capa 2	35°	Energía fallo	5,506
		Densid. Flex.	1,144
Temperatura	60 °C	Deflexión	6,579
		Elast. Flexión	2443
		Esf. Flexión	49,79
		Densid. Trac.	1,2461
		Elongación	1,806
		Elast. Tracc. D.	11122
		Esf. Tracción	273,4

Fuente: Autor

3.6.1 Análisis de la deseabilidad global

3.6.1.1. Verificación de supuestos

Al igual que en el análisis de las propiedades revisadas en apartados anteriores, se emplea la metodología de superficie de respuesta, la cual basa su cálculo en emplear el análisis de la varianza, por lo que es preciso que los datos cumplan con los supuestos paramétricos requeridos para la certeza de los resultados. Esos supuestos son: normalidad en los datos, igualdad de varianza en los tratamientos e independencia de datos.

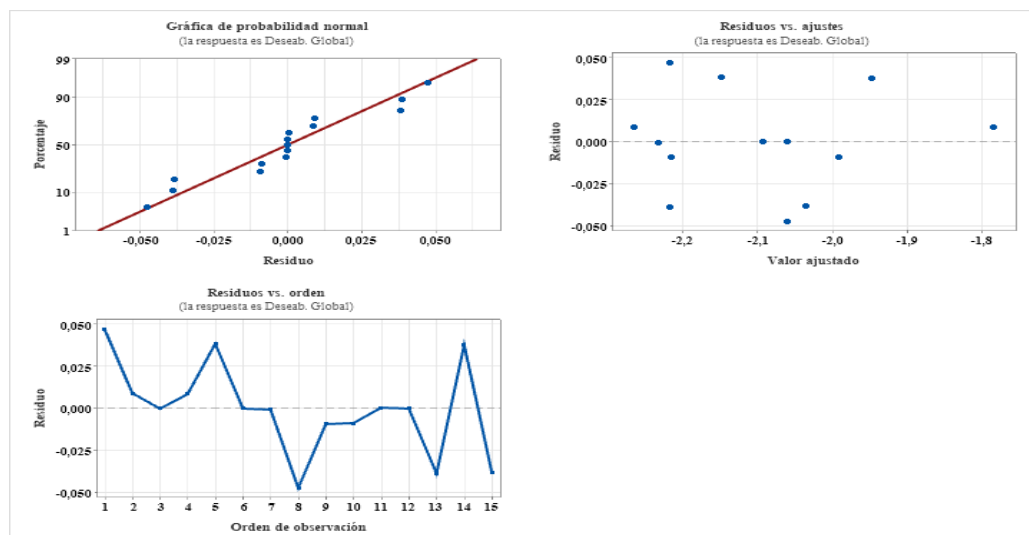


Figura 3.71 Gráfica de supuestos para la deseabilidad global

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para verificar el supuesto de normalidad de los datos de la deseabilidad global, se revisa la gráfica de probabilidad normal, dentro de la que se disponen los residuos; en

esta gráfica se evidencia una aproximación de los puntos de los residuos a la línea de normalidad, por lo que se entiende que los datos cumplen con los supuestos.

Asimismo, se revisa el supuesto de igualdad de varianza en la gráfica de residuos respecto a los valores de deseabilidad ajustados, por lo que, de acuerdo a lo mostrado, al estar los residuos dispuestos en una franja horizontal alrededor del cero, se cumple con el supuesto.

Finalmente se revisa la gráfica de los residuos versus el orden de observación, dentro del que, al no tener un patrón marcado, se entiende que se cumple el supuesto de independencia de los datos.

3.6.1.2. Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MSR)

Con la verificación de los supuestos, se puede efectuar el análisis de la varianza, en este caso se aplica un modelo que involucran términos cuadráticos y con interacciones de segundo orden. En la Tabla 3.70 se describen los términos empleados en el modelo con sus respectivas significancias, asimismo se tiene la significancia del modelo.

Tabla 3.70 ANOVA para la deseabilidad global

Fuente	GL	Suma Cuadr.	Cuadr. Medio	Valor F	Valor p
Modelo	9	0,231530	0,025726	12,09	0,007
Lineal	3	0,050467	0,016822	7,90	0,024
Orient. C1	1	0,006852	0,006852	3,22	0,133
Orient. C2	1	0,000163	0,000163	0,08	0,793
Temp.	1	0,043452	0,043452	20,41	0,006
Cuadrado	3	0,166358	0,055453	26,05	0,002
Orient. C1*Orient. C1	1	0,003366	0,003366	1,58	0,264
Orient. C2*Orient. C2	1	0,120365	0,120365	56,55	0,001
Temp.*Temp.	1	0,030693	0,030693	14,42	0,013
Interacción de 2 factores	3	0,014704	0,004901	2,30	0,194
Orient. C1*Orient. C2	1	0,003408	0,003408	1,60	0,261
Orient. C1*Temp.	1	0,010718	0,010718	5,04	0,075
Orient. C2*Temp.	1	0,000578	0,000578	0,27	0,624
Error	5	0,010643	0,002129		
Falta de ajuste	3	0,010643	0,003548	*	*
Error puro	2	0,000000	0,000000		
Total	14	0,242173			

Fuente: Autor

Del análisis de la varianza se puede enfatizar que al menos dos tratamientos de la deseabilidad global tienen medias globales diferentes, que la significancia calculada es de 0,007, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05, esta diferencia permite que existan mejores casos; esta aseveración conlleva a la existencia de un caso óptimo. También se estima que el modelo empleado explica el 95,61% de la variabilidad de la deseabilidad global.

Tras la revisión general del análisis de la varianza, se dirige el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la Figura 3.72 esto permite entender de manera más visual la contribución de los distintos términos del modelo a la variabilidad total de los datos, sabiendo así los términos que más contribuyen a la variación de la deseabilidad global.

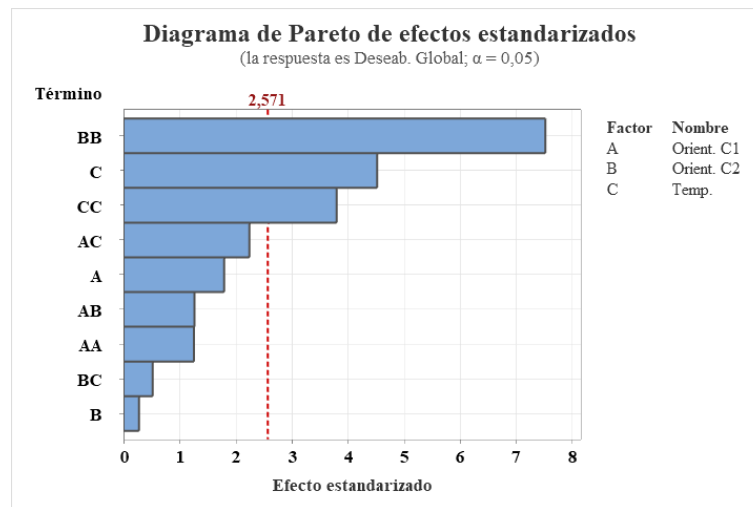


Figura 3.72 Diagrama de Pareto de los efectos para la deseabilidad global

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el modelo y de qué manera estos afectan a la propiedad analizada, se especifica la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.73, esta señalan los efectos producidos por la Orientación de la Capa 1, la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura, gráficamente estos efectos se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor. En este caso la Orientación de la Capa 2 es el más significativo de los tres factores principales.

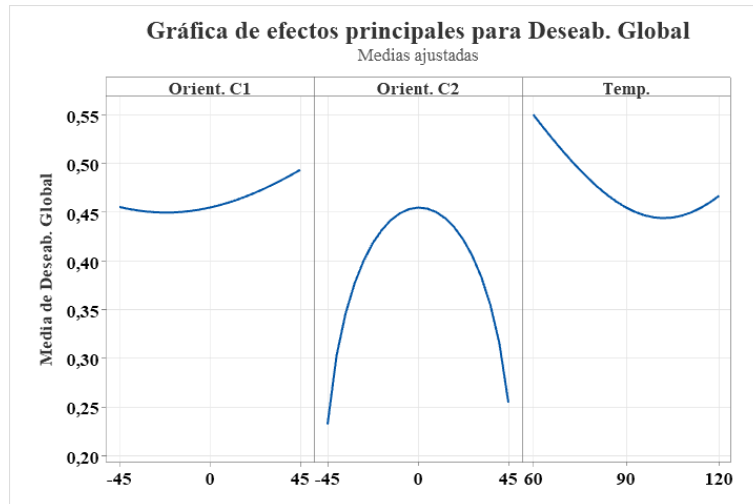


Figura 3.73 Gráfica de efectos principales para la deseabilidad global

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la Figura 3.74 todas las interacciones de segundo orden; sin embargo, de manera gráfica se entiende que una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea, dentro de cada par de factores, indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la interacción entre la Orientación de la Capa 2 y la Temperatura es estadísticamente significativa.

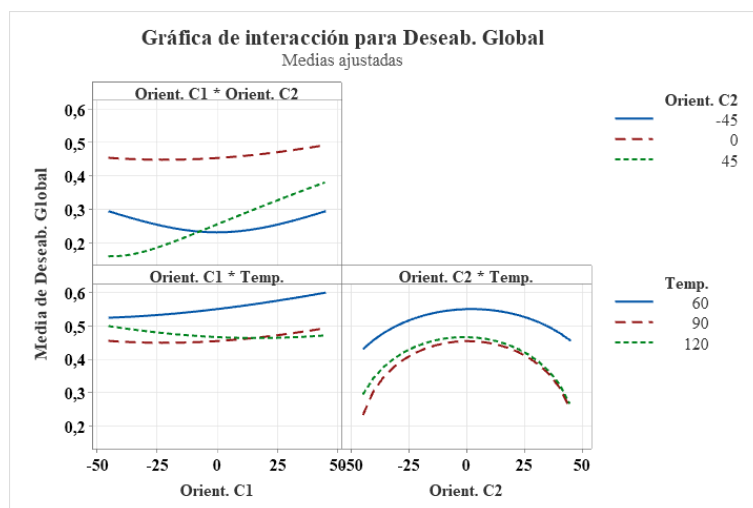


Figura 3.74 Gráfica de interacción para de la deseabilidad global

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo al modelo empleado en análisis de la varianza, se obtienen las gráficas de superficie de respuesta, la misma que de manera explicativa se explica en cada par de variables empeladas, estas se detallan en la Figura 3.75, en esta se describe el comportamiento de la densidad de las probetas a impacto ante la variación de los niveles de los factores.

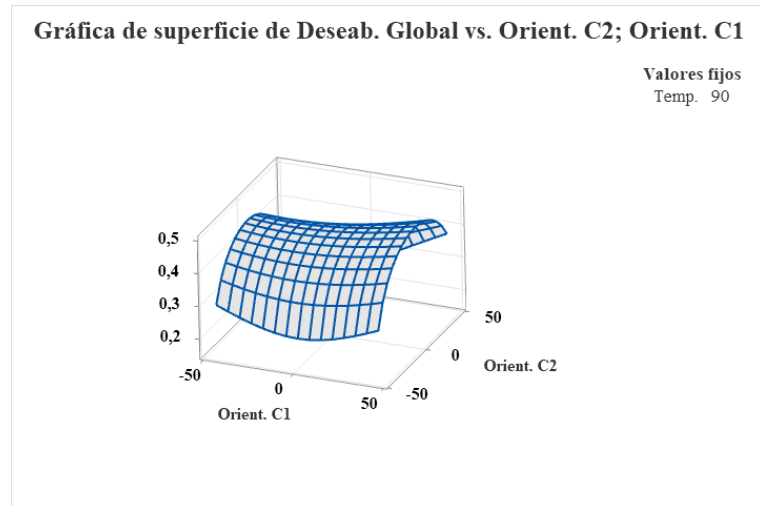


Figura 3.75 Gráfica de superficie de la deseabilidad global (Orient. 1 y Orient. 2)

Fuente: Minitab® Statistical Software

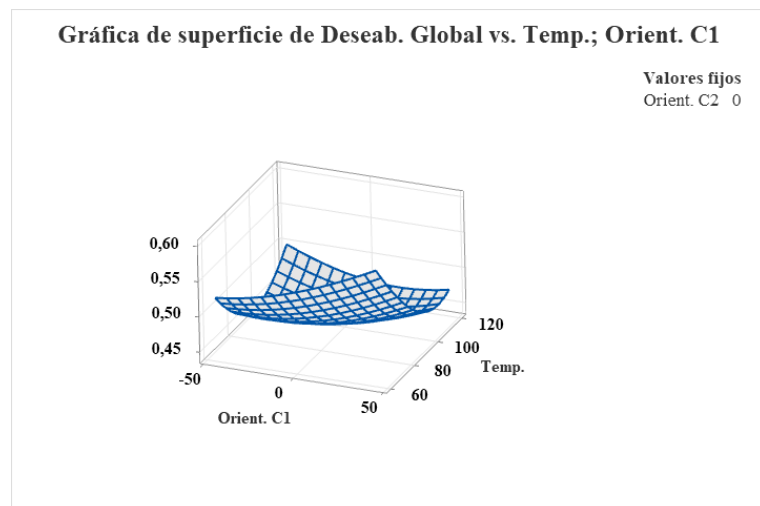


Figura 3.76 Gráfica de superficie de la deseabilidad global (Orient. 1 y Temp.)

Fuente: Minitab® Statistical Software

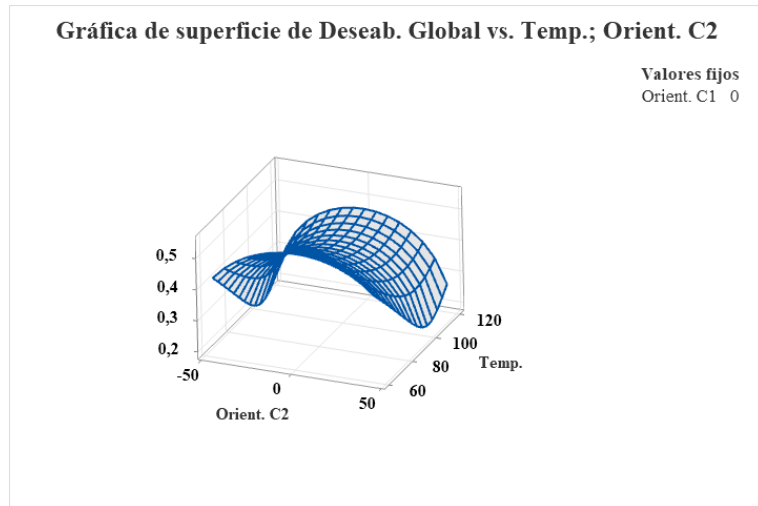


Figura 3.77 Gráfica de superficie de la deseabilidad global (Orient. 2 y Temp)

Fuente: Minitab® Statistical Software

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se utilizó la metodología de superficies de respuestas de Box-Benhken obteniendo los resultados de propiedades mecánicas del material híbrido.
 - El esfuerzo de tracción tiene un mejor desempeño con la orientación1 a 45°, la orientación2 a 45°, una temperatura de curado a 86,67°C con una respuesta predicha de 283, 62 MPa.
 - El módulo de elasticidad a tracción tiene un mejor desempeño con la orientación1 45°, la orientación2 45°, una temperatura de curado 60°C con una respuesta predicha de 11668 MPa.
 - El porcentaje de elongación a tracción tiene un mejor desempeño con la orientación1 45°, orientación2 45°, temperatura de curado 120°C con una respuesta predicha de 0.5553 %.
 - La densidad calculada de las probetas a tracción tiene un mejor desempeño con la orientación1 -45°, orientación2 45°, temperatura de curado con una respuesta predicha de 1,126 kg/m³.
 - El esfuerzo a flexión tiene un mejor desempeño con la orientación1 1.364°, orientación2 -6.974°, temperatura de curado 60°C con una respuesta predicha de 93.69 MPa.
 - El módulo de elasticidad a flexión tiene un mejor desempeño con la orientación1 15°, orientación2 -4,09°, temperatura de curado a 60°C con un valor predicho 8591.38 MPa.
 - La deflexión tiene un mejor desempeño con la orientación1 -45°, orientación2 4.09°, temperatura de curado 120°C con un valor predicho de 4.694mm.
 - La densidad calculada de las probetas a flexión tiene un mejor desempeño con la orientación1 -17.73° orientación2 45°, temperatura de curado 60°C con un valor predicho de 1,125 kg/m³.
 - La energía media de fallo tiene un mejor desempeño con la orientación1 45°, orientación2 -45°, temperatura de curado 60°C con un valor predicho de 6,168 J.

- La densidad calculada en las probetas a Impacto tiene un mejor desempeño con la orientación1 45°, orientación2 45°, temperatura de curado 60°C con un valor predicho de 1,0353 kg/m³.
- Se optimizó el material híbrido de fibra de chambira más carbono el mismo que nos indica que es óptimo si tiene una orientación1 45°, orientación2 35°, temperatura de curado 60°C, presentando una deseabilidad global del 95,61% de la variabilidad de las propiedades, obteniendo como resultado del análisis: esfuerzo de tracción 273 [MPa], módulo de elasticidad a tracción 11122 [MPa], porcentaje de elongación 1,806%, densidad calculada de probetas a tracción 1,5461 kg/m³, esfuerzo a flexión 49,79 MPa, módulo de elasticidad a flexión 2443 MPa, flecha a deflexión 6,579 mm, densidad calculada de probetas a flexión 1,114 kg/m³, energía media de fallo 5,506 J, densidad calculada de probetas a impacto 1,046 kg/m³.
- Se determinó que los parámetros para fabricar el nuevo material híbrido son su orientación, temperatura además el cálculo de la densidad de la fibra de chambira el cual es de suma importancia además el peso de cada una de las fibras para determinar la cantidad de resina a utilizar para la elaboración de probetas.
- Se reconoció las normas de Tracción (ASTM D3039), Flexión (ASTM D7264) e Impacto (ASTM D5628) y su incidencia para la elaboración de cada una de las probetas con sus respectivas medidas tanto a tracción es (25mm x 250mm), flexión es (13mm x 160mm) e impacto (58mm x 58mm) respectivamente.

4.2 Recomendaciones

- Se debe realizar una excelente distribución en un plano tanto de las probetas de tracción, flexión e impacto teniendo en cuenta sus medidas su orientación al momento de realizarlo para que en el momento de plasmar dicho plano se evite desperdicios de fibras naturales como sintéticas.

- Después de obtener las planchas de cada caso a estudiar se debe realizar un curado a temperaturas establecidas las mismas que es de 2 horas por tal razón no se debe sobrepasar de este tiempo para evitar quemaduras de planchas.
- Utilizar equipos de protección personal como guantes, mascarilla ya que al momento de aplicar la resinas a las fibras emana un olor de toxicidad.
- El tiempo de curado de la resina más la fibra de chambira + la fibra de carbono es de 24 horas así obteniendo una mejor adherencia entre dichos materiales.
- Se debe tener una zona limpia de impurezas ya que es ahí donde se aplica la resina más las fibras mencionadas por tal motivo se debe limpiar con espátula, tñer y aplicar cera desmoldante para poder despegar el material de la mesa de trabajo.
- Se debe diseñar una codificación adecuada para evitar confusiones de probetas ya que el diseño tiene 3 réplicas para cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. Cunalata, «análisis estadístico con metodología de superficies de respuesta para la optimización de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epóxica, reforzada con fibra de vidrio y abacá,» Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2020.
- [2] P. Mazon, «Caracterización mecánica del material híbrido de matriz epóxica reforzada con fibra de vidrio y tejido de fibras naturales de caña guadua y algodón para la determinación de propiedades mecánicas en aplicaciones industriales,» Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2018.
- [3] 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,» Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2019.
- [4] M. Anderson y P. Whitcomb, «Mixture DOE uncovers formulations quicker,» *Rubber & Plastics News*, pp. 16-17, 2002.
- [5] F. Romli, A. Nizam, A. Shakrine y D. Laila , «Factorial Study on the Tensile Strength of a Coir Fiber-Reinforced Epoxy Composite,» *AASRI Procedia*, vol. 3, pp. 242-247, 2012.
- [6] D. Torres , «Optimización (Doe-Mezclas) del material híbrido con refuerzos de fibra de abacá, fibra de cabuya y fibra de vidrio de matriz de resina epóxica y su incidencia sobre las propiedades mecánicas a flexión, tracción e impacto,» Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2020.
- [7] F. Ayala y F. Yáñez, «Caracterización mecánica del composite uv fotocurable resina astrocaryum chambira ecuatoriana,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador, 2020.

- [8] A. Hadi , M. Saputan y K. Zaman , «Optimization of the Mechanical Properties of Abaca Fibre-Reinforced High Impact Polystyrene (HIPS) Composites Using Box-Behnken Design of Experiments,» 2011.
- [9] J. Smith y W. Hashemi, «Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales,» 2014.
- [10] G. KICKELBICK, «Hybrid Materials: Synthesis, Characterization, and Applications,» 2007.
- [11] P. Calvert, «Polymers for new materials,» *Polymer*, pp. 4484-4488, 1994.
- [12] A. Besednjak, «Materiales Compuestos,» Catalunya, 2009.
- [13] D. Wright, «Ciencia e Ingeniería de los Materiales,» 1998.
- [14] M. Kirschenbaum, «Materiales y materias primas,» Argentina, 2011.
- [15] W. Callister, «Fundamentals of Materials Science and Engineering,» 2001.
- [16] J. Shackelford , «Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros,» pp. 1-838,207, 2008.
- [17] M. Groover, «Fundamentos de Manufactura Moderna,» 2009.
- [18] L. David , «Aspectos físicos y factores que determina la calidad superficial en el maquinado de composites de matriz poliméricas reforzados con fibras,» 2014.
- [19] J. Trejos , «Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio,» 2014.
- [20] L. Romero , «Transformación de materiales termoplásticos,» IC Editoria, Quito, 2014.
- [21] C. Mariano, «“Tecnología de los Plásticos,» <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resinaepoxi.html>, 2011.
- [22] A. Besendnjak, «Los Materiales Compuestos,» Catalunya, 2012.

- [23] J. Dávila , S. Galeas, V. Hugo, M. Rosas y C. Valdiviezo, «Nuevos Materiales, Aplicaciones estructurales e industriales, Quito: Imprefepp, 2011.,» Ecuador, 2011.
- [24] D. Torrez, «Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales,» in Learning Styles and the Nursing Profession,» 2020.
- [25] C. Montenegro , «Producción de un material compuesto de Fibra de Vidrio de Carbono con Material ABS,» Colombia, 2019.
- [26] A. LLanes , . E. Murcia y S. Garcia , «Conformado y aplicación de la fibra de carbono,» Universidad Don Bosco, Salvador, 2015.
- [27] C. Uribe, «Fibra de Carbono presente y future de un material revolucionario», metal actual».
- [28] B. Heinemann , «Carbon Composites,» 1994.
- [29] M. Manuel , B. Millan y F. Kahn, «Anatomía y propiedades físico-químicas de la fibra de chambira,» Revista de Biología, 2018.
- [30] J. Balslev, «Ethnobotany of the fiber plamAstrocaryum chambira,» Ecuador, 2008.
- [31] R. Valencia , R. Montúfar y H. Balslev, «Palmas ecuatorianas; Biología y usp Sostenible,» Quito, 2013.
- [32] A. Miravete y J. Cuartero, «Materiales Compuestos,» Asociacion Española de Materiales Compuestos, 2003.
- [33] H. Pulido y R. d. l. V. Salazar, «Análisis y Diseño de Experimentos,» 2012.
- [34] A. Fisher , «Desgn of experiments,» England, 1988.
- [35] «¿Qué son los diseños de superficie de respuesta, los diseños centrales compuestos y los diseños de Box-Behnken?,» 2019.

ANEXOS



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.

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



	PR2032 PH3630	PR2032 with PH3660				PR2032 PH3663	PR2032 PH3665	ASTM Method
		Neat Resin (Unreinforced)	With Fiberglass	With Graphite	With Kevlar			
Mix Ratio	100 : 27 By Weight, or 3 to 1 By Volume					100 : 25 By Weight	100:27 By Wt. 3 to 1 By Vol.	PTM&W
Pot Life, @ 77°F	30 minutes	1 hour				1.5 Hour	2 hours	D2471
Color	Lt. Amber	Light Amber				Light Amber	Lt. Amber	Visual
Mixed Viscosity, @77°F, cps	800-875 cps	900 - 950 cps				440 cps	925-975 cps	D2393
Cured Hardness, Shore D	88 Shore D	88 Shore D				87 Shore D	87 Shore D	D2240
Specific Gravity, grams, cc	1.16	1.11				1.109	1.12	D1475
Density, lb./cu. Inch	.0420	.0401				.0401	.0410	D792
Specific Volume, cu. in./lb.	23.8	25.0				24.96	24.4	D792
Tensile Strength, psi ⁽¹⁾	45,350 psi	9828 psi	45,170 psi	75,640 psi	45,400 psi	40,010 psi	45,870 psi	D638
Elongation at Break, % ⁽¹⁾	1.91 %	1.90 %	1.96 %	0.91 %	1.31 %	1.67 %	1.98 %	D638
Tensile modulus, psi ⁽¹⁾	2,800,000 psi	418,525 psi	2,620,000 psi	8,170,000 psi	3,770,000 psi	2,647,520 psi	2,520,000 psi	D638
Flexural Strength, psi ⁽¹⁾	68,167 psi	16,827 psi	62,285 psi	96,541 psi	34,524 psi	65,461 psi	66,667 psi	D790
Flexural Modulus, psi ⁽¹⁾	2,770,000 psi	462,910 psi	2,560,000 psi	6,480,000 psi	2,500,000 psi	2,639,766 psi	3,050,000 psi	D790
Glass Transition Temp., Tg	194°F	196°F				194°F	194°F	TMA
Thermal Coef. of Expansion Range:	3.7 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.3 x 10 ⁻⁵ in./in./°F				4.14 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	4.15 x 10 ⁻⁵ in./in./°F	D696
⁽¹⁾ Fiberglass Properties Derived with A 10 Ply Laminate, Hand Lay-up, Style 181 Glass Fabric, 55% Glass Content; Graphite Properties with a 10 Ply Laminate of 5.6 oz. 3K Fabric; and Kevlar Properties with A 10 Ply Laminate of 5 oz. Kevlar								

PACKAGING WEIGHTS



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

SAFETY and HANDLING

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

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



PTM&W Industries, Inc.

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

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

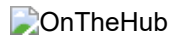
Factura del pedido: 100718485254

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**Información del pedido**

Número de pedido: 100718485254
Fecha del pedido: 2021-10-22 18:12
Hora de verano del Este

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
1. Minitab Statistical Software: Cloud App & Windows Desktop (12-Mo Rental) - Subscription	\$54.99
<hr/>	
Subtotal:	\$54.99
Impuestos:	--
Total:	\$54.99

Asegúrese de que toda la información listada a continuación sea correcta y guarde esta factura para su registro.

Si tiene alguna pregunta, consulte la [página de Ayuda de la tienda web](#).

Gracias,
[OnTheHub](#)

Tejido de fibra de carbono Twill

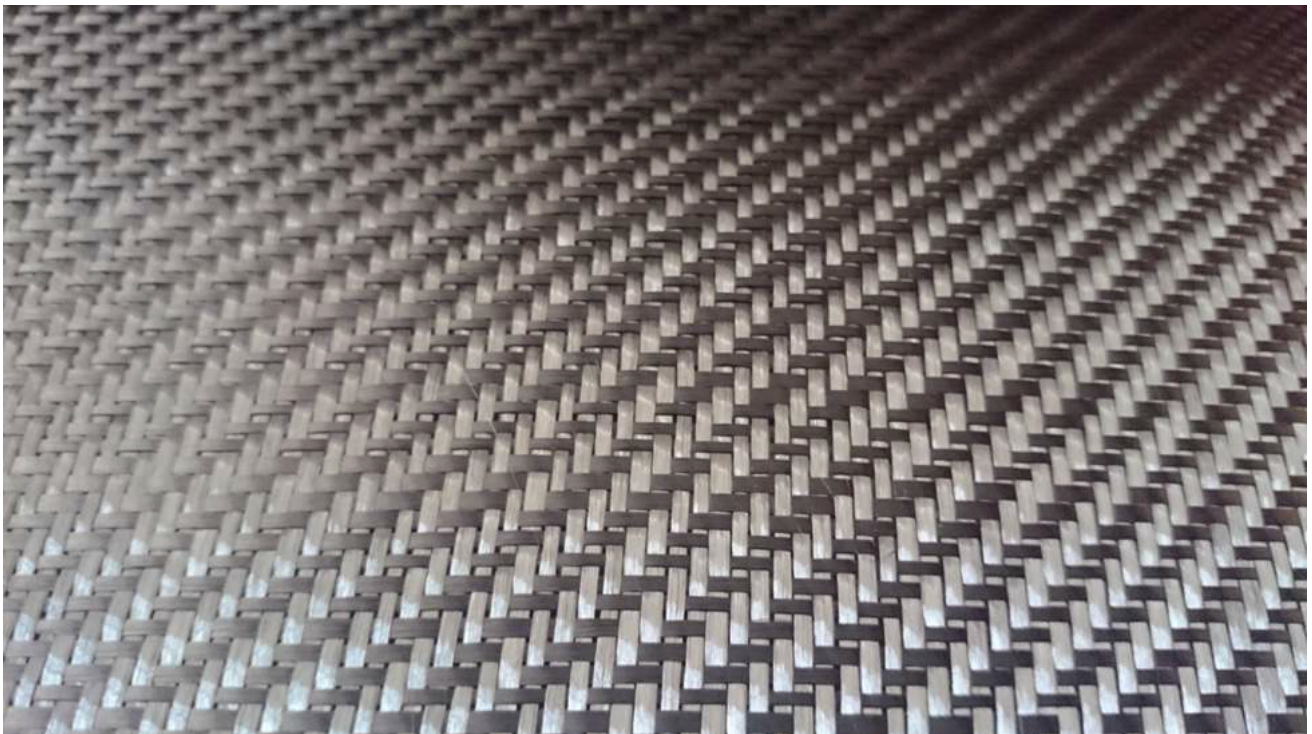
El tejido de fibra de carbono 3K twill es el tejido más popular en la industria de automóviles, aplicaciones marinas, aeroespaciales y deportivas. El tejido de fibra de carbono twill ofrece una mayor adaptación en geometrías complejas y una ligera ventaja en la humectación de la resina. Este tejido puede reforzar cualquier proyecto y al mismo tiempo añadir un peso mínimo, con sólo tres capas son comúnmente utilizadas para producir piezas no estructurales.

Este tejido de fibra de carbono maximiza las propiedades de resistencia con nuestra resina epoxica Q1 (sistema de infusión o RTM) y con la resina epoxica Q2 (sistema con brocha).

Ancho: 1,27m de ancho
 Peso: 198 gr/m² (5.9 Oz)
 Tejido: Twill
 Tamaño de hebra: **3k**

Clave: FC3KT50

Propiedades	Unidad U.S.	Unidad S.I.
Resistencia a la tracción		
3k	644ksi	4,440Mpa
6k	644ksi	4,440Mpa
12k	790ksi	5,445 Mpa
Módulo de tensión	33.5 Msi	231 Gpa
Alargamiento de rotura		
3k	1.80%	1.80%
6k	1.70%	1.70%
12k	1.70%	1.70%
Densidad	0.0647 lb/in ³	1.79g/cm ³





Designation: D3039/D3039M – 17

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

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

1. Scope

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

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

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

Current edition approved 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.

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

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

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

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

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

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

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

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

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

3.3 Symbols:

A—average cross-sectional area of a coupon.

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

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

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

E—modulus of elasticity in the test direction.

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

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

h—coupon thickness.

L_g—extensometer gage length.

L_{min}—minimum required bonded tab length.

n—number of coupons per sample population.

P—force carried by test coupon.

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

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

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

w—coupon width.

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

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

δ —extensional displacement.

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

ϵ —indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

σ —normal stress.

ν —Poisson's ratio.

4. Summary of Test Method

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

5. Significance and Use

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

5.1.1 Ultimate tensile strength,

5.1.2 Ultimate tensile strain,

5.1.3 Tensile chord modulus of elasticity,

5.1.4 Poisson's ratio, and

5.1.5 Transition strain.

6. Interferences

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

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

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

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

7. Apparatus

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

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

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

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

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

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

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

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

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

7.2.5 System Alignment—Poor system alignment can be a major contributor to premature failure, to elastic property data scatter, or both. Practice E1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment

during tensile testing. In addition to Practice E1012, the degree of bending in a tensile system can also be evaluated using the following related procedure. Specimen bending is considered separately in 11.6.1.

7.2.5.1 A rectangular alignment coupon, preferably similar in size and stiffness to the test specimen of interest, is instrumented with a minimum of three longitudinal strain gages of similar type, two on the front face across the width and one on the back face of the specimen, as shown in Fig. 1. Any difference in indicated strain between these gages during loading provides a measure of the amount of bending in the thickness plane (B_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

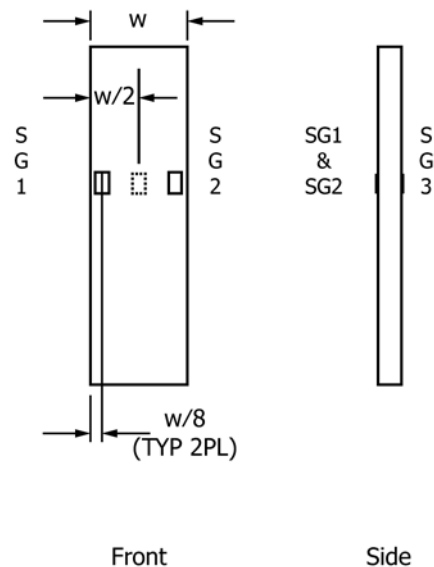


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

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

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

where:

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

NOTE 3—Experimental error may be introduced by sources such as poor system alignment, specimen preparation and strain gage precision and calibration. These sources of error may result in an average calculated strain (ϵ_{ave}) of 0, causing B_y and B_z (Eq 1 and Eq 2) to approach infinity as the average calculated strain is the denominator. To minimize the potential for this occurrence during system alignment evaluation, it is recommended that force be applied to the alignment coupon until all three strain gages measure positive strain of no less than $500 \mu\epsilon$ with an ϵ_{ave} of no less than $1000 \mu\epsilon$. If these conditions can not be met, the test configuration should be adjusted prior to performing further system alignment evaluation.

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

7.3.1 Bonded Resistance Strain Gage Selection—Strain gage selection is a compromise based on the type of material. An active gage length of 6 mm [0.25 in.] is recommended for most materials. Active gage lengths should not be less than 3 mm [0.125 in.].³ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E251. When testing woven fabric laminates, gage selection should consider the use of an active gage length that is at least as great as the characteristic repeating unit of the

weave. Some guidelines on the use of strain gages on composites follow. A general reference on the subject is Tuttle and Brinson.⁴

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E1237 can penetrate the matrix material and cause damage to the reinforcing fibers resulting in improper coupon failures. Reinforcing fibers should not be exposed or damaged during the surface preparation process. The strain gage manufacturer should be consulted regarding surface preparation guidelines and recommended bonding agents for composites pending the development of a set of standard practices for strain gage installation surface preparation of fiber-reinforced composite materials.

7.3.1.2 Consideration should be given to the selection of gages having larger resistances to reduce heating effects on low-conductivity materials. Resistances of 350 Ω or higher are preferred. Additional consideration should be given to the use of the minimum possible gage excitation voltage consistent with the desired accuracy (1 to 2 V is recommended) to reduce further the power consumed by the gage. Heating of the coupon by the gage may affect the performance of the material directly, or it may affect the indicated strain as a result of a difference between the gage temperature compensation factor and the coefficient of thermal expansion of the coupon material.

7.3.1.3 Consideration of some form of temperature compensation is recommended, even when testing at standard laboratory atmosphere. Temperature compensation is required when testing in nonambient temperature environments.

7.3.1.4 Consideration should be given to the transverse sensitivity of the selected strain gage. The strain gage manufacturer should be consulted for recommendations on transverse sensitivity corrections and effects on composites. This is particularly important for a transversely mounted gage used to determine Poisson's ratio, as discussed in Note 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

³ A typical gage would have a 0.25-in. active gage length, 350- Ω resistance, a strain rating of 3 % or better, and the appropriate environmental resistance and thermal coefficient.

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

^A See 8.2.2 or Table 2 for recommendations.

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

8.2.2 Specific Recommendations:

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

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

TABLE 2 Tensile Specimen Geometry Recommendations^A

Fiber Orientation	Width, mm [in.]	Overall Length, mm [in.]	Thickness, mm [in.]	Tab Length, mm [in.]	Tab Thickness, mm [in.]	Tab Bevel Angle, °
0° unidirectional	15 [0.5]	250 [10.0]	1.0 [0.040]	56 [2.25]	1.5 [0.062]	7 or 90
90° unidirectional	25 [1.0]	175 [7.0]	2.0 [0.080]	25 [1.0]	1.5 [0.062]	90
balanced and symmetric	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—

^A Dimensions in this table and the tolerances of Fig. 2 or Fig. 3 are recommendations only and may be varied so long as the requirements of Table 1 are met.

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

8.2.2.4 Friction Tabs—Tabs need not always be bonded to the material under test to be effective in introducing the force into the specimen. Friction tabs, essentially nonbonded tabs held in place by the pressure of the grip, and often used with emery cloth or some other light abrasive between the tab and the coupon, have been successfully used in some applications. In specific cases, lightly serrated wedge grips (see [Note 2](#)) have been successfully used with only emery cloth as the interface between the grip and the coupon. However, the abrasive used must be able to withstand significant compressive forces. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.

8.2.2.5 Tab Material—The most consistently used bonded tab material has been continuous E-glass fiber-reinforced polymer matrix materials (woven or unwoven) in a [0/90]_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:

$$L_{\min} = F^w h / 2 F^{\text{su}} \quad (3)$$

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	.X	.XX
± 3	± 1	± .3
 3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
 4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ± .5°.
 5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
 6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
 7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

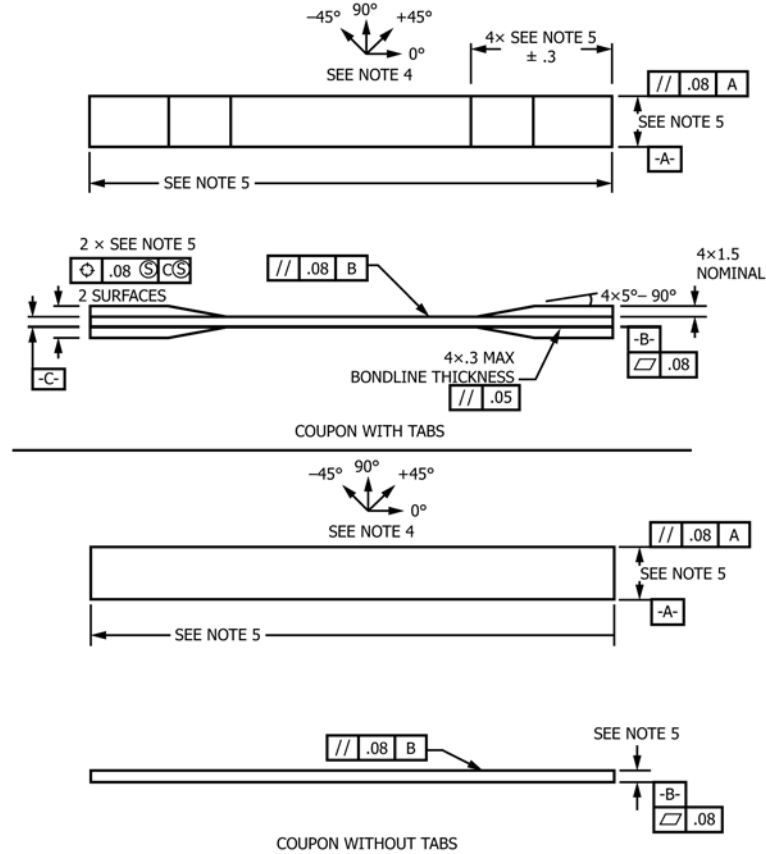


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

10.3 If no explicit conditioning process is performed, the specimen conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Parameters To Be Specified Before Test:

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

11.1.2 The tensile properties and data reporting format desired.

NOTE 7—Determine specific material property, accuracy, and data reporting requirements before test for proper selection of instrumentation and data-recording equipment. Estimate operating stress and strain levels to aid in transducer selection, calibration of equipment, and determination of equipment settings.

11.1.3 The environmental conditioning test parameters.

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

11.2 General Instructions:

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

11.2.2 Following final specimen machining, measure the specimen. The thickness and width shall be measured at three places in the gage section and report the averages of the thickness and width for the calculation of area to the accuracy in 7.1. Determine the specimen area as $A = w \times h$. Record the average area in units of mm^2 (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 64√ (SYMBOLGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-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.

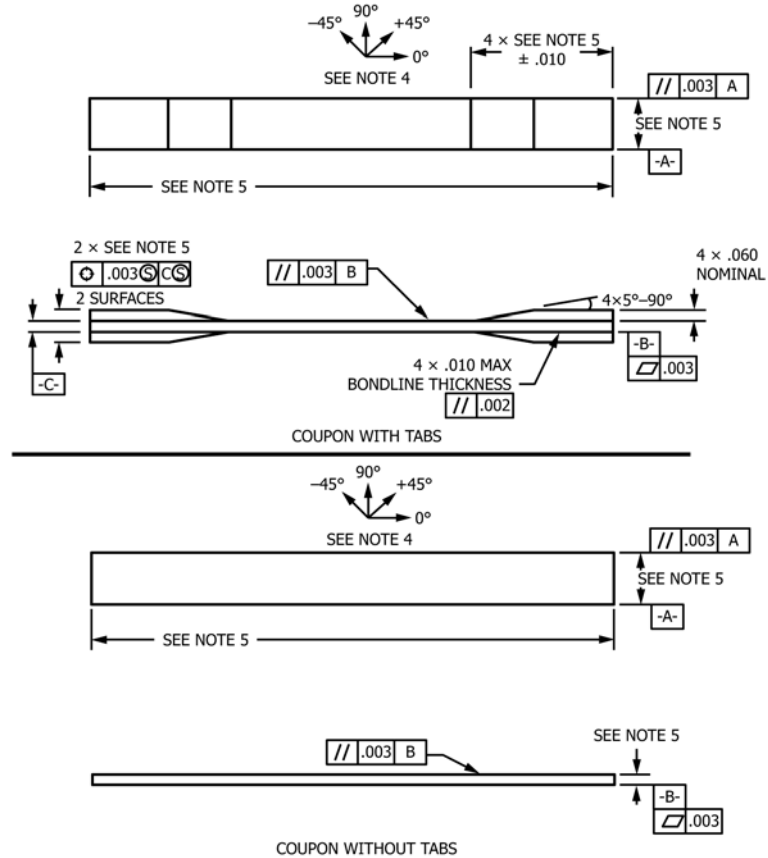


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

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⁻¹.

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

NOTE 9—Use of a fixed head speed in testing machine systems with a high compliance may result in a strain rate that is much lower than required. Use of wedge grips can cause extreme compliance in the system, especially when using compliant tab materials. In some such cases, actual strain rates 10 to 50 times lower than estimated by head speeds have been observed.

11.4 *Test Environment*—Condition the specimen to the desired moisture profile and, if possible, test under the same conditioning fluid exposure level. However, cases such as elevated temperature testing of a moist specimen place unre-

alistic requirements on the capabilities of common testing machine environmental chambers. In such cases, the mechanical test environment may need to be modified, for example, by testing at elevated temperature with no fluid exposure control, but with a specified limit on time to failure from withdrawal from the conditioning chamber. Modifications to the test environment shall be recorded. In the case where there is no fluid exposure control, the percentage moisture loss of the specimen prior to test completion may be estimated by placing a conditioned traveler coupon of known weight within the test chamber at the same time as the specimen is placed in the chamber. Upon completion of the test, the traveler coupon is removed from the chamber, weighed, and the percentage weight calculated and reported.

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

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

NOTE 10—The ends of the grip jaws on wedge-type grips should be even with each other following insertion to avoid inducing a bending moment that results in premature failure of the specimen at the grip. When using untabbed specimens, a folded strip of emery cloth (suggested grit of 80 to 180) between the specimen faces and the grip jaws (grit-side toward specimen) provides a nonslip grip on the specimen without jaw serration damage to the surface of the specimen. When using tabbed specimens, insert the coupon so that the grip jaws extend approximately 10 to 15 mm [0.5 in.] past the beginning of the tapered portion of the tab. Coupons having tabs that extend beyond the grips are prone to failure at the tab ends because of excessive interlaminar stresses.

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

11.6.1 When determining modulus of elasticity, it is recommended that at least one specimen per like sample be evaluated with back-to-back axial transducers to evaluate the percent bending, using Eq 4, at the average axial strain checkpoint value (the mid range of the appropriate chord modulus strain range) shown in Table 3. A single transducer can be used if the percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\varepsilon_f - \varepsilon_b|}{|\varepsilon_f + \varepsilon_b|} \quad (4)$$

where:

- ε_f = indicated strain from front transducer, $\mu\varepsilon$;
- ε_b = indicated strain from back transducer, $\mu\varepsilon$; 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];
- σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
- P_i = force at i th data point, N [lbf]; and
- A = average cross-sectional area from 11.2.2, mm^2 [in.^2].

13.2 *Tensile Strain/Ultimate Tensile Strain*—If tensile modulus or ultimate tensile strain is to be calculated, and material response is being determined by an extensometer, determine the tensile strain from the indicated displacement at each required data point using Eq 7 and report the results to three significant figures.

$$\varepsilon_i = \delta_i/L_g \quad (7)$$

where:

- ε_i = tensile strain at i th data point, $\mu\varepsilon$;
- δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
- L_g = extensometer gage length, mm [in.].

13.3 Tensile Modulus of Elasticity:

NOTE 12—To minimize potential effects of bending it is recommended

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	$\mu\varepsilon$
1000^A	3000	2000

^A 1000 $\mu\varepsilon$ = 0.001 absolute strain.

^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\varepsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

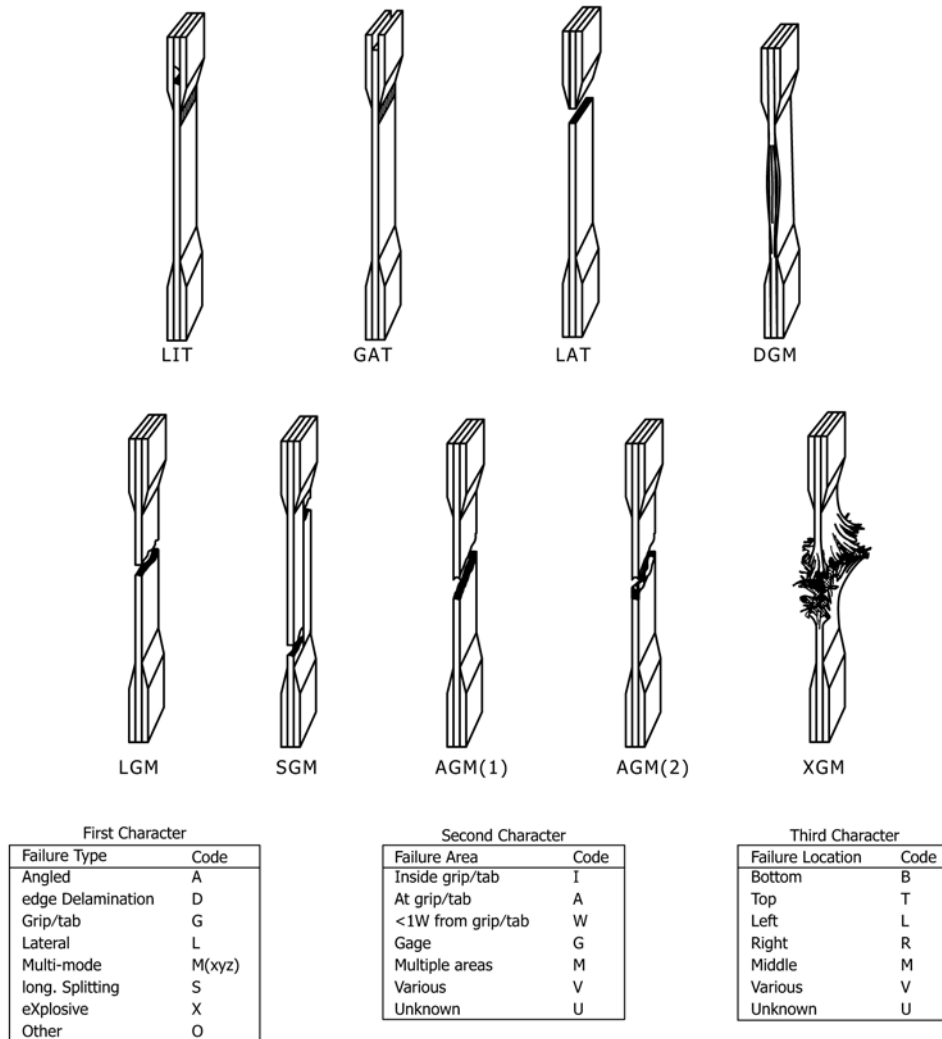


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

that the strain data used for modulus of elasticity determination be the average of the indicated strains from each side of the specimen, as discussed in 7.3 and 11.6.

13.3.1 *Tensile Chord Modulus of Elasticity*—Select the appropriate chord modulus strain range from Table 3. Calculate the tensile chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 8. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Report the tensile chord modulus of elasticity to three significant figures. Also report the strain range used in the calculation. A graphical example of chord modulus is shown in Fig. 5.

13.3.1.1 The tabulated strain ranges should only be used for materials that do not exhibit a transition region (a significant change in the slope of the stress-strain curve) within the given strain range. If a transition region occurs within the recommended strain range, then a more suitable strain range shall be used and reported.

$$E^{\text{chord}} = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \quad (8)$$

where:

- E^{chord} = tensile chord modulus of elasticity, GPa [psi];
- $\Delta\sigma$ = difference in applied tensile stress between the two strain points of Table 3, MPa [psi]; and
- $\Delta\varepsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

13.3.2 *Tensile Modulus of Elasticity (Other Definitions)*—Other definitions of elastic modulus may be evaluated and reported at the user’s discretion. If such data is generated and reported, report also the definition used, the strain range used, and the results to three significant figures. Test Method E111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 13—An example of another modulus definition is the secondary chord modulus of elasticity for materials that exhibit essentially bilinear stress-strain behavior. An example of secondary chord modulus is shown in Fig. 5.

13.4 Poisson’s Ratio:

NOTE 14—If bonded resistance strain gages are being used, the error

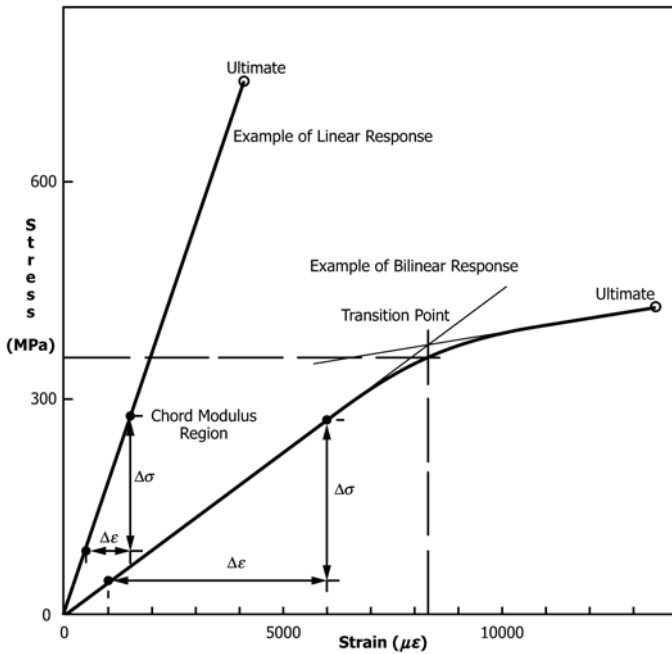


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

produced by the transverse sensitivity effect on the transverse gage will generally be much larger for composites than for metals. An accurate measurement of Poisson’s ratio requires correction for this effect. The strain gage manufacturer should be contacted for information on the use of correction factors for transverse sensitivity.

13.4.1 *Poisson’s Ratio By Chord Method*—Select the appropriate chord modulus longitudinal strain range from Table 3. Determine (by plotting or otherwise) the transverse strain (measured perpendicular to the applied force), ϵ_t , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied force), ϵ_l , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate Poisson’s ratio by Eq 9 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$v = -\Delta\epsilon_t/\Delta\epsilon_l \quad (9)$$

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 Bias⁵

15.1 Precision:

15.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D3039/D3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

15.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of force application and displacement/strain measurement, speed of force application, alignment of test specimen with applied force, parallelism of the grips, grip pressure, and type of force control (displacement, strain, or force).

15.1.3 Material factors that can affect test results include: material quality and representativeness, sampling scheme, and specimen preparation (dimensional accuracy, tab material, tab taper, tab adhesive, and so forth).

15.1.4 The mean tensile strength for a strain rate sensitive, glass/epoxy tape composite testing in the fiber direction was found to increase by approximately two standard deviations with decreasing time to failure tested at the limits of the recommended time to failure prescribed in Test Method D3039/D3039M. This result suggest that caution must be used when comparing test data obtained for strain rate sensitive composite materials tested in accordance with this standard.

15.1.5 Measurement errors arise from the use of specialized measuring instruments such as load cells, extensometers and strain gages, micrometers, data acquisition devices, and so forth.

15.1.6 Data obtained from specimens that fracture outside the gage are should be used with caution as this data may not be representative of the material. Failure in the grip region indicates the stress concentration at the tab is greater than the natural strength variation of the material in the gage section. A tapered tab, bonded with a ductile low-modulus adhesive has a relatively low-stress concentration and should result in the lowest frequency of grip failures. Low-strength bias increases with the frequency of grip failures by an amount proportional to the stress concentration at the tab.

TABLE 4 Precision Statistics

Material	\bar{x}	$s_{\bar{x}}$	S_r	S_R	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

⁵ 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.⁶ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E691 for tensile strength, modulus, and failure strain. All data except that for Material B (90° lay-up) was normalized with respect to an average thickness. The materials listed in Table 4 are defined as:

- A IM-6/3501–6 uni-tape (0)n
- B IM-6/3501–6 uni-tape (90)n
- C IM-6/3501–6 uni-tape (90/0)n
- F Glass/epoxy fabric (7781
glass/Ciba R 7376 Epoxy)-
warp aligned
- G Carbon/epoxy fabric (66108
carbon/Ciba R 6376)

15.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/X and S_R/X represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability

⁶ 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/

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



Designation: D7264/D7264M – 21

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

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

1. Scope

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

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

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

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

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

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

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

D883 Terminology Relating to Plastics

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

D2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins

D2734 Test Methods for Void Content of Reinforced Plastics

D3171 Test Methods for Constituent Content of Composite Materials

D3878 Terminology for Composite Materials

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

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

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

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

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing

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

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

E456 Terminology Relating to Quality and Statistics

2.2 *Other Documents*:³

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

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

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

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

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)

3. Terminology

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

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *flexural modulus, n*—the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

3.2.2 *flexural strength, n*—the maximum stress at the outer surface of a flexure test specimen corresponding to the peak applied force prior to flexural failure.

3.3 *Symbols:*

- b = specimen width
- CV = sample coefficient of variation, in percent
- E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity
- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity
- h = specimen thickness
- L = support span
- m = slope of the secant of the load-deflection curve
- n = number of specimens
- P = applied force
- s_{n-1} = sample standard deviation
- x_i = measured or derived property
- \bar{x} = sample mean
- δ = mid-span deflection of the specimen
- ϵ = strain at the outer surface at mid-span of the specimen
- σ = stress at the outer surface at mid-span of the specimen

4. Summary of Test Method

4.1 A bar of rectangular cross section, supported as a beam, is deflected at a constant rate as follows:

4.1.1 *Procedure A*—The bar rests on two supports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

4.1.2 *Procedure B*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses (that is, the load span) is one-half of the support span (see Fig. 2).

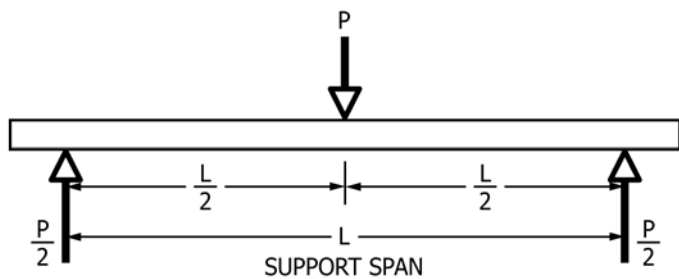


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

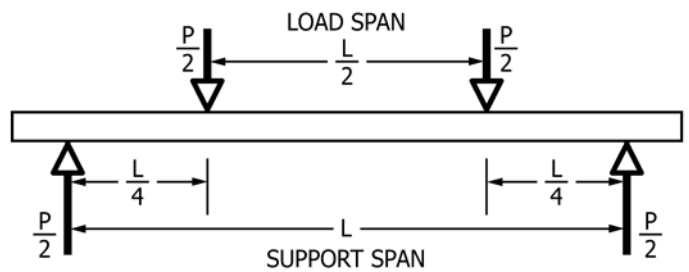


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

4.2 Force applied to the specimen and resulting specimen deflection at the center of span are measured and recorded until the failure occurs on either one of the outer surfaces, or the deformation reaches some pre-determined value.

4.3 The major difference between four-point and three-point loading configurations is the location of maximum bending moment and maximum flexural stress. With the four-point configuration, the bending moment is constant between the central force application members. Consequently, the maximum flexural stress is uniform between the central force application members. In the three-point configuration, the maximum flexural stress is located directly under the center force application member. Another difference between the three-point and four-point configurations is the presence of resultant vertical shear force in the three-point configuration everywhere in the beam except right under the mid-point force application member whereas in the four-point configuration, the area between the central force application members has no resultant vertical shear force. The distance between the outer support members is the same as in the equivalent three-point configuration.

4.4 The test geometry is chosen to limit out-of-plane shear deformations and avoid the type of short beam failure modes that are interrogated in Test Method D2344/D2344M.

5. Significance and Use

5.1 This test method determines the flexural properties (including strength, stiffness, and load/deflection behavior) of polymer matrix composite materials under the conditions defined. Procedure A is used for three-point loading and Procedure B is used for four-point loading. This test method was developed for optimum use with continuous-fiber-reinforced polymer matrix composites and differs in several respects from other flexure methods, including the use of a standard span-to-thickness ratio of 32:1 versus the 16:1 ratio used by Test Methods D790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D6272 (a plastics-focused method covering four-point flexure).

5.2 This test method is intended to interrogate long-beam strength in contrast to the short-beam strength evaluated by Test Method D2344/D2344M.

5.3 Flexural properties determined by these procedures can be used for quality control and specification purposes, and may find design applications.

5.4 These procedures can be useful in the evaluation of multiple environmental conditions to determine which are design drivers and may require further testing.

5.5 These procedures may also be used to determine flexural properties of structures.

6. Interferences

6.1 Flexural properties may vary depending on which surface of the specimen is in compression, as no laminate is perfectly symmetric (even when full symmetry is intended); such differences will shift the neutral axis and will be further affected by even modest asymmetry in the laminate. Flexural properties may also vary with specimen thickness, conditioning or testing environments, or both, and rate of straining. When evaluating several datasets, these parameters shall be equivalent for all data in the comparison.

6.2 For multidirectional laminates with a small or moderate number of laminae, flexural modulus and flexural strength may be affected by the ply-stacking sequence and will not necessarily correlate with extensional modulus, which is not stacking-sequence dependent.

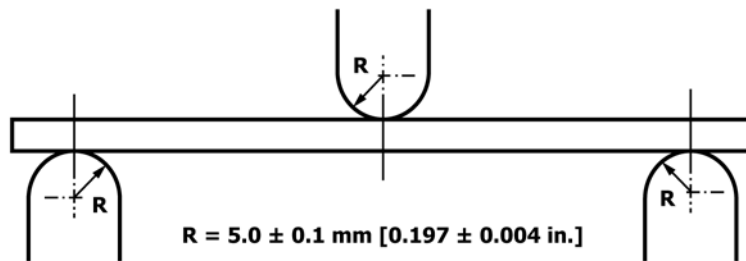
6.3 The calculation of the flexural properties in Section 13 of this standard is based on beam theory, while the specimens in general may be described as plates. The differences may in some cases be significant, particularly for laminates containing a large number of plies in the ±45° direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

6.4 Loading noses shall be fixed, rotatable, or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces and resisting moments on the beam, which superpose with the intended loading. The type of supports used is to be reported as described in Section 14. The loading noses shall uniformly contact the specimen across its width. Lack of uniform contact can affect flexural properties by initiating damage by crushing and by non-uniformly loading the beam. Formulas used in this standard assume a uniform line loading at the specimen supports across the entire specimen width; deviations from this type of loading is beyond the scope of this standard.

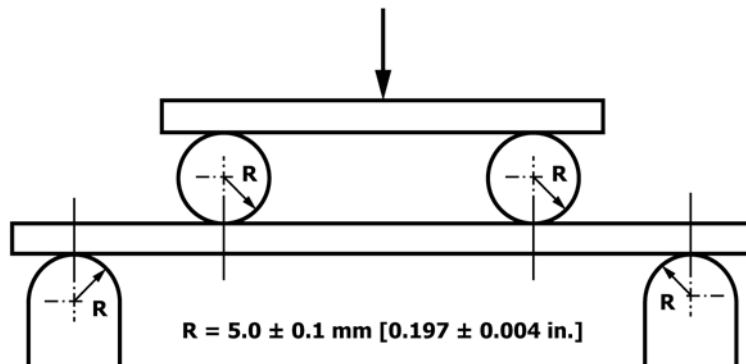
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—The testing machine shall be properly calibrated and operate at a constant rate of crosshead motion with the error in the force application system not exceeding ±1 % of the full scale. The force indicating mechanism shall be essentially free of inertia lag at the crosshead rate used. Inertia lag shall not exceed 1 % of the measured force. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces with a hardness ≥55 HRC and shall have finely ground surfaces free of



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)

indentation and burrs, with all sharp edges relieved. The radii of the loading nose and supports shall be 5.0 ± 0.1 mm [0.197 ± 0.004 in.], as shown in Fig. 3, unless otherwise specified or agreed upon between the interested parties. Loading noses and supports shall be arranged in a fixed, rotatable, or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 Micrometers and Calipers—For width and thickness measurements, the micrometers shall use a 4 to 8 mm [0.16 to 0.32 in.] nominal diameter ball-interface on an irregular surface such as the bag side of a laminate, and a flat anvil interface on machined edges or very smooth tooled surfaces. A micrometer or caliper with flat anvil faces shall be used to measure the length of the specimen. The use of alternative measurement devices is permitted if specified (or agreed to) by the test requestor and reported by the testing laboratory. The accuracy of the instrument(s) shall be suitable for reading to within 1 % or better of the specimen dimensions. For typical section geometries, an instrument with an accuracy of ± 0.02 mm [± 0.001 in.] is adequate for thickness and width measurement, while an instrument with an accuracy of ± 0.1 mm [± 0.004 in.] is adequate for length measurement.

7.4 Deflection Measurement—Specimen deflection at the common center of the loading span shall be measured by a properly calibrated device having an accuracy of ± 1 % or better of the expected maximum displacement. The device shall automatically and continuously record the deflection during the test.

7.5 Conditioning Chamber—When conditioning materials at non-laboratory environments, a temperature/vapor-level-controlled environmental conditioning chamber is required that shall be capable of maintaining the required temperature to within ± 3 °C [± 5 °F] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method D5229/

D5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 Environmental Test Chamber—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature within ± 3 °C [± 5 °F] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

8.1 Specimen Preparation—Guide D5687/D5687M provides recommended specimen preparation practices and shall be followed when practical.

8.2 Specimen Size is chosen such that the flexural properties are determined accurately from the tests. For flexural strength, the standard support span-to-thickness ratio is chosen such that failure occurs at the outer surface of the specimens, due only to the bending moment (see Notes 2 and 3). The standard span-to-thickness ratio is 32:1, the standard specimen thickness is 4 mm [0.16 in.], and the standard specimen width is 13 mm [0.5 in.] with the specimen length being about 20 % longer than the support span. See Figs. 4 and 5 for a drawing of the standard test specimen in SI and inch-pound units, respectively. For fabric-reinforced textile composite materials, the width of the specimen shall be at least two unit cells, as defined in Guide D6856. If the standard specimen thickness cannot be obtained in a given material system, an alternate specimen thickness shall be used while maintaining the support span-to-thickness ratio [32:1] and specimen width. Optional support span-to-thickness ratios of 16:1, 20:1, 40:1, and 60:1 may also be used, provided it is so noted in the report. Also, the data obtained from a test using one support span-to-thickness ratio shall not

DRAWING NOTES:

1. DRAWING INTERPRETATION PER ANSI Y14.5-1999 AND ANSI B46.1-1995.
2. SEE 8.2 AND 11.3 OF THIS TEST STANDARD FOR THE REQUIRED VALUES OF SPAN AND OVERALL LENGTH.

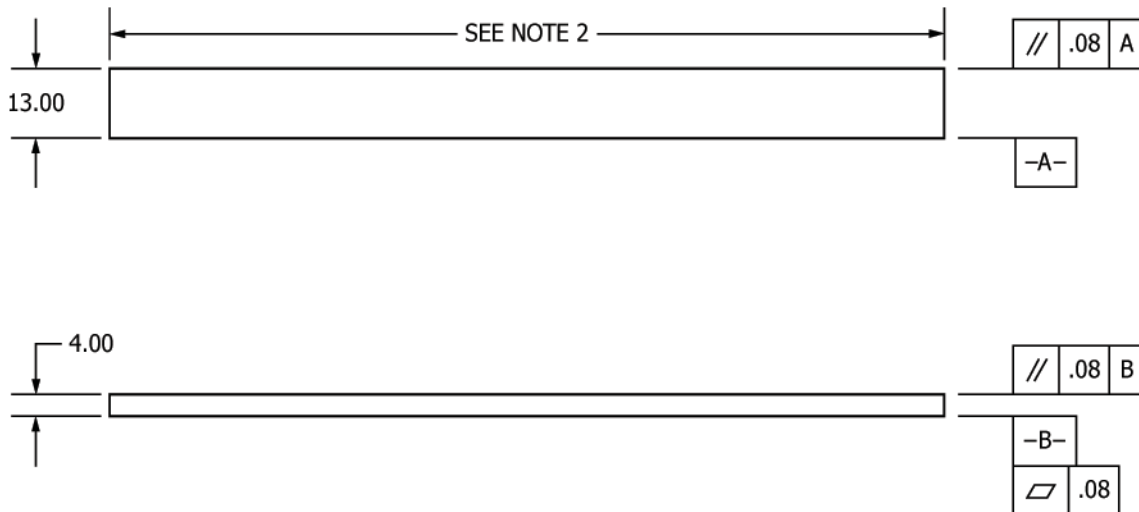


FIG. 4 Standard Flexural Test Specimen Drawing (SI)

DRAWING NOTES:

1. DRAWING INTERPRETATION PER ANSI Y14.5-1999 AND ANSI B46.1-1995.
2. SEE 8.2 AND 11.3 OF THIS TEST STANDARD FOR THE REQUIRED VALUES OF SPAN AND OVERALL LENGTH.

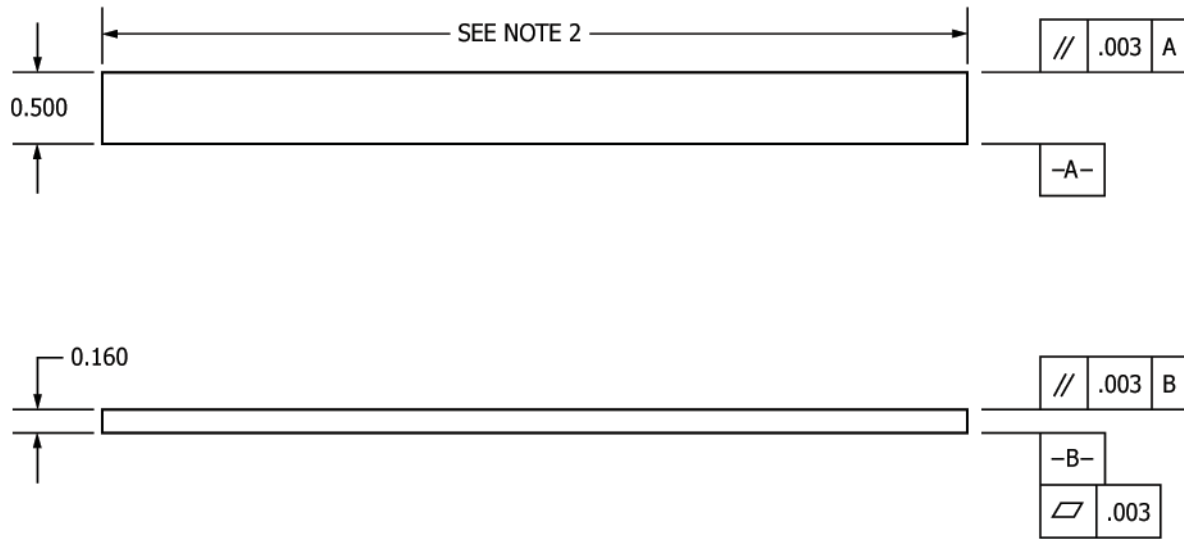


FIG. 5 Standard Flexural Test Specimen Drawing (Inch-Pound)

be compared with the data from another test using a different support span-to-thickness ratio.

8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

NOTE 2—A support span-to-thickness ratio of less than 32:1 may be acceptable for obtaining the desired flexural failure mode when the ratio of the lower of the compressive and tensile strength to out-of-plane shear strength is less than 8, but the support span-to-thickness ratio must be increased for composite laminates having relatively low out-of-plane shear strength and relatively high in-plane tensile or compressive strength parallel to the support span.

NOTE 3—While laminate stacking sequence is not limited by this test method, significant deviations from a lay-up of nominal balance and symmetry may induce unusual test behaviors and a shift in the neutral axis.

8.3 If specific gravity, density, reinforcement volume, or void volume are to be reported, then obtain these samples from the same panels as the test samples. Specific gravity and density may be evaluated by means of Test Methods D792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D2584. Void content may be evaluated from the equations of Test Method D2734 and is applicable to both Test Methods D2584 and D3171.

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

9. Number of Test Specimens

9.1 Test at least five specimens per test condition unless valid results can be gained through the use of fewer specimens, such as in the case of a designed experiment. For statistically significant data, the procedures outlined in Practice E122 shall be consulted. Report the method of sampling.

10. Conditioning

10.1 The recommended pre-test specimen condition is effective moisture equilibrium at a specific relative humidity as established by Test Method D5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens shall be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D5229/D5229M, includes not only the vapor of a liquid and its condensate, but the liquid itself in large quantities, as for immersion.

10.2 The pre-test specimen conditioning process, to include specified environmental exposure levels and resulting moisture content, shall be reported with the data.

10.3 If there is no explicit conditioning process, the conditioning process shall be reported as “unconditioned” and the moisture content as “unknown.”

11. Procedure

11.1 Condition the specimens as required. Store the specimens in the conditioned environment until test time.

11.2 Following final specimen machining and any conditioning, but before testing, measure and record the specimen width, *b*, and thickness, *h*, at the specimen mid-section, and the specimen length, to the accuracy specified in 7.3.

11.3 Measure the span, L , accurately to the nearest 0.1 mm [0.004 in.] for spans less than 63 mm [2.5 in.] and the nearest 0.3 mm [0.012 in.] for spans greater than or equal to 63 mm [2.5 in.]. Use the measured span for all calculations. See **Annex A1** for information on the determination of and setting of the span.

11.4 *Speed of Testing*—Set the speed of testing at a rate of crosshead movement of 1.0 mm/min [0.05 in./min] for a specimen with standard dimensions. For specimens with dimensions that vary greatly from the standard dimensions, a crosshead rate that will give a similar rate of straining at the outer surface can be obtained via the method outlined in Test Methods **D790** for Procedure A and Test Method **D6272** for Procedure B. The use of an alternative test rate is permitted if specified (or agreed to) by the test requestor and reported by the testing laboratory.

11.5 Align the loading nose(s) and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel. For Procedure A, the loading nose shall be midway between the supports. For Procedure B, the load span shall be one-half of the support span and symmetrically placed between the supports. The parallelism may be checked by means of plates with parallel grooves into which the loading nose(s) and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. See **Annex A1** for setting and measuring span.

11.6 Apply the force to the specimen at the specified crosshead rate. Measure and record force-deflection data at a rate such that a minimum of 50 data points comprise the force deflection curve. (A higher sampling rate may be required to properly capture any nonlinearities or progressive failure of the specimen.) Measure deflection by a transducer under the specimen in contact with it at the center of the support span, the transducer being mounted stationary relative to the specimen supports. Do not use the measurement of the motion of the loading nose relative to the supports as this will not take into account the rotation of the specimen about the load and support noses, nor account for the compliance in the loading nose or crosshead.

11.7 *Failure Modes*—To obtain valid flexural strength, it is necessary that the specimen failure occurs on either one of its outer surfaces, without a preceding interlaminar shear failure or a crushing failure under a support or loading nose. Failure on the tension surface may be a crack while that on the compression surface may be local buckling. Buckling may be

manifested as fiber micro-buckling or ply-level buckling. Ply-level buckling may result in, or be preceded by, delamination of the outer ply.

11.7.1 *Failure Identification Codes*—Record the mode, area, and location of failure for each specimen. Choose a standard failure identification code based on the three-part code shown in **Fig. 6**. A multimode failure can be described by including each of the appropriate failure-mode codes between the parentheses of the M failure mode.

12. Validation

12.1 Values for properties at failure shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Specimens that fail in an unacceptable failure mode shall not be included in the flexural property calculations. Retests shall be made for any specimen for which values are not calculated. If a significant fraction (>50 %) of the specimens fail in an unacceptable failure mode, then the span-to-thickness ratio (for excessive shear failures) or the loading nose diameter (crushing under the loading nose) shall be reexamined.

13. Calculation

NOTE 5—In determination of the calculated value of some of the properties listed in this section, it is necessary to determine if the toe compensation (see **Annex A2**) adjustment must be made. This toe compensation correction shall be made only when it has been shown that the toe region of the curve is due to take up of the slack, alignment, or seating of the specimen and is not an authentic material response.

13.1 *Maximum Flexural Stress, Procedure A*—When a beam of homogenous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress at the outer surface occurs at mid-span. The stress shall be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (**Note 6**):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

where:

- σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber

First Character		Second Character		Third Character	
Failure Mode	Code	Failure Area	Code	Failure Location	Code
Tension	T	At loading nose	A	Top	T
Compression	C	Between loading noses	B	Bottom	B
Buckling	B	at Support nose	S	Left	L
interlaminar Shear	S	between Load and support nose	L	Right	R
Multi-mode	M(xyz)	Unknown	U	Middle	M
Other	O			Various	V
				Unknown	U

FIG. 6 Flexure Test Specimen Three-Part Failure Identification Code

strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 Maximum Flexural Stress, Procedure B—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 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:

- σ = stress at the outer surface in the load span region, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 7—The limitations defined for Eq 1 in Note 6 apply also to Eq 2.

13.3 Flexural Strength—The flexural strength is equal to the maximum stress at the outer surface corresponding to the peak applied force prior to failure (for multidirectional laminates, see Note 6). It is calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the peak applied force.

13.4 Flexural Stress at a Given Strain—The maximum flexural stress at any given strain shall be calculated in accordance with Eq 1 and 2 by letting P equal the applied force read from the force-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain (for multidirectional laminates, see Note 6). Equations for calculating strains from the measured deflection are given in 13.5 and 13.6.

13.5 Maximum Strain, Procedure A—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it shall be calculated as follows:

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

- ε = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.6 Maximum Strain, Procedure B—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it shall be calculated as follows:

$$\varepsilon = \frac{48\delta h}{11L^2} \quad (4)$$

⁴ For the theoretical details, see Whitney, J. M., Browning, C. E., and Mair, A., "Analysis of the Flexure Test for Laminated Composite Materials," *Composite Materials: Testing and Design (Third Conference)*, ASTM STP 546, 1974, pp. 30-45.

where:

- δ = mid-span deflection, mm [in.],
- ε = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
- L = support span, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 Flexural Modulus of Elasticity:

13.7.1 Flexural Chord Modulus of Elasticity—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (5)$$

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.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 Flexural Secant Modulus of Elasticity—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 For Procedure A:

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

- E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.],
- h = thickness of beam, mm [in.] and
- m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 For Procedure B:

⁵ For discussion of these effects, see Zweben C., Smith, W. S., and Wardle, M. W., "Test Methods for Fiber Tensile Strength, Composite Flexural Modulus, and Properties of Fabric-Reinforced Laminates," *Composite Materials: Testing and Design (Fifth Conference)*, ASTM STP 674, 1979, pp. 228-262.

$$E_f^{secant} = \frac{11L^3m}{64bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as defined for Eq 6.

13.7.3 Chord modulus of elasticity shall be reported, although other definitions of moduli may also be used. However, when other definitions of moduli are used, it shall be clearly indicated in the report.

13.8 *Statistics*—For each series of tests, calculate the average value, standard deviation, and coefficient of variation for each property determined:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

- \bar{x} = average value or sample mean,
- x_i = value of single measured or derived property,
- n = number of specimens,
- s_{n-1} = estimated standard deviation,
- CV = coefficient of variation in percentage.

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](#).

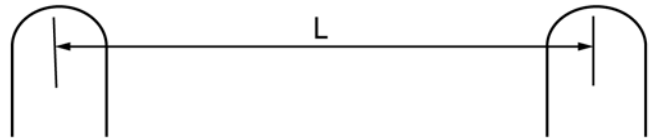


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

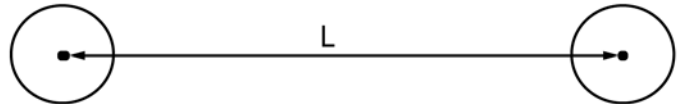


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

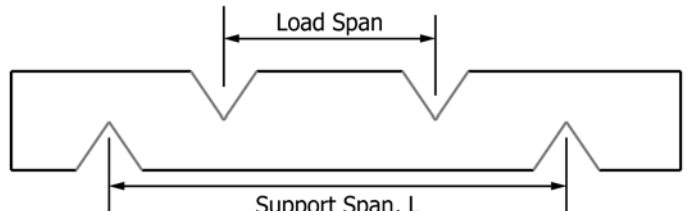


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

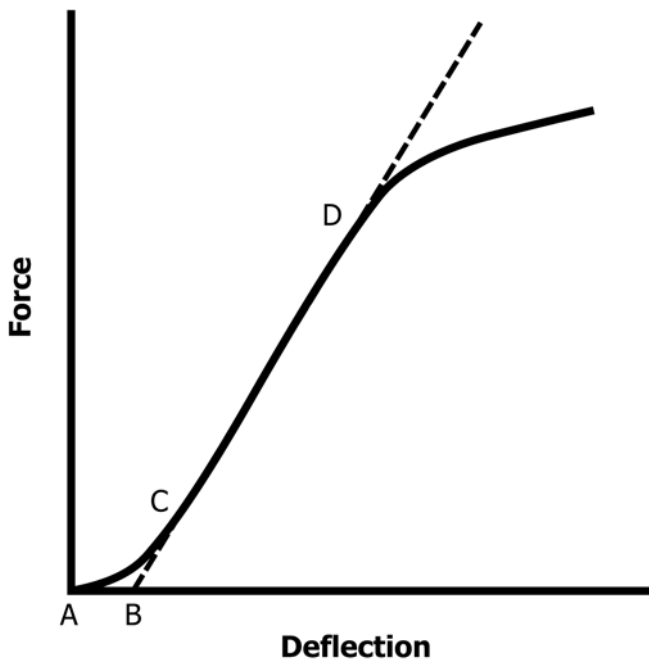


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

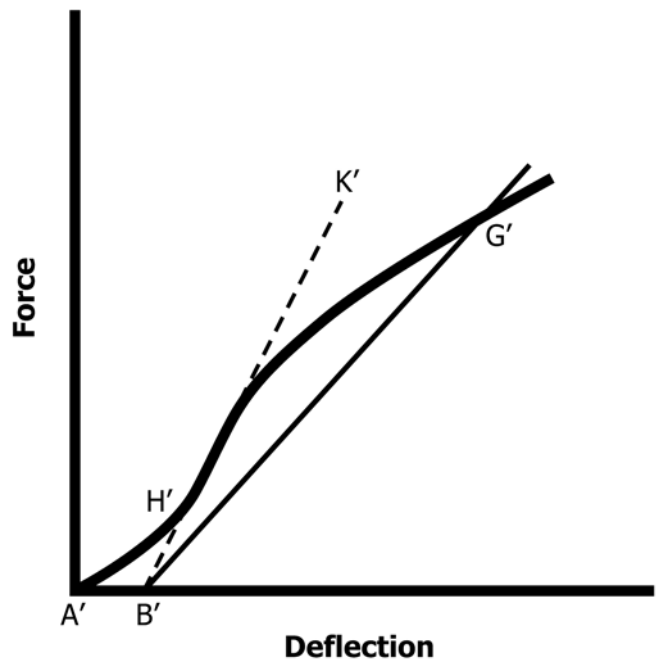


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

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/



Designation: D5628 – 18

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

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

1. Scope*

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

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

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

NOTE 1—This test method and ISO 6603-1 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D883 Terminology Relating to Plastics
- D1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics
- D1709 Test Methods for Impact Resistance of Plastic Film by the Free-Falling Dart Method

- D2444 Practice for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a Tup (Falling Weight)
 - D3763 Test Method for High Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors
 - D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
 - D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
 - D6779 Classification System for and Basis of Specification for Polyamide Molding and Extrusion Materials (PA)
 - E691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method
- ### 2.2 ISO Standards:³
- ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing
 - ISO 6603-1 Plastics—Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method

3. Terminology

3.1 Definitions:

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

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

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

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

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

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

³ Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tup) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

3.2.5 *tup*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tup) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass is dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass is dropped from a fixed height. (See Fig. 2).

4.2 The procedure determines the energy (mass \times height) that will cause 50 % of the specimens tested to fail (mean failure energy).

4.3 The technique used to determine mean failure energy is commonly called the Bruceton Staircase Method or the Up-and-Down Method (1).⁴ Testing is concentrated near the mean, reducing the number of specimens required to obtain a reasonably precise estimate of the impact resistance.

4.4 Each test method permits the use of different tup and test specimen geometries to obtain different modes of failure, permit easier sampling, or test limited amounts of material. There is no known means for correlating the results of tests made by different impact methods or procedures.

5. Significance and Use

5.1 Plastics are viscoelastic and therefore are likely to be sensitive to changes in velocity of the mass falling on their surfaces. However, the velocity of a free-falling object is a function of the square root of the drop height. A change of a factor of two in the drop height will cause a change of only 1.4 in velocity. Hagan et al (2) found that the mean-failure energy of sheeting was constant at drop heights between 0.30 and 1.4 m. This suggests that a constant mass-variable height method will give the same results as the constant height-variable mass technique. On the other hand, different materials respond differently to changes in the velocity of impact. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method is to be used for those materials that are found to be rate-sensitive in the range of velocities encountered in falling-weight types of impact tests.

5.2 The test geometry FA causes a moderate level of stress concentration and can be used for most plastics.

5.3 Geometry FB causes a greater stress concentration and results in failure of tough or thick specimens that do not fail with Geometry FA (3). This approach can produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC is to be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

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

⁴ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

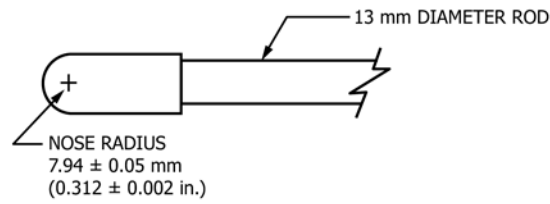


FIG. 1 (a)

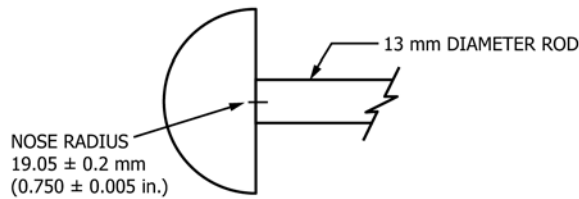
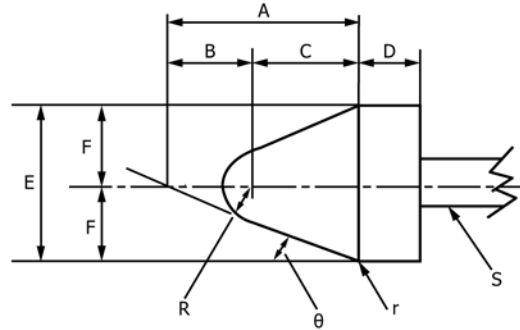


FIG. 1 (c)

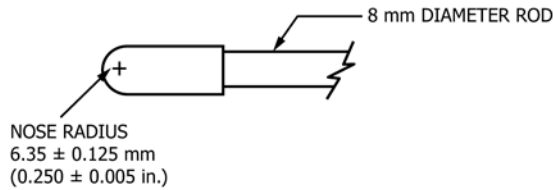


FIG. 1 (d)

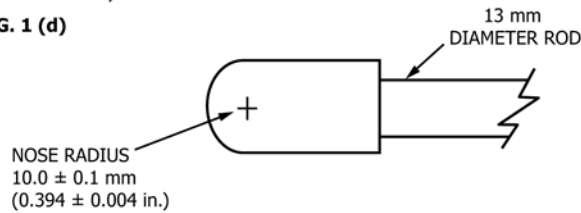


FIG. 1 (e)

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) ⁴	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

⁴ Larger diameter shafts shall be used.

FIG. 1 Top Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

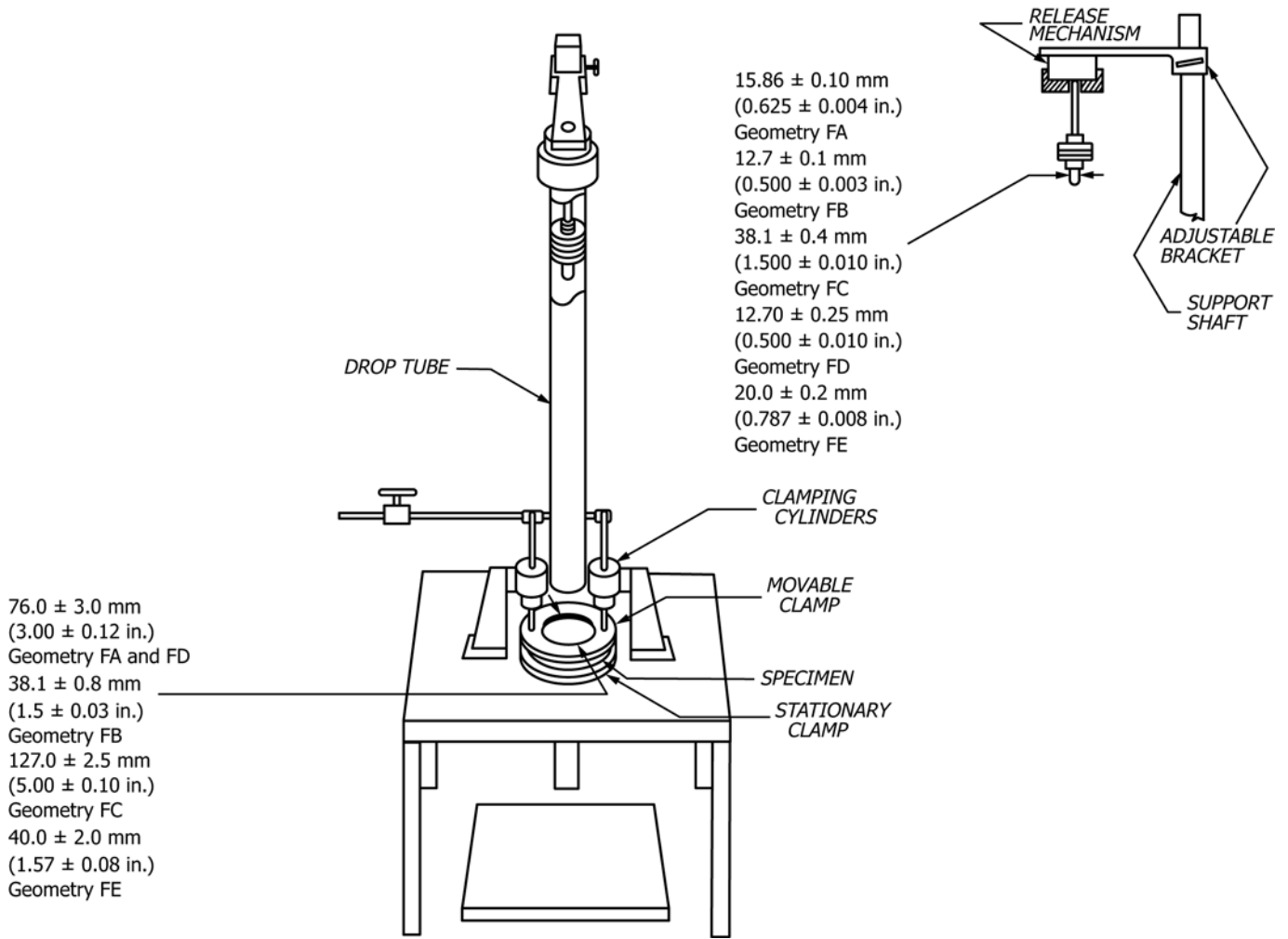


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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).

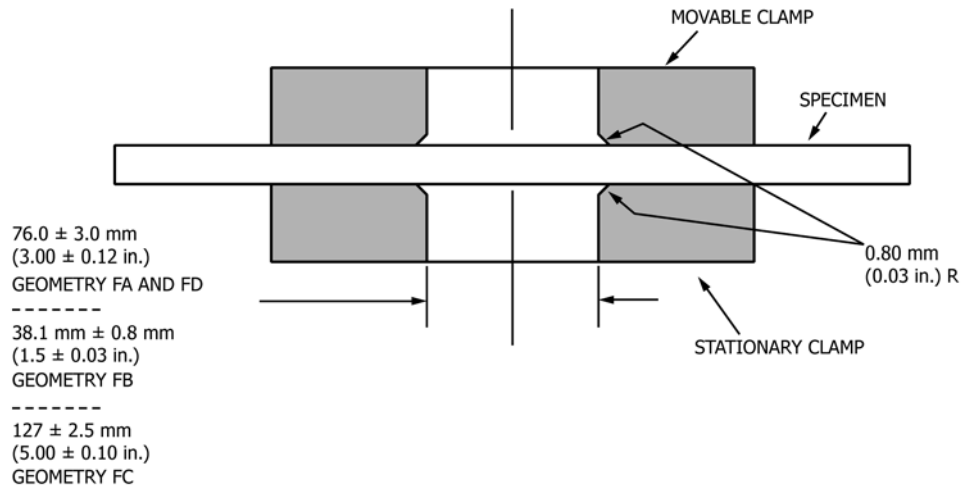


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

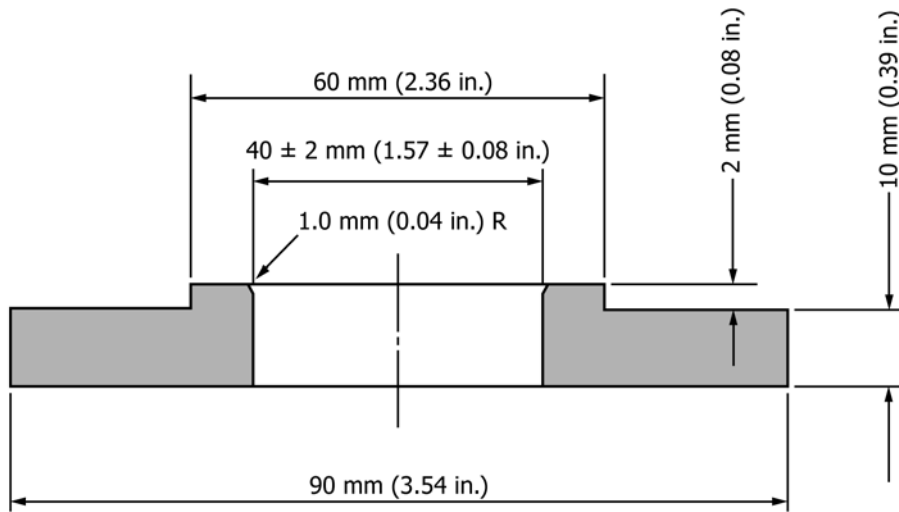


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Tup Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 ± 0.10 (0.625 ± 0.004)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FB	12.7 ± 0.1 (0.500 ± 0.003)	38.1 ± 0.8 (1.5 ± 0.03)
FC	38.1 ± 0.4 (1.5 ± 0.010)	127.0 ± 2.5 (5.00 ± 0.10)
FD	12.70 ± 0.25 (0.500 ± 0.010)	76.0 ± 3.0 (3.00 ± 0.12)
FE	20.0 ± 0.2 (0.787 ± 0.008)	40.0 ± 2.0 (1.57 ± 0.08)

7.2.2 The tup used in Geometry FB shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The head shall have a diameter of 12.7 ± 0.1 mm (0.500 ± 0.003 in.) with a conical (50° included angle) configuration such that the conical surface is tangent to the hemispherical nose. A 6.4-mm (0.25-in.) diameter shaft is satisfactory (see Fig. 1(b) and Table 1).

7.2.3 The tup used for Geometry FC shall be made of tool steel hardened to 54 HRC or harder. The hemispherical head shall have a diameter of 38.1 ± 0.4 mm (1.5 ± 0.015 in.). A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25 -mm (0.500 ± 0.010 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 ± 0.2 -mm (0.787 ± 0.008 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13

TABLE 2 Minimum Size of Specimen

Geometry	Specimen Diameter, mm (in.)	Square Specimen, mm (in.)
FA	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FB	51 (2.0)	51 by 51 (2.0 by 2.0)
FC	140 (5.5)	140 by 140 (5.5 by 5.5)
FD	89 (3.5)	89 by 89 (3.5 by 3.5)
FE	58 (2.3)	58 by 58 (2.3 by 2.3)

mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(e) and Table 1).

7.2.6 The tup head shall be free of nicks, scratches, or other surface irregularities.

7.3 *Masses*—Cylindrical steel masses are required that have a center hole into which the tup shaft will fit. A variety of masses are needed if different materials or thicknesses are to be tested. The optimal increments in tup mass range from 10 g or less for materials of low impact resistance, to 1 kg or higher for materials of high impact resistance.

7.4 *Micrometer*—Apparatus for measuring the width and thickness of the test specimen shall comply with the requirements of Test Methods D5947.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of $\pm 1\%$.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Sample the material to meet the requirements of Section 14.

10. Test Specimens

10.1 Flat test specimens shall be large enough so that they can be clamped firmly if clamping is desirable. See Table 2 for the minimum size of specimen that can be used for each test geometry.

10.2 The thickness of any specimen in a sample shall not differ by more than 5% from the average specimen thickness of that sample. However, if variations greater than 5% are unavoidable in a sample that is obtained from parts, the data shall not be used for referee purposes. For compliance with

ISO 6603-1 the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens shall be used to determine the appropriate starting point of the test. For compliance with ISO 6603-1 a minimum of 30 specimens must be tested.

10.4 Carefully examine the specimen visually to ensure that samples are free of cracks or other obvious imperfections or damages, unless these imperfections constitute variables under study. Samples known to be defective shall not be tested for specification purposes. Production parts, however, shall be tested in the as-received condition to determine conformance to specified standards.

10.5 Select a suitable method for making the specimen that will not affect the impact resistance of the material.

10.6 Specimens range from having flat smooth surfaces on both sides, being textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, by contract or relevant ASTM material specification, condition the test specimens in accordance with Procedure A of Practice D618, for those tests where conditioning is required. Temperature and humidity tolerances shall be in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification. For compliance with ISO requirements, the specimens must be conditioned for a minimum of 16 h prior to testing or post conditioning in accordance with ISO 291, unless the period of conditioning is stated in the relevant ISO specification for the material.

11.1.1 Note that for some hygroscopic materials, such as polyamides, the material specifications (for example, Classification System D6779) call for testing “dry as-molded specimens”. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50% RH and require sealing the specimens in water vapor-impermeable containers as soon as molded and not removing them until ready for testing.

11.2 Conduct tests at the same temperature and humidity used for conditioning with tolerances in accordance with Section 7 of Practice D618, unless otherwise specified by contract or relevant ASTM material specification.

11.3 When testing is desired at temperatures other than 23°C, transfer the materials to the desired test temperature within 30 min, preferably immediately, after completion of the preconditioning. Hold the specimens at the test temperature for

no more than 5 h prior to test, and, in no case, for less than the time required to ensure thermal equilibrium in accordance with Section 10 of Test Method **D618**.

12. Procedure

12.1 Determine the number of specimens for each sample to be tested, as specified in **10.3**.

12.2 Mark the specimens and condition as specified in **11.1**.

12.3 Prepare the test apparatus for the geometry (FA, FB, FC, FD, FE) selected.

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact. In the case of injection molded specimens, it is sufficient to measure and record thickness for one specimen when it has been previously demonstrated that the thickness does not vary by more than 5 %.

12.5 Choose a specimen at random from the sample.

12.6 Clamp or position the specimen. The same surface or area shall be the target each time (see **6.2**). When clamping is employed, the force shall be sufficient to prevent motion of the clamped portion of the specimen when the tup strikes.

12.7 Unless otherwise specified, initially position the tup 0.660 ± 0.008 m (26.0 ± 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.),
- $A = \sum_{i=1}^k in_i$,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (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:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \text{ or} \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:

- s_w = estimated standard deviation, mass, kg
- s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B = \sum_{i=0}^k i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is < 0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

$$S_w = Gs_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h = Gs_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

where:

- s_h = estimated standard deviation of the mean height, mm,
- s_w = estimated standard deviation of the mean mass, kg, and

G = factor that is a function of s/d (see Appendix X2).

A sample computation of s_w is found in Appendix X1.

NOTE 7—For values of G at other levels of s/d , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_h w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

where:

- S_{MFE} = estimated standard deviation of the mean-failure energy.

14. Report

14.1 Report the following information:

14.1.1 Complete identification of the sample tested, including type of material, source, manufacturer's code, form, principal dimensions, and previous history,

14.1.2 Method of preparation of specimens,

14.1.3 Whether surface of the specimen is smooth or textured, the level of and type of texture if known, and whether texture is on only one or both surfaces,

TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^a	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^a	11.8	14.9	42.2

^a Data generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

$r = 2.83 V_r$.

14.1.4 If the specimen is textured, report whether textured surface faces upward towards the dart or downward away from the dart,

14.1.5 Means of clamping, if any,

14.1.6 Statement of geometry (FA, FB, FC, FD, FE) and procedure used—constant mass or constant height,

14.1.7 Thickness of specimens tested (average and range).

14.1.8 Number of test specimens employed to determine the mean failure height or mass,

14.1.9 Mean-failure energy,

14.1.10 Types of failure, for example: (a) crack or cracks on one surface only (the plaque could still hold water), (b) cracks that penetrate the entire thickness (water would probably penetrate through the plaque), (c) brittle shatter (the plaque is in several pieces after impact), or (d) ductile failure (the plaque is penetrated by a blunt tear). Report other observed deformation due to impact, whether the specimens fail or not,

14.1.11 If atypical deformation for any specimen within a sample for that material is observed, note the assignable cause, if known,

14.1.12 Date of test and operator's identification,

14.1.13 Test temperature,

14.1.14 In no case shall results obtained with arbitrary geometries differing from those contained in these test methods be reported as values obtained by this test method (D5628), and

14.1.15 The test method number and published/revision date.

15. Precision and Bias

15.1 *Precision*—The repeatability standard deviation has been determined as shown in Tables 3 and 4. Tables 3 and 4 are based on a round robin⁵ conducted in 1972 involving three materials tested by six laboratories. Data from only four laboratories were used in calculating the values in these tables. Each test result was the mean of multiple individual determinations (Bruceton Staircase Procedure). Each laboratory obtained one test result for a material.

NOTE 8—The number of laboratories participating in the 1972 round robin and the number of results collected do not meet the minimum requirements of Practice E691. Data in Tables 3 and 4 should be used only for guidance, and not as a referee when there is a dispute between users of this test method.

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, <i>J</i>	Values Expressed as Percent of the Mean	
		<i>V_r</i>	<i>r</i>
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
r = 2.83 *V_r*.

15.1.1 *Polymethylmethacrylate (PMMA)*—Specimens were cut from samples of 3.18-mm (0.125-in.) thickness extruded sheet.

15.1.2 *Styrene-Butadiene (SB)*—Specimens were cut from samples of 2.54-mm (0.100-in.) thickness extruded sheet.

15.1.3 *Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS)*—Specimens were cut from samples of 2.64-mm (0.104-in.) thickness extruded sheet.

15.2 Attempts to develop a full precision and bias statement for this test method have not been successful. For this reason, data on precision and bias cannot be given. Because this test method does not contain a round-robin-based numerical precision and bias statement, it shall not be used as a referee test method in case of dispute. It is recommended that anyone wishing to participate in the development of precision and bias data contact the Chairman, Subcommittee D20.00 (Section 20.00.00), ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.”

16. Keywords

16.1 dart impact; falling-mass impact; impact; impact resistance; mean-failure energy; mean-failure height; mean-failure mass; rigid plastic; tup

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

X1.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in₁</i>	<i>i²n₁</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X				X		X						4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O							O		O	0	5				
											Totals		9	11		9	6	8								
													(<i>N_g</i>)	(<i>N_o</i>)		(<i>N</i>)	(<i>A</i>)	(<i>B</i>)								

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00(6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 1.620 (1.00) [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$

TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, “The Up-and-Down Method with Small Samples,” *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262–277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., “Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet,” *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) “Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts,” *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., “Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles,” *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285–291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10–22 and 10–23.

SUMMARY OF CHANGES

Committee D20 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (D5628 - 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/