



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:

“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”

AUTOR: César Marcelo Cunalata Caiza

TUTOR: Ing. Mg. Juan Gilberto Paredes Salinas

AMBATO – ECUADOR

Octubre - 2020

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA, REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ”** elaborado por el Sr. César Marcelo Cunalata Caiza, portador de la cédula de ciudadanía: 0603969395, egresado 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, Octubre 2020



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

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, César Marcelo Cunalata Caiza, con C.I. 0603969395 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA, REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ”** 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, octubre 2020



.....
César Marcelo Cunalata Caiza

C.I.: 0603969395

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, octubre 2020



.....
César Marcelo Cunalata Caiza

C.I.: 0603969395

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del trabajo experimental, realizado por el estudiante César Marcelo Cunalata Caiza de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON METODOLOGÍA DE SUPERFICIES DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN, FLEXIÓN E IMPACTO DEL MATERIAL HÍBRIDO DE MATRIZ EPÓXICA, REFORZADA CON FIBRA DE VIDRIO Y ABACÁ”**.

Ambato, octubre 2020

Para constancia firman:



Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas
Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Wilson Henry Vaca Ortega
Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

A mi padres, Cesítar y Rosita, quienes me han apoyado toda mi vida y han sembrado en mis valores para ser una persona de bien demostrándome desde muy corta edad que sin lucha no hay gloria, premisa que me ha motivado a seguir mejorando y a lograr mis metas.

A mis hermanos Alex, Patricio y Dome por haberme acompañado a lo largo de este viaje siempre con su apoyo, sabiduría y cariño incondicional siendo parte esencial de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A mis padres quienes con esfuerzo y sacrificio fueron pilares fundamentales para el logro de este objetivo y sin ellos nada de esto habría sido posible

Al Ing. Mg. Juan Paredes, por haber compartido sus conocimientos para el desarrollo de este trabajo experimental mostrando paciencia y dedicación para la culminación de la misma.

A la Universidad Técnica de Ambato por abrirme sus puertas para ser un profesional cuando otras universidades me las cerraron.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y personal de servicio quienes aportaron amablemente con su granito de arena para mi formación profesional.

Al centro de Investigaciones de la Fuerza Aérea Ecuatoriana por permitirme hacer uso de sus instalaciones y equipos que fueron indispensables para el desarrollo de este trabajo experimental.

Y a todas las personas que estuvieron a mi lado e hicieron esto posible, GRACIAS DE TODO CORAZÓN

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

PÁGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN EJECUTIVO	xv
EXECUTIVE SUMMARY	xvi
CAPÍTULO I	17
1. MARCO TEÓRICO	17
1.1. Antecedentes Investigativos	17
1.2. Objetivos	20
1.2.1. Objetivo General	20
1.2.2. Objetivos Específicos	20
1.3. Fundamentación Teórica	21
1.3.1. Los Materiales, Ciencia e Ingeniería	21
1.3.2. Material Híbrido	21
1.3.3. Material Compuesto	22
1.3.3.1. Clasificación de Materiales Compuestos	22
1.3.4. Componentes de un Material Compuesto	23
1.3.5. Matrices Poliméricas	24
1.3.5.1. Termoestables	25
1.3.5.2. Termoplásticos	25
1.3.5.3. Elastómeros	26
1.3.6. Resina Epoxi	26
1.3.6.1. Clases de Resina Epoxi	26
1.3.6.2. Aplicaciones de la Resina Epoxi	27
1.3.7. Fibras de Refuerzo	28

1.3.7.1.	Fibra de Vidrio.....	29
1.3.7.2.	Fibra de Abacá.....	30
1.3.8.	Factores Considerados en la Creación del Material Híbrido.....	31
1.3.9.	Tejido de Fibras Naturales.....	33
1.3.9.1.	Tejido Plano.....	34
1.3.10.	Regla de las Mezclas Para Materiales Compuestos Reforzados con Fibras	35
1.3.11.	Proceso de Formado de Materiales Compuestos.....	35
1.3.11.1.	Estratificación de Materiales Compuestos al Vacío	36
1.3.12.	Diseño de Experimentos (DOE).....	37
1.3.12.1.	Selección del Diseño Experimental	38
1.3.13.	Metodología de Superficies de Respuesta (MSR).....	39
1.3.14.	Supuestos Paramétricos	41
1.3.14.1.	Normalidad	41
1.3.14.2.	Igualdad de Varianzas.....	41
1.3.14.3.	Independencia de Residuos.....	41
1.3.15.	Transformación de Datos	42
1.3.16.	Función de Deseabilidad para Optimización de Respuestas	42
CAPÍTULO II		43
2.	METODOLOGÍA.....	43
2.1.	Materiales.....	43
2.2.	Métodos.....	46
2.2.1.	Nivel o Tipo de Investigación	46
2.2.1.1.	Exploratoria	46
2.2.1.2.	Descriptiva	46
2.2.1.3.	Bibliográfica	46
2.2.1.4.	Experimental.....	46
2.3.	Población y Muestra.....	47
2.3.1.	Población	47
2.3.2.	Muestra.....	47
2.3.3.	Hipótesis	49
2.3.4.	Señalamiento de Variables de la Hipótesis	49
2.3.4.1.	Variable Independiente	49
2.3.4.2.	Variable Dependiente	49
2.3.5.	Término de Relación	49

2.3.6.	Operacionalización de Variables	50
2.3.6.1.	Variable Independiente	50
2.3.6.2.	Variable Dependiente	51
2.3.7.	Diagrama de Flujo de Trabajo Experimental	52
2.3.7.1.	Adquisición de Materia Prima	54
2.3.7.2.	Determinación de Propiedades Físicas	54
2.3.7.3.	Determinación de Cantidad de Matriz en Función del Peso de las Fibras.....	55
2.3.7.4.	Elaboración de Probetas.....	56
2.3.7.5.	Curado y Corte de Probetas	59
2.3.7.6.	Ensayo de Materiales	60
2.3.7.7.	Tracción	60
2.3.7.8.	Flexión	62
2.3.7.9.	Impacto	64
	CAPÍTULO III.....	65
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
3.1.	Interpretación y Tabulación de resultados	65
3.2.	Análisis y Discusión de los Resultados.....	165
3.2.1.	Verificación de Supuestos	168
3.2.2.	Análisis del Esfuerzo Máximo de Tracción	170
3.2.2.1.	Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta.....	170
3.2.2.2.	Optimización de la Propiedad Esfuerzo Máximo de Tracción.....	173
3.2.3.	Análisis del Módulo de Elasticidad a la Tracción.....	174
3.2.3.1.	Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta.....	174
3.2.3.2.	Optimización de la Propiedad Módulo de Elasticidad a la Tracción	177
3.2.4.	Análisis de la Elongación	177
3.2.4.1.	Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta.....	177
3.2.4.2.	Optimización de la Propiedad Elongación.....	180
3.2.5.	Análisis del Esfuerzo Máximo a la Flexión	181
3.2.5.1.	Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta.....	181
3.2.5.2.	Optimización de la Propiedad Esfuerzo Máximo a la Flexión	184
3.2.6.	Análisis del Módulo de Elasticidad a la Flexión.....	184
3.2.6.1.	Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta.....	184
3.2.6.2.	Optimización de la Propiedad Módulo de Elasticidad a la Flexión.....	187

3.2.7.	Análisis de la Deflexión	188
3.2.7.1.	Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta.....	188
3.2.7.2.	Optimización de la Propiedad Deflexión.....	191
3.2.8.	Análisis de la Energía Media de Fallo.....	191
3.2.8.1.	Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta.....	191
3.2.8.2.	Optimización de la Propiedad Energía Media de Fallo	194
3.2.9.	Optimización Simultanea	195
3.3.	Verificación de la Hipótesis	196
CAPÍTULO IV		199
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	199
4.1.	Conclusiones	199
4.2.	Recomendaciones.....	201
BIBLIOGRAFÍA		203

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.....	21
Figura 1.2	Clasificación de los Materiales Compuestos en función de su refuerzo.	23
Figura 1.3	Componentes de un Material Compuesto.....	23
Figura 1.4	Comparación molecular de las cadenas de las tres clases de polímeros.	25
Figura 1.5	Presentaciones comerciales de la fibra de vidrio: (a) Fibra Corta, (b) Mats, (c) Tejidos, (d) Hilados, (e) Mechas.	29
Figura 1.6	Abacá: (a) Fibras, (b) Planta.....	31
Figura 1.7	Diferencias de rendimiento de Esfuerzo Máximo de Tracción de un Material Híbrido con diferentes casos de configuraciones de orientación de fibras y curado al ambiente y al horno.	32
Figura 1.8	Esfuerzo versus deformación de diferentes combinaciones y fracciones volumétricas para el Material Híbrido.	33
Figura 1.9	Esquema y componentes de un tejido.....	34
Figura 1.10	Estructura básica del Tejido Plano.	34
Figura 1.11	Proceso de fabricación de Material Compuesto utilizando Bolsa de Vacío.	37
Figura 1.12	Clasificación de los Diseños Experimentales.....	38
Figura 1.13	Representación de un Diseño Central Compuesto para 2 y 3 factores..	40
Figura 1.14	Representación de Diseño de Box-Behnken para tres factores.	40
Figura 1.15	Grafica de Orden vs Residuos: (a) no cumple con la Independencia, (b) se cumple la Independencia.	42

Figura 2.1	Diagrama de flujo del trabajo experimental.	53
Figura 2.2	Experimento gravitatorio del tejido de fibra natural.	55
Figura 2.3	Máquina Universal para Ensayos a Tracción INSTRON.	60
Figura 2.4	Máquina de Ensayos Universales a Flexión MTS.	62
Figura 3.1	Diagrama de flujo análisis de resultados	165
Figura 3.2	Gráfica de efectos principales del Esfuerzo Máximo a la Tracción.	172
Figura 3.3	Gráfica de interacción del Esfuerzo Máximo a la Tracción.	172
Figura 3.4	Gráfica de superficie del Esfuerzo Máximo a la Tracción.	173
Figura 3.5	Gráfica de efectos principales del Módulo de Elasticidad a la Tracción.	175
Figura 3.6	Gráfica de interacción del Módulo de Elasticidad a la Tracción.	176
Figura 3.7	Gráfica de superficie del Módulo de Elasticidad a la Tracción.	176
Figura 3.8	Gráfica de efectos principales de la Elongación.	179
Figura 3.9	Gráfica de interacción de la Elongación.	179
Figura 3.10	Gráfica de superficie de la Elongación.	180
Figura 3.11	Gráfica de efectos principales del Esfuerzo Máximo a la Flexión.	182
Figura 3.12	Gráfica de interacción del Esfuerzo Máximo a la Flexión.	183
Figura 3.13	Gráfica de superficie del Esfuerzo Máximo a la Flexión.	183
Figura 3.14	Gráfica de efectos principales Módulo de Elasticidad a la Flexión. ...	186
Figura 3.15	Gráfica de interacción del Módulo de Elasticidad a la Flexión.	186
Figura 3.16	Gráfica de superficie del Módulo de Elasticidad a la Flexión.	187
Figura 3.17	Gráfica de efectos principales de la Deflexión.	189
Figura 3.18	Gráfica de interacción de la Deflexión.	190
Figura 3.19	Gráfica de superficie de la Deflexión.	190
Figura 3.20	Gráfica de efectos principales de la Energía Media de Fallo.	193
Figura 3.21	Gráfica de interacción de la Energía Media de Fallo.	193
Figura 3.22	Gráfica de superficie de la Energía Media de Fallo.	194
Figura 3.23	Gráfica de optimización simultánea.	195

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Clasificación de Matrices Poliméricas.....	24
Tabla 1.2	Propiedades de Matrices Poliméricas.....	27
Tabla 1.3	Propiedades de diferentes tipos de Fibra de Vidrio.	30
Tabla 1.4	Propiedades de Fibras Naturales.	31
Tabla 1.5	Matriz de Ponderación para la selección del Diseño Experimental.....	38
Tabla 2.1	Descripción de materiales para la elaboración del material híbrido.	43
Tabla 2.2	Factores y niveles del experimento	47
Tabla 2.3	Matriz de Diseño Experimental de Box-Behnken.	47
Tabla 2.4	Variable Independiente.	50
Tabla 2.5	Variable Dependiente.....	51
Tabla 2.6	Densidad del tejido de fibras naturales.	54
Tabla 2.7	Cantidades de resina y endurecedor.....	56
Tabla 2.8	Proceso para elaboración de probetas.	56
Tabla 2.9	Proceso de corte y curado de probetas.....	59
Tabla 3.1	Ficha técnica del material híbrido, caso 1 a tracción	66
Tabla 3.2	Ficha técnica del material híbrido, caso 2 a tracción	68
Tabla 3.3	Ficha técnica del material híbrido, caso 3 a tracción	71
Tabla 3.4	Ficha técnica del material híbrido, caso 4 a tracción	73
Tabla 3.5	Ficha técnica del material híbrido, caso 5 a tracción	76
Tabla 3.6	Ficha técnica del material híbrido, caso 6 a tracción	78
Tabla 3.7	Ficha técnica del material híbrido, caso 7 a tracción	81
Tabla 3.8	Ficha técnica del material híbrido, caso 8 a tracción	83
Tabla 3.9	Ficha técnica del material híbrido, caso 9 a tracción	86
Tabla 3.10	Ficha técnica del material híbrido, caso 10 a tracción	88
Tabla 3.11	Ficha técnica del material híbrido, caso 11 a tracción	91
Tabla 3.12	Ficha técnica del material híbrido, caso 12 a tracción	93
Tabla 3.13	Ficha técnica del material híbrido, caso 13 a tracción	96
Tabla 3.14	Ficha técnica del material híbrido, caso 14 a tracción	98
Tabla 3.15	Ficha técnica del material híbrido, caso 15 a tracción	101
Tabla 3.16	Ficha técnica del material híbrido, caso 1 a flexión.....	104
Tabla 3.17	Ficha técnica del material híbrido, caso 2 a flexión.....	106
Tabla 3.18	Ficha técnica del material híbrido, caso 3 a flexión.....	109
Tabla 3.19	Ficha técnica del material híbrido, caso 4 a flexión.....	111
Tabla 3.20	Ficha técnica del material híbrido, caso 5 a flexión.....	114
Tabla 3.21	Ficha técnica del material híbrido, caso 6 a flexión.....	116
Tabla 3.22	Ficha técnica del material híbrido, caso 7 a flexión.....	119
Tabla 3.23	Ficha técnica del material híbrido, caso 8 a flexión.....	121
Tabla 3.24	Ficha técnica del material híbrido, caso 9 a flexión.....	124
Tabla 3.25	Ficha técnica del material híbrido, caso 10 a flexión.....	126
Tabla 3.26	Ficha técnica del material híbrido, caso 11 a flexión.....	129

Tabla 3.27	Ficha técnica del material híbrido, caso 12 a flexión.....	131
Tabla 3.28	Ficha técnica del material híbrido, caso 13 a flexión.....	134
Tabla 3.29	Ficha técnica del material híbrido, caso 14 a flexión.....	136
Tabla 3.30	Ficha técnica del material híbrido, caso 15 a flexión.....	139
Tabla 3.31	Ficha técnica del material híbrido, caso 1 a impacto	142
Tabla 3.32	Ficha técnica del material híbrido, caso 2 a impacto	143
Tabla 3.33	Ficha técnica del material híbrido, caso 3 a impacto	145
Tabla 3.34	Ficha técnica del material híbrido, caso 4 a impacto	146
Tabla 3.35	Ficha técnica del material híbrido, caso 5 a impacto	148
Tabla 3.36	Ficha técnica del material híbrido, caso 6 a impacto	149
Tabla 3.37	Ficha técnica del material híbrido, caso 7 a impacto	151
Tabla 3.38	Ficha técnica del material híbrido, caso 8 a impacto	152
Tabla 3.39	Ficha técnica del material híbrido, caso 9 a impacto	154
Tabla 3.40	Ficha técnica del material híbrido, caso 10 a impacto	155
Tabla 3.41	Ficha técnica del material híbrido, caso 11 a impacto	157
Tabla 3.42	Ficha técnica del material híbrido, caso 12 a impacto	158
Tabla 3.43	Ficha técnica del material híbrido, caso 13 a impacto	160
Tabla 3.44	Ficha técnica del material híbrido, caso 14 a impacto	161
Tabla 3.45	Ficha técnica del material híbrido, caso 15 a impacto	163
Tabla 3.46	Resultado de ensayos de tracción, flexión e impacto.....	166
Tabla 3.47	Resumen de los valores p de las propiedades mecánicas del material híbrido	169
Tabla 3.48	ANOVA del Esfuerzo Máximo a la Tracción.....	171
Tabla 3.49	Valores predichos del punto del óptimo Esfuerzo Máximo a la Tracción.	173
Tabla 3.50	ANOVA del Módulo de Elasticidad a la Tracción.	174
Tabla 3.51	Valores predichos del punto del Módulo de Elasticidad a la Tracción.	177
Tabla 3.52	ANOVA de la Elongación.	178
Tabla 3.53	Valores predichos del punto de la Elongación.....	180
Tabla 3.54	ANOVA del Esfuerzo Máximo a la Flexión.....	181
Tabla 3.55	Valores predichos del punto del Esfuerzo Máximo a la Flexión.	184
Tabla 3.56	ANOVA del Módulo de Elasticidad a la Flexión.	185
Tabla 3.57	Valores predichos del punto del Módulo de Elasticidad a la Flexión... ..	187
Tabla 3.58	ANOVA de la Deflexión.....	188
Tabla 3.59	Valores predichos del punto de la Deflexión.....	191
Tabla 3.60	ANOVA de la Energía Media de Fallo.....	192
Tabla 3.61	Valores predichos del punto de la Energía Media de Fallo.	194
Tabla 3.62	Configuración óptima del material Híbrido.	196
Tabla 3.63	Valores predichos de punto óptimo simultáneo	196
Tabla 3.64	ANOVA de la Deseabilidad.....	197

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo experimental se realizó el análisis de las propiedades mecánicas del material compuesto híbrido que tiene por refuerzo fibras naturales de abacá dispuestas en un tejido plano y fibra de vidrio en una matriz polimérica termoestable de resina epoxi, dicho material fue moldeado al vacío y posteriormente sometido a corte laser CO₂.

En el trabajo se plantea una Metodología de Superficies de Respuestas MSR con un diseño de Box-Behnken el cual establece que el mínimo de factores de entrada a considerar es tres y por cada factor tres niveles, los cuales son: Orientación del tejido de fibra natural: 0, 45, 90 grados, Espesor de la fibra de vidrio: 0, 1, 2 mm y la Temperatura de curado: 20 , 50, 80 grados centígrados, con esta configuración el diseño nos sugiere el número específico de tratamientos con diferentes configuraciones de factores y niveles, de los cuales se obtendrán datos posterior a la ejecución de los ensayos destructivos, datos que serán validados con el cumplimiento de Supuestos Paramétricos, garantizando así una alta confiabilidad en todo el proceso de análisis estadístico, consecuentemente se examinó la variabilidad ANOVA, de los datos que arroja el diseño MSR, precisando los efectos significativos y su incidencia en las propiedades mecánicas, posteriormente se complementa el análisis con la optimización de cada propiedad mecánica analizada a través de la Función de Deseabilidad

Los resultados de esta investigación determinaron que la configuración optima de los factores para aprovechar las propiedades mecánicas es: Orientación del tejido natural 0 grados, Espesor de fibra de vidrio 0,76 mm y una Temperatura de curado de 42,42 grados centígrados, el modelo de regresión del diseño MSR explica hasta el 96,69 por ciento la variabilidad de las propiedades, con un valor de Deseabilidad Global de 0,7931.

EXECUTIVE SUMMARY

In the present experimental work, the analysis of the mechanical properties of the hybrid composite material was carried out, which is reinforced by natural abaca fibers arranged in a flat weave and fiberglass in a thermostable epoxy resin polymer matrix. This material was vacuum molded and subsequently subjected to a CO₂ laser cut.

In the work, a Response Surface Methodology MSR with a Box-Behnken design is proposed which establishes that the minimum of input factors to consider is three and for each factor three levels, which are: Orientation of the tissue of natural fiber: 0, 45, 90 sexagesimal degrees, Fiberglass thickness: 0, 1, 2 mm, and the Curing temperature: 20, 50, 80 degrees Celsius. With this configuration, the design suggests a specific number of treatments with different configurations of factors and levels, from which data will be obtained after the execution of the destructive tests, data that will be validated with the fulfillment of parametric assumptions, thus guaranteeing high reliability throughout the statistical analysis process, consequently the variability ANOVA of the data provided by the MSR design was examined, specifying the significant effects and their incidence on the mechanical properties, later the analysis is complemented with the optimization of each mechanical property analyzed through the desirability function.

The results of this investigation determined that the optimal configuration of the factors to take advantage of the mechanical properties is: Orientation of the natural fiber 0 degrees, Thickness of fiberglass 0.76 mm and a Curing temperature of 42.42 degrees Celsius, the regression model of the MSR design explains up to 96,69 per cent the variability of the properties, with an Overall Desirability value of 0,7931.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

De acuerdo con la investigación realizada por A. Bledzki, A. Mamun, O. Faruk bajo el tema “ABACA FIBRE REINFORCED PP COMPOSITES AND COMPARISON WITH JUTE AND FLAX FIBRE PP COMPOSITES” concluyen: Que en la investigación realizada en materiales compuestos de PP reforzados con fibra de abacá con diferentes cargas de fibra 20%, 30%, 40%, 50% y algunos casos, 35% y 45% en peso y fibras de lino y yute con cargas de fibra de hasta el 30% en peso, en donde se evalúan propiedades mecánicas, estructurales y emisión de olores, se descubrió que en las resistencias a la tracción, flexión e impacto Charpy aumentaron para cargas de fibra de hasta 40% en peso y después descendieron, se demostró también que los compuestos con refuerzo de fibra de abacá brindan propiedades superiores en pruebas de caída de peso e impacto Charpy. [1]

En la investigación realizada por J. Paredes, C. Pérez y C. Castro bajo el tema “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO 375 Y CABUYA APLICADO A LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ” donde se obtiene el material híbrido compuesto denominado FL-30% con las siguientes características: 2 capas de fibra de vidrio (FV) y 1 capa de fibra de cabuya (FC) en el siguiente orden FV+FC+FV el cual demuestra un comportamiento mecánico esfuerzo deformación 7,7% mayor al material comúnmente utilizado conformado de resina poliéster + 3 capas de FV, se encontró una equilibrada adherencia microestructural matriz refuerzo mediante microscopía de barrido, los resultados del material FL-30% fueron evaluados a través del Método de Elementos Finitos. [2]

De acuerdo con la investigación realizada por I. Romli, N. Alias, S. Mohd, D. Abdul. bajo el tema “FACTORIAL STUDY ON THE TENSILE STRENGTH OF A COIR FIBER REINFORCED EPOXY COMPOSITE” En la cual se establece un diseño de experimentos Factorial evaluando tres factores que son volumen de fibra, el tiempo de curado y la carga de compresión aplicada y con un total de 18 casos de prueba para tracción y gracias al análisis de varianza en los datos obtenidos se demuestra que la fracción de volumen de fibra de coco y el efecto de interacción entre el tiempo de curado, son los factores más importantes para la resistencia a la tracción del material compuesto y que por otra parte la carga de compresión aplicada es insignificante. [3]

De acuerdo con la investigación de H. Erazo de la Universidad Técnica de Ambato bajo el tema “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” en la cual se establece la optimización de propiedades mecánicas de un material híbrido a través de una Metodología de Análisis Estadístico, analizando como factores de entrada la configuración y el tipo de secado siendo el resultado de esta investigación que la configuración óptima para aprovechar las propiedades mecánicas es: 20% FV+ 7.75% FAb (45°) + 2.25% FAI (135°) con secado al horno con un valor de deseabilidad global de 0.825; además que el modelo de regresión factorial explica hasta el 95.72% la variabilidad de las propiedades. [4]

De acuerdo con la investigación realizada por A. Aggarwal, H. Singh, P. Kumar, M. Singh bajo el tema “OPTIMIZING POWER CONSUMPTION FOR CNC TURNED PARTS USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY AND TAGUCHI'S TECHNIQUE—A COMPARATIVE ANALYSIS” En donde se realiza un análisis comparativo entre la técnica de Superficies de Respuesta y Taguchi, para conocer los efectos de la velocidad de corte, velocidad de avance, la profundidad de corte, el radio de la punta, y el entorno de corte en el torneado CNC en el consumo de potencial energético. En donde la técnica de Superficies de Respuesta y Taguchi revelaron que el factor más representativo es un ambiente criogénico, para minimizar el consumo energético, mientras que el radio de la punta y la velocidad de avance no son

significantes frente a otros factores, esta investigación también se afirma que ambas técnicas brindaron resultados similares sin embargo la técnica de Superficies de Respuesta parece tener ventaja sobre la técnica de Taguchi. [5]

De acuerdo con la investigación realizada por R. Ramanujam, R. Raju bajo el tema “TAGUCHI MULTY-MACHINING CHARACTERISTICS OPTIMIZATION IN TURNING OF AL1-5% SICP COMPOSITES USING DESIRABILITY FUNCION ANALYSIS” en la cual establecen la optimización de los parámetros de mecanizado a través de una metodología denominada Análisis de la Función de Deseabilidad, analizando parámetros de mecanizado, como la velocidad de corte, la velocidad de avance y la profundidad de corte, se optimizan con múltiples consideraciones de rendimiento, como la rugosidad de la superficie y el consumo de energía. Los parámetros de mecanizado óptimos se han identificado mediante un valor de Deseabilidad compuesto obtenido del análisis de la Función de Deseabilidad como el índice de rendimiento, y la contribución significativa de los parámetros se puede determinar mediante el Análisis de la Varianza, la investigación determina que bajo el enfoque de un análisis de la función de deseabilidad los resultados experimentales han probado que se puede mejorar de manera efectiva el rendimiento del mecanizado. [6]

De acuerdo con la investigación realizada por E. Agung, S.M. Sapaun, bajo el tema “OPTIMIZATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ABACA FIBRE REINFORCED HIGH IMPACT POLYSTYRENE (HIPS) COMPOSITES USING BOX-BEHNKEN DESIGN OF EXPERIMENTS” Donde se establecen coeficientes de determinación satisfactorios hasta 0.9817, utilizando la Metodología de Superficies de Respuesta y el Diseño de Experimentos de Box-Behnken para el análisis de resultados. Se establece también que factores como el tipo de matriz polimérica, el tipo y tamaño de fibras, la adhesión de matriz y fibras y los aditivos utilizados influyen en las propiedades mecánicas de los compuestos poliméricos. [7]

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Analizar estadísticamente con Metodología de Superficies de Respuestas para la optimización de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epóxica con fibra de vidrio y abacá.

1.2.2. Objetivos específicos

- Aplicar un diseño de experimentos mediante la Metodología de Superficies de Respuesta, para determinar la configuración óptima y hallar sus propiedades mecánicas.
- Determinar un número específico de probetas a realizarse para cada ensayo, bajo un diseño de Métodos de Superficie de Respuesta.
- Ejecutar los ensayos de flexión, tracción e impacto bajos las normas ASTM D7264, ASTM D3039 y ASTM D5628 respectivamente.
- Analizar la influencia de los factores considerados en la creación del material híbrido y conocer cómo afectan o favorecen el desempeño de este.

1.3. Fundamentación Teórica

1.3.1. Los materiales, Ciencia e Ingeniería

El progreso del hombre siempre ha dependido de la mejora de los materiales con los que se trabaja, es por eso que en un mundo lleno de cambios dinámicos y durante el transcurso del tiempo la ingeniería y los materiales han evolucionado, gracias a este avance se ha logrado el diseño requerido de sistemas de elaboración para su producción y la elaboración de materiales nuevos en productos terminados, constituyendo así una parte importante de la economía actual. El principal objetivo de la ciencia e ingeniería de materiales es el conocimiento de estructuras internas, propiedades y elaboración de estos, enfocando este conocimiento fundamental en materiales de tal modo que estos puedan ser transformados y procesados en productos que la sociedad requiere. [8]

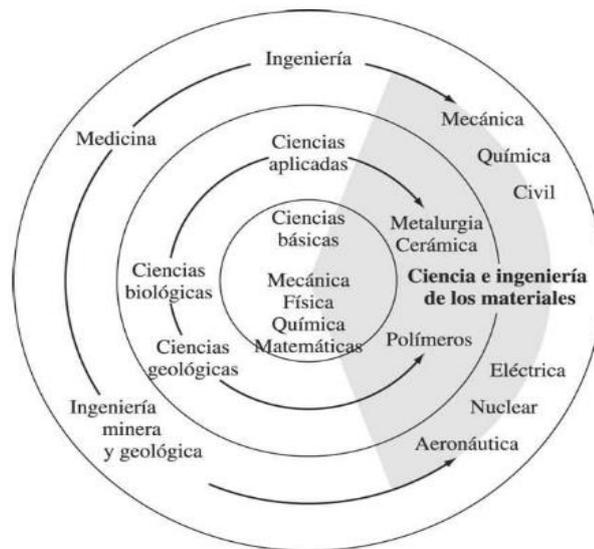


Figura 1.1 Conexión entre Ciencias Básicas y disciplinas de la Ingeniería a través de la Ciencia e Ingeniería de los Materiales.

Fuente: [8]

1.3.2. Material Híbrido

Un material híbrido es cuando dos elementos se combinan y comúnmente una parte de estos elementos es de naturaleza orgánica y la otra parte es inorgánica, donde estas partes interactúan para establecer la forma de su estructura, actualmente el rápido

crecimiento de materiales híbridos ha cobrado gran importancia a causa de la existencia de técnicas experimentales para lograr que dos elementos que a simple vista son incompatibles se hagan compatibles. [9][10]

1.3.3. Material Compuesto

Toda combinación o sistema de materiales constituida a partir de una unión no química, es decir insolubles entre sí de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo se puede definir como material compuesto, teniendo este nuevo material características y propiedades específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las dos anteriores. [11]

Este tipo de compuestos se obtienen al fusionar dos materiales, para obtener propiedades que no se puede obtener con los materiales que lo conforman inicialmente, esto origina combinaciones poco usuales de dureza, peso, resistencia, rigidez, conductividad y resistencia a la corrosión. [12]

1.3.3.1. Clasificación de Materiales Compuestos

Se los puede clasificar en base de sus componentes principales la matriz y refuerzo. [11][13]

- a. Clasificación en función de su matriz.
 - Materiales compuestos de matriz metálica: Esta clase de matriz reforzadas con partículas cerámicas o fibras metálicas proporcionan resistencia a altas temperaturas.
 - Materiales compuestos de matriz cerámica: En rangos de temperaturas bajas mejoran resistencia y tenacidad, a comparación de materiales cerámicos tradicionales.
 - Materiales compuestos de matriz polimérica: Son aquellos que están conformados por un polímero como matriz y refuerzos de fibras orgánicas o sintéticas, son materiales con buenas prestaciones mecánicas son muy resistentes a la degradación por agentes químicos y a la corrosión.

b. Clasificación en función de su refuerzo

Como se puede apreciar en la figura 1.2 la clasificación de los materiales compuestos en función de su refuerzo está de acuerdo con su forma, tamaño o por su orientación dentro de la matriz



Figura 1.2 Clasificación de los materiales compuestos en función de su refuerzo.

Fuente: [14]

1.3.4. Componentes de un Material Compuesto

Este tipo de materiales están constituidos por una fase discontinua o refuerzo y es la responsable de principal de las propiedades mecánicas y de soportar las cargas de todo el material, el refuerzo brinda algún tipo de propiedad a la matriz, la matriz o fase continua que es la responsable de la resistencia ambiental y térmica es donde quedan sumergidas las fibras y la interfaz que es el sitio donde se enlazan las fases continuas y discontinuas. [15]

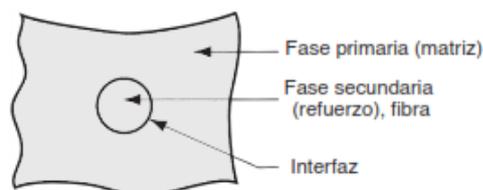


Figura 1.3 Componentes de un material compuesto.

Fuente: [16]

1.3.5. Matrices poliméricas

Los materiales compuestos, conformados por resinas poliméricas son requeridas en aplicaciones donde se requiera baja densidad, alto desempeño de trabajo a temperatura ambiente, que sean de fácil conformado. Se dividen en tres grupos termoestables termoplásticos y elastómeros, todos estos ampliamente ocupados por su variedad y versatilidad. Son livianos y económicos y tiene gran prestación para diferentes aplicaciones. [17][18]

Tabla 1.1 Clasificación de matrices poliméricas.

Resinas	Clasificación
Elastoméricas	Poliuretanos (PU) Siliconas (SI)
Termoplásticos	Polipropileno (PP) Poliámidas (PA) Policarbonato (PC) Poliésteres saturados (PET, PBT) Poliacetales (POM) Polieteretercetonas (PEEK) Polímeros fluorados (PF)
Termoestables o Termofijos	Poliésteres Insaturados (UP) Poliepóxicos (EP) Poliámidas (PI) Poliesterilpirioínas (PSP) Fenoplastos (PF)

Fuente: [16]

Los polímeros son clasificados por como sus moléculas son sintetizadas, en función de su estructura molecular y por su familia química, sin embargo, la forma más sencilla de clasificarlos es por su comportamiento térmico y mecánico.

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 Comparación molecular de las cadenas de las tres clases de polímeros.

Fuente: [12]

1.3.5.1. Termoestables

La característica que define a los materiales termoestables es que no fluyen por acción de la presión o calentamiento en altas temperaturas por el contrario se descomponen de forma irreversible perdiendo su estructura química por la acción de esta, normalmente su estructura es reticular con muchos entrecruzamientos por eso se impiden desplazamientos relativos de moléculas, su bajo peso molecular de representa una importante ventaja, ya que esto representa un fácil procedimiento de conformado de una pieza para su posterior curado. Sus fuertes enlaces cruzados de sus largas cadenas de moléculas forman complejas estructuras de redes tridimensionales, generalmente estos polímeros son más resistentes que los termoplásticos, pero son más frágiles y una vez ocurrida su formación de enlaces son difíciles de reprocesarlos y no poseen temperatura de fusión fija. [12][19]

1.3.5.2. Termoplásticos

La característica principal que gobierna a los polímeros termoplásticos es que cuando se los calienta, comienzan a suavizarse y si la temperatura alta se mantiene el polímero comienza a fluir, no obstante, cuando la temperatura baja el polímero regresa a su estado inicial convirtiéndose en un material viscoso para después solidificarse y finalmente endurecerse.

Están compuestos de largas cadenas que se forman a partir de la unión de moléculas pequeñas que comúnmente se comportan de manera dúctil y plástica, este tipo de materiales son de fácil reciclaje. [19]

1.3.5.3. Elastómeros

La principal característica de los elastómeros es que a temperatura ambiente pueden ser estirados, por lo menos, hasta dos veces su dimensión original y recuperan sus dimensiones originales una vez que se deja de aplicar fuerzas de extensión. Son materiales poliméricos entrecruzados, con una significativa distancia entre nodos lo cual permite la elasticidad, es por eso por lo que su composición química no está ligada a su elasticidad, sino a la estructura que forma el polímero. [19]

1.3.6. Resina Epoxi

Pertencen a la familia de los polímeros termoestables, debido a que estos no originan productos de reacción cuando son endurecidos (enlaces cruzados), es por ello por lo que poseen un bajo nivel de contracción al momento de su curación. Las resinas Epoxi se caracterizan por poseer buena adhesión a otros materiales, poseen buenas propiedades mecánicas, excelente resistencia química y al medio ambiente y son buenos aislantes eléctricos. [8]

1.3.6.1. Clases de resina Epoxi

Se las clasifica en función de sus elementos de reacción o aditivos presentes en la resina. [20]

- Resinas Epoxi con base de Bisfenol A

Se las puede encontrar en estado líquido, semisólido o sólidos dependiendo del peso molecular son las más utilizadas por ser versátiles y baratas, proviene de la reacción de Epiclorhidrina y Bisfenol A

- Resinas Epoxi con base de Bisfenol F y/o Novolac

Estas resinas poseen mayor entrecruzamiento por el remplazo de Bisfenol A por Bisfenol F proporcionando a la resina Epoxi y mejores comportamientos, térmicos, mecánico y químico, pero sobre todo si es curado con aminas o anhídridos.

- Resinas Epoxi flexibles

Estas resinas poseen baja reactividad razón por la cual normalmente son utilizadas como un aditivo flexibilizante reactivo en otras resinas, para mejorar la resistencia al impacto. Estas resinas poseen largas cadenas lineales sustituyendo los Bisfenoles por Poliglicoles poco ramificados.

1.3.6.2. Aplicaciones de la resina Epoxi

Este tipo resinas Epoxi son utilizadas en recubrimientos de protección y decorativos gracias a su excelente adhesión y buena resistencia química y mecánica, son utilizadas especialmente en pinturas de automóviles y recubrimientos de cables, en el área de la electricidad y electrónica se las utiliza por su resistencia dieléctrica, poseen mínima contracción durante el proceso de curado y se utilizan también para la fabricación de laminados y materiales compuestos, este tipo de resinas son el material preponderante para conformar una matriz, en una gran parte de componentes de alto desempeño como los compuestos fabricados con fibras de elevado módulo. [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 del fraguado (%)	6-10	1-3	0.5-1.5	0.1-1	0.5-0.7

Fuente: [21]

1.3.7. Fibras de Refuerzo

Los refuerzos con fibras en materiales compuestos representan comportamiento anisotrópico, esto porque algunas de sus propiedades varían dependiendo del plano o eje geométrico con el cual fueron determinados. Para conseguir que un material compuesto, presente comportamientos isotrópicos y tomando en cuenta propiedades específicas como el módulo de Young, es indispensable que el refuerzo tenga una distribución aleatoria dentro de la matriz, sean estos refuerzos fibras o partículas, pero por otro lado, esto no es fácil de conseguir por la razón de que en el proceso de fabricación del material compuesto tiende a elegirse una orientación de las fibras, de este modo se pueden orientar las fibras en la dirección en la que actuara la mayor carga aumentando así la eficiencia del esfuerzo. [22]

Los materiales compuestos reforzados con fibras, tecnológicamente hablando son los más importantes, ya que el propósito de utilizar fibras en un material compuesto es conseguir elevada rigidez y resistencia, todo esto se logra gracias a la baja densidad del compuesto es decir mejorando la relación Resistencia-Peso, estas propiedades se caracterizan mediante parámetros como el módulo específico y resistencia específica. [12] [22]

1.3.7.1. Fibra de Vidrio

La utilización de fibras de vidrio para reforzar materiales compuestos de matrices poliméricas se ve reflejado en la formación de compuestos estructurales y productos de moldeo. Una de las principales virtudes de este material son su bajo costo y buena resistencia a los químicos, mientras que, sus desventajas representan el relativamente bajo módulo de elasticidad, sensibilidad a la abrasión y alta densidad. Los materiales compuestos con base a este tipo de fibras principalmente son fabricados con vidrios tipo S (de alta resistencia), E (eléctricos), siendo los tipos S los mejores y más costosos gracias a su buena relación Resistencia-Peso. [8][23]

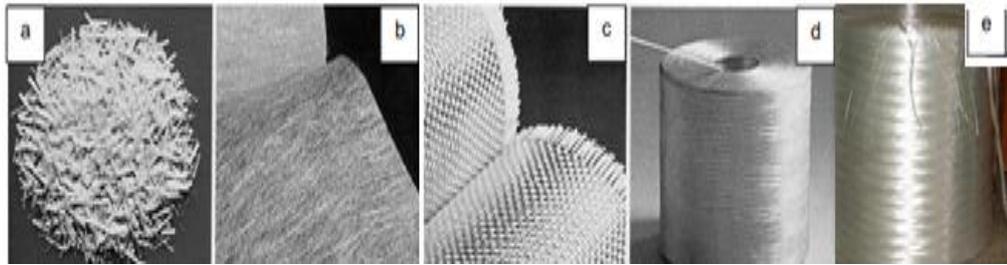


Figura 1.5 Presentaciones comerciales de la fibra de vidrio: (a) Fibra corta, (b) Mats, (c) Tejidos, (d) Hilados, (e) Mechas.

Fuente:[24]

Debido a su reducido precio y versatilidad es la fibra más utilizada como refuerzo en materiales compuestos a pesar de que posee menor resistencia y módulo de tracción, sin embargo, la fibra de vidrio posee mayor elongación. Otras características de la fibra de vidrio según [8][25] son:

- Posee buena resistencia específica (tracción/densidad) mayor a la del acero.
- Buena adherencia fibra-matriz.
- Buenas características eléctricas, aun en pequeños espesores es buen aislante eléctrico y es también permeable dieléctrico.
- Por su naturaleza mineral es un material incombustible, en presencia de calor no produce humos ni toxicidad y no propaga las llamas.

- Presenta poca sensibilidad frente a variaciones de temperatura, posee un bajo coeficiente de dilatación.
- Es compatible con la mayor parte de resinas orgánicas y puede combinarse adecuadamente y de igual manera con resinas minerales como el yeso y cemento.

Tabla 1.3 Propiedades de diferentes tipos de fibra de vidrio.

Tipo	Vidrio A	Vidrio E	Vidrio S	Vidrio R
Diámetro de filamento (μm)	5-13	10-20	10	10
Densidad (gr/cm^3)	2.5	2.54	2.48	2.59
Módulo de elasticidad (Gpa)	69	72.5	86	85
Resistencia a la tracción (Gpa)	3.1	3.4	4.59	3.4-4.4
Elongación a la rotura (%)	4.3	4.5	-	5.2

Fuente: [24]

1.3.7.2. Fibra de Abacá

El Cñamo de Manila (*Musa Textilis*), llamado así por su ciudad de origen en Filipinas o más conocido como planta de abacá es una planta herbácea perteneciente a la familia de las Musáceas, es similar a la planta de banano, sin embargo, diferente en sus usos y propiedades. Fue introducida en Ecuador en los años 40, gracias a sus condiciones climáticas tropicales. Posee un tallo delgado y espigado que está formado por las vainas que crecen a lo largo de la vida de la planta. Las vainas de la parte exterior son de menor calidad, sin embargo, al avanzar en lo profundo del tallo se encuentran fibras más claras y largas que representan la mejor calidad de fibras. [24]



Figura 1.6 Abacá: (a) Fibras, (b) Planta.

Fuente: [26]

La dureza y rigidez de las fibras de abacá dependen del contenido de lignina y como los haces de celulosa que se encuentran incrustados en está creando así una estructura, la composición química de las fibras de abacá es la siguiente: celulosa 63-68%, hemicelulosa 19-20%, lignina 5-6%, < 1 pectina, < 1 grasa y cera. [27]

Tabla 1.4 Propiedades de fibras naturales.

Fibra	Densidad (gr/cm ³)	Diámetro de filamento (μm)	Elongación (%)	Fuerza de tracción (Mpa)	Módulo de Young (Gpa)
Abacá	1.5	-	3.0-10	400	12
Banana	1.35	13.16	5.3	355	33.8
Curaua	1.4	-	3.7-4.3	500-1150	11.8
Henequen	1.4	-	3-4.7	430-580	-
PALF	1.5	20-80	1-3	170-1627	82
Sisal	1.33-1.5	7-47	2.0-3.0	400-700	9-38

Fuente: [28]

1.3.8. Factores considerados en la creación del Material Híbrido

Temperatura y Orientación

El rendimiento del material híbrido se ve notablemente afectado por la temperatura de curado y orientación de sus fibras de refuerzo, como se muestra en la Figura 1.7 donde se muestra el comportamiento el material conformado de matriz poliéster reforzado

con fibras vidrio, abacá y algodón. La temperatura de secado al ambiente y al horno muestra diferentes rendimientos frente al esfuerzo de tracción, la figura también se refiere a la orientación de las fibras naturales obteniéndose rendimientos mayores cuando la fibra está orientada en la misma dirección de la fuerza de tracción aplicada es decir a 0° siendo estos casos el 1 y 2, de la manera contraria se muestran rendimientos pobres en el caso 3 y caso 4 donde las fibras están dispuestas a 45° . [4]

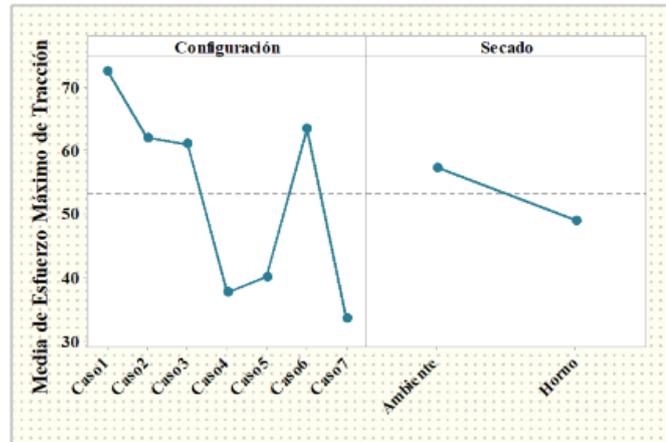


Figura 1.7 Diferencias de rendimiento de Esfuerzo Máximo de Tracción de un material híbrido con diferentes casos de configuraciones de orientación de fibras y curado al ambiente y al horno.

Fuente: [4]

Capas de refuerzo

En la investigación [2] se muestra el aporte de la utilización de capas de refuerzo frente a las propiedades mecánicas una muestra de esto es el rendimiento del esfuerzo de tracción del material que tiene por denominación FL-40% el cual está reforzado por 2 capas de fibra de vidrio y 2 capas de fibra de cabuya dicho material muestra rendimientos superiores a sus semejantes el FL-25% reforzado por 1 capa de fibra de vidrio y 1 capa de fibra de cabuya y el FL-30% reforzado por 2 capas de fibra de vidrio y 1 capa de fibra de cabuya, evidenciando que al poseer más capas de refuerzo aumentan sus prestaciones mecánicas.

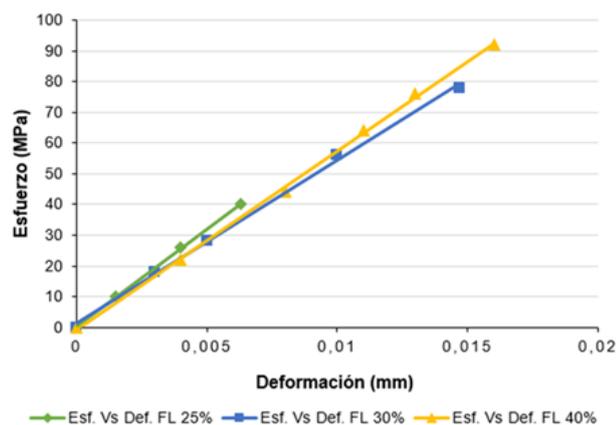


Figura 1.8 Esfuerzo versus deformación de diferentes combinaciones y fracciones volumétricas para el material híbrido.

Fuente: [2]

1.3.9. Tejido de Fibras Naturales

Los materiales fibrosos son la mejor opción para reforzar matrices poliméricas pues se ha demostrado que mientras más delgados presentan un menor número de defectos, sin embargo, la unidad estructural de la fibra no es bien aprovechada si no se encuentra en una matriz, es por eso que de la configuración de las fibras en la matriz se obtengan las propiedades mecánicas requeridas, estas configuraciones pueden ser como se dijo anteriormente fibras largas, cortas o tejidos. Sin embargo, cuando se colocan capas con direcciones perpendiculares entre si su resistencia y tenacidad a la fractura interlaminar disminuyen, defectos que pueden disminuirse al utilizar tejidos de fibras ya que presentan conformaciones más estables y mejor estructuradas. Un tejido está formado por las dos partes que lo entrelazan, una es la urdimbre con filamentos horizontales, y la trama que pasa por arriba y abajo de la urdimbre. [26]

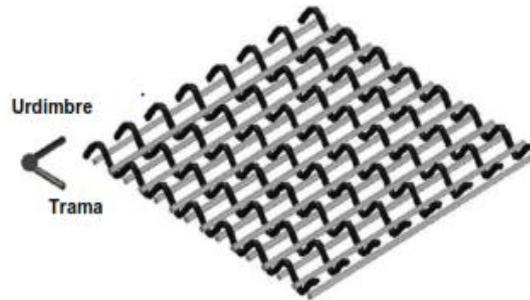


Figura 1.9 Esquema y componentes de un tejido.

Fuente: [26]

1.3.9.1. Tejido Plano

Este tipo de tejidos son los más simples de todos y están formados por filamentos intercalados, donde las fibras de la trama se abren paso de forma regular y uniforme por arriba y debajo de la urdimbre. En la primera fila la trama pasará por encima de la primera fibra de la urdimbre, debajo de la segunda, encima de la tercera y así sucesivamente, mientras que para la segunda fila las fibras de trama pasarán debajo de la primera de urdimbre, encima de la segunda, debajo de la tercera y de esta manera consecutivamente y de manera secuencial. [26]

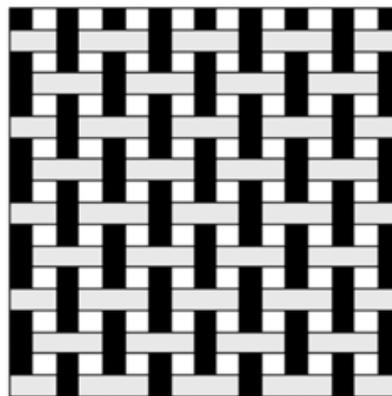


Figura 1.10 Estructura básica del tejido plano.

Fuente: [26]

1.3.10. Regla de las mezclas para Materiales Compuestos reforzados con fibras

Esta regla permite conocer la densidad de los materiales compuestos reforzados con fibras a través de la siguiente ecuación

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

Siendo los subíndices f y m los subíndices respectivos a fibra y matriz, y donde f y ρ se refieren a fracción volumétrica y densidad respectivamente, de la ecuación 1 se deduce que:

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

1.3.11. Proceso de formado de Materiales Compuestos

Un proceso adecuado de fabricación de materiales compuestos reforzados con fibras es de vital importancia ya que nos permite satisfacer los requerimientos necesarios del compuesto para una aplicación predeterminada, existen dos procesos de conformado de materiales compuestos por molde abierto y molde cerrado y un proceso complementario llamado curado. [16]

a) Molde Abierto

La principal característica del uso de este proceso de formado es el uso de una sola superficie de molde positivo o negativo para la obtención de compuestos poliméricos reforzados con fibras, los materiales se aplican en el molde acumulándolos para obtener el espesor adecuado. Existen varios procesos de molde abierto pero los principales son el aplicado manual, aplicado por aspersión, máquinas de aplicación automatizada con cinta y moldeo con bolsa. Las piezas moldeadas son generalmente grandes por ejemplo cascos para lanchas.

b) Molde cerrado

La característica principal de este método de moldeo es que consiste en dos secciones que se abren y se cierran por cada proceso de moldeo, las ventajas que brindan este tipo de moldeo son buen acabado en todas las superficies de la pieza, velocidades más altas de producción, mayor control sobre las tolerancias y la posibilidad de obtener formas complejas. Existen varios procesos de molde cerrado pero los principales son el moldeo por compresión, moldeo por transferencia y el moldeo por inyección.

c) Curado

Para todas resinas termofijas se requiere un proceso de curado, que es el encadenamiento transversal del polímero que pasa de un estado líquido o altamente plástico a un estado sólido o totalmente endurecido los parámetros involucrados en este proceso son el tiempo temperatura y presión, en varios casos se requiere de varios días para obtener un curado, pero cuando es posible se puede suministrar calor mediante un horno que suministra temperaturas controladas.

1.3.11.1. Estratificación de Materiales Compuestos al Vacío

Este proceso se utiliza para producir laminados de alto rendimiento particularmente compuestos de matriz epoxi con refuerzos de fibras y consiste en someter a presión al laminado durante el proceso de curado para eliminar las burbujas de aire que se forman en la combinación de materiales ayuda también en la compactación de las capas de refuerzo y evita que la orientación del refuerzo se modifique durante el curado antes de la cristalización del laminado desarrollando mejores condiciones mecánicas en el material, los compuestos que se producen bajo este método son de aplicación aeronáutica y aeroespacial, los distintos pasos que se utilizan para conformar una pieza son impregnar las fibras con la matriz estos pliegues se colocan unos sobre otros en distintas direcciones para obtener el patrón de resistencia deseado para posteriormente enfundar el compuesto y aplicar la depresión de vacío.[8]

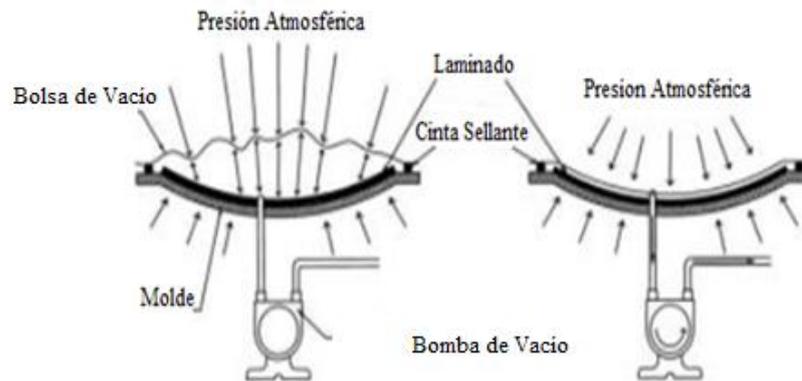


Figura 1.11 Proceso de fabricación de material compuesto utilizando Bolsa de Vacío.

Fuente: [25]

1.3.12. Diseño de Experimentos (DOE)

Es muy común que se experimente basándose en a prueba y error apelando a la experiencia e intuición, en vez de recurrir a un plan experimental adecuado que asegure respuestas confiables a interrogantes planteadas, sin embargo, en situaciones más complejas no es suficiente aplicar este tipo de experimentación. Un diseño estadístico de experimentos permite hacer pruebas de manera más eficaz, determinando las pruebas deben realizarse y como ejecutarlas, para la obtención de datos para analizarlos estadísticamente y que brinden evidencias claras que respondan nuestras interrogantes planteadas.

El diseño y análisis nos permite resolver ciertos problemas como:

- Comparar materiales entre si con la finalidad de elegir el mejor
- Comparar precisión y exactitud de varios instrumentos
- Determinar los principales factores que inciden sobre las características sobre un producto final
- Establecer condiciones de operación optima que reduzcan defectos, mejorando el desempeño de un proceso

Los Diseños de Experimentos en investigación se clasifican de acuerdo con el objetivo que se pretende alcanzar y dentro de cada subsección de acuerdo con el número de factores el tipo de efectos a tomar en cuenta y las restricciones existentes. [29]

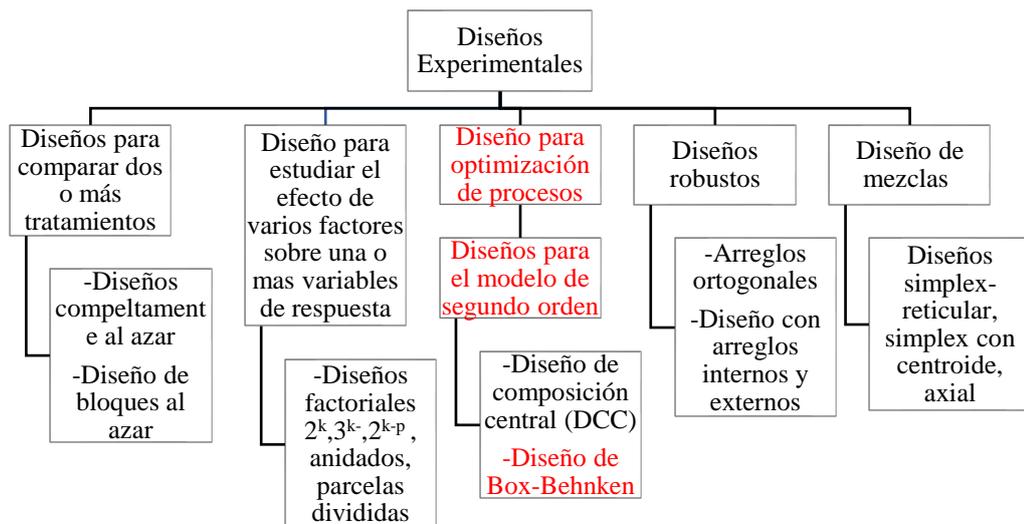


Figura 1.12 Clasificación de los diseños experimentales.

Fuente: [29]

1.3.12.1. Selección del Diseño Experimental

Para la selección del Diseño Experimental se han estimado como alternativas un diseño factorial, DCC y un diseño de Box-Behnken ya que estos permiten la optimización de respuestas con la Función de Deseabilidad. Los criterios expuestos en la Tabla 1.5 no son independientes entre sí, pero es vital marcarlos de manera separada ya que al variar cada criterio el diseño experimental generalmente cambia. [29]

Tabla 1.5 Matriz de ponderación para la selección del Diseño Experimental.

Criterios	Factor de ponderación	Diseños experimentales					
		Diseño factorial		Diseño central compuesto		Diseño de Box-Behnken	
Objeto del experimento	0,35	5	1,75	5	1,75	5	1,75
Número de factores	0,1	5	0,5	5	0,5	5	0,5
Niveles por factor	0,1	3	0,3	5	0,5	3	0,3
Relación factor respuesta	0,30	3	0,9	5	1,5	5	1,5
Costo, tiempo, precisión	0,15	3	0,45	1	0,15	5	0,75
Total	1	3,9		4,4		4,8	

Fuente: Autor

1.3.13. Metodología de Superficies de Respuesta (MSR)

La Metodología de Superficies de Respuesta, desde sus orígenes ha tenido y sigue teniendo una gran aplicación en la investigación industrial. En términos generales, la MSR inicialmente utilizada en el estudio de sistemas donde están implicados gran cantidad de variables, tiene como uno de los propósitos más importantes el descubrimiento de cómo influye en una de sus variables, conocida como respuesta, y no solo pretende conocer si existe o no una influencia, sino también el modo cómo influye. Es decir, la especificación de la función de respuesta que se genera. Por otra parte, el sistema contiene un número de variables input o “Variables Independientes” que no sólo actúan sobre la variable de respuesta, sino que se hallan bajo el control del experimentador. [30]

Entre las características específicas más relevantes, han de tenerse en cuenta las siguientes, mediante las técnicas de análisis de Superficie de Respuesta se pretende alcanzar un óptimo en la respuesta existen dos tipos principales de diseños de superficies de respuesta. Los métodos de superficie de respuesta son polinomios de primer y segundo orden siendo el modelo de primer orden el que posee k factores y queda expresado de la siguiente manera. [29]

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \epsilon \quad \text{Ec. 1- 3}$$

Para un análisis en segundo orden generalmente se utilizan diseños de Box-Behnken y el diseño central compuesto, el polinomio de segundo orden se expresa por:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i * x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} * X_i * X_j + \epsilon \quad \text{Ec. 1- 4}$$

a) Diseños centrales compuestos

Este tipo de diseños pueden ajustarse a un modelo cuadrático completo, es comúnmente utilizado cuando el plan del diseño solicita de un experimento secuencial

ya que estos diseños suelen incorporar información de un experimento factorial, pueden poseer hasta 5 niveles por factor. [31]

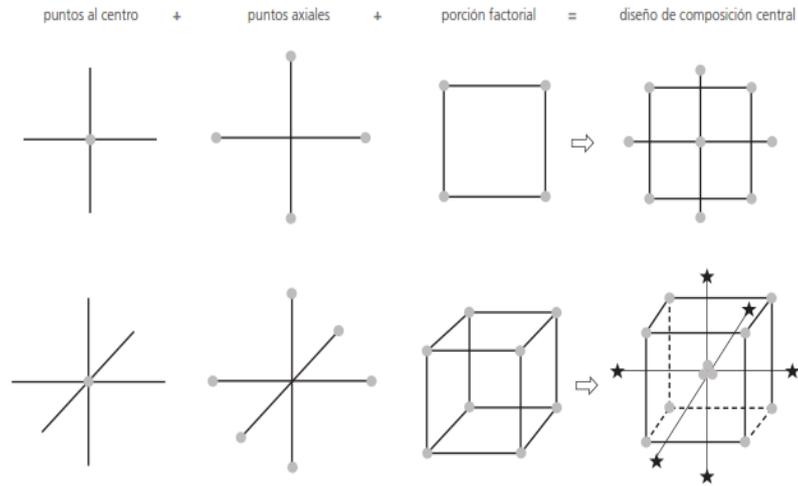


Figura 1.13 Representación de un Diseño Central Compuesto para 2 y 3 factores.

Fuente: [29]

b) Diseño de Box-Behnken

Este tipo de diseño resulta ser menos costoso que un diseño central compuesto por poseer menos puntos de diseño. Estima eficientemente los coeficientes de primer y segundo orden, pero, no pueden incluir corridas de un diseño de experimento factorial. Los diseños de Box-Behnken siempre tienen 3 niveles por factor.

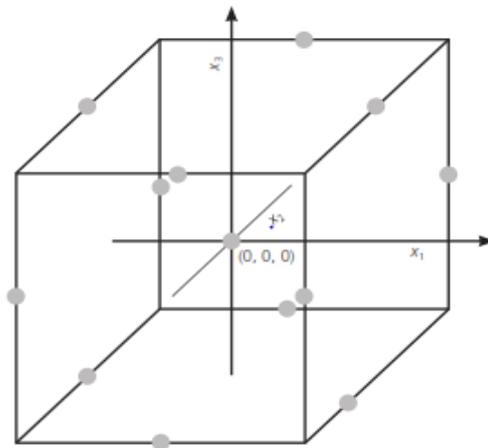


Figura 1.14 Representación de diseño de Box-Behnken para tres factores.

Fuente: [29]

1.3.14. Supuestos Paramétricos

Dentro del análisis estadístico de respuestas se debe cumplir con los siguientes Supuestos Paramétricos, de no cumplirse se deberán aplicar técnicas de transformación de datos para el cumplimiento de supuestos

1.3.14.1. Normalidad

Existen varias maneras de verificar el supuesto de Normalidad, pero existe una prueba que nos permite interpretar correctamente la distribución normal o no de los datos de interés al contrastar las significancias de la bondad del ajuste normal, cuya prueba es la de Anderson-Darling esta prueba se aplica para probar que una muestra proviene de distribución continua, para este caso la distribución normal. La prueba estima el valor- p o significancia el cual nos sirve para aceptar o refutar la hipótesis. [32]

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

1.3.14.2. Igualdad de Varianzas

Se puede comprobar la igualdad de Varianzas a través de la gráfica de los predichos versus los residuos visualizando que los puntos se distribuyan de manera aleatoria de manera horizontal paralelos al eje horizontal donde se ubica la escala de predichos, si se distribuyen de esta manera se cumple el supuesto de igualdad de varianzas, otra manera de verificar la igualdad de varianzas es a través de la prueba de Levene, la cual analiza si la media de desviaciones es igual o no para todos los tratamientos. [29][33]

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

1.3.14.3. Independencia de Residuos

Como su nombre lo indica esta gráfica nos ayuda a verificar el orden en el que se tomaron los datos, situando los residuos en el eje vertical mientras que el orden de toma de datos en el eje horizontal, la interpretación correcta sería encontrar un patrón definido no aleatorio lo cual nos explicaría una correlación entre errores, de manera contraria un comportamiento aleatorio de puntos en la banda horizontal confirma una independencia de residuos. [29]

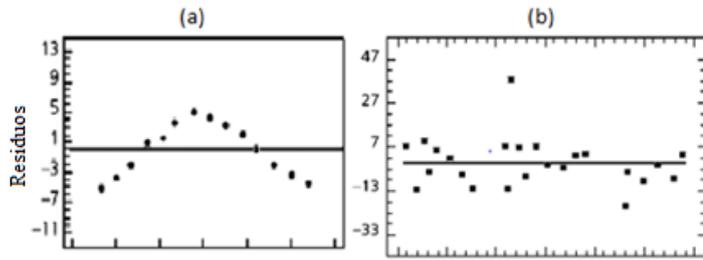


Figura 1.15 Grafica de orden vs residuos: (a) no cumple con la Independencia, (b) se cumple la Independencia.

Fuente: [29]

1.3.15. Transformación de Datos

El uso de pruebas paramétricas es altamente confiable al momento de analizar datos, aunque para su aplicación se deben cumplir los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas, al no contar con el cumplimiento de estos supuestos se pueden transformar los datos para convertirlos en supuestos válidos y no tener problemas al momento de analizar los datos. La corrección de sesgos en la distribución de errores para corregir varianzas desiguales mejorara la correlación entre variables obedecen a una familia de transformaciones de Box y Cox. [34]

1.3.16. Función de Deseabilidad para Optimización de Respuestas

El concepto de Función de Deseabilidad nace como la solución para combinar las respuestas de múltiples factores en una función en el espacio de los factores que considera la Deseabilidad Global (DG) del producto en cada punto, transformando el problema de optimización multivariado en un problema de optimización univariado, este enfoque evita los niveles inaceptables de factores, incluso en el caso de un solo factor, las respuestas de cada factor se transforman en una medida ordinal adimensional d_i , $0 \leq d_i \leq 1$, donde un valor de 0 es una respuesta indeseable y un valor de 1 es una respuesta deseable. La función de deseabilidad se define por la media geométrica siguiente: [35]

$$DG = \sqrt[m]{d_1 * d_2 * \dots * d_m} = (d_1 * d_2 * \dots * d_m)^{1/m} \quad \text{Ec. 1.5}$$

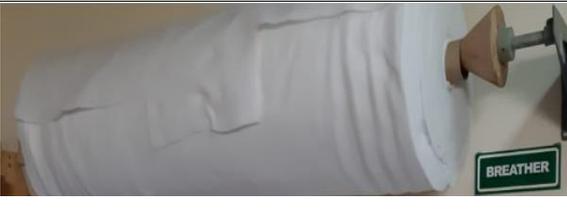
CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Materiales

Tabla 2.1 Descripción de materiales para la elaboración del material híbrido.

Denominación	Especificación	Ilustración
Resina Epoxi	<p>Marca Aeropoxy</p> <p>Resina PR2032</p> <p>Endurecedor PH3660</p> <p>$\rho=1,16 \text{ g/cm}^3$</p>	
Tejido de fibras de Abacá	<p>Fibras provenientes de la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, el tejido se lo realizó a mano en la Parroquia Salasaca en un telar manual</p> <p>$\rho=0,85 \text{ g/cm}^3$</p>	

<p>Fibra de vidrio</p>	<p>Marca Dutranpro Presentación comercial tipo Mats $\rho = 375 \text{ gr/m}^2$</p>	 <p>Stack of white fiberglass mats with red and white labels. The labels prominently display 'FIBERGLASS' and 'dutranpro'.</p>
<p>Bomba de Vacío</p>	<p>Marca Viot 2,75 CFM ¼ HP</p>	 <p>A black and silver vacuum pump with a yellow label that reads 'Viot 2.75 CFM'.</p>
<p>Cinta de Vacío</p>	<p>Adhiere el plástico de enfundado a una superficie plana evitando fugas de aire</p>	 <p>A roll of silver, corrugated vacuum tape with a central hole, resting on a blue surface.</p>
<p>Guaipe y tiñer</p>	<p>Facilita la limpieza de superficies</p>	 <p>A clear plastic bottle of 'Guaipe' cleaning solution and a piece of white fabric with red dye applied to it.</p>

<p>Balanza electrónica</p>	<p>Necesario la para determinación de densidades y las cantidades de matriz y refuerzo</p>	
<p>Películas y telas plásticas para moldeo en vacío</p>	<p>Peel ply.- Tela desmoldante, es decir no se adhiere al tomar contacto con la resina</p>	
	<p>Breather: Tela que sirve para absorber la resina excedente</p>	
	<p>Bagging film: Película plástica que sirve para el forrado y contención del vacío</p>	
<p>Protección personal</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mandil • Gafas • Guantes • Mascarilla 	

Fuente: Autor

2.2. Métodos

2.2.1. Nivel o Tipo de Investigación

2.2.1.1. Exploratoria

Se utilizó el método Exploratorio elaborando un nuevo material híbrido, formado de resina Epoxi reforzado con fibras tejidas de abacá y fibra de vidrio, analizando factores como espesor de las fibras, orientación de fibras y temperaturas de curado, teniendo en cuenta estos factores se analizaron diferentes configuraciones para poder encontrar la combinación más óptima del material.

2.2.1.2. Descriptiva

Con este método se puede determinar las propiedades mecánicas tracción flexión e impacto del material en términos cuantitativos, además nos permite conocer el comportamiento de las configuraciones de los factores propuestos.

2.2.1.3. Bibliográfica

Este método es esencial en el desarrollo de esta investigación, porque permite una amplia recopilación de información de libros, papers, normas y diferentes fuentes de investigación los cuales estén relacionados con el ensayo y caracterización de propiedades mecánicas de materiales compuestos y donde se dé importancia a factores tomados en cuenta.

2.2.1.4. Experimental

Este método es aplicable por la razón de poseer un conjunto de variables que se mantienen constantes, mientras que el otro conjunto de variables se mide como sujeto del experimento. Este método también analiza y mide como varias variables independientes inciden sobre una variable de respuesta o variable de salida

2.3. Población y Muestra

2.3.1. Población

El presente trabajo experimental se tiene como población probetas elaboradas de matriz de resina Epoxi con refuerzo de fibras de vidrio con de fibras de abacá, recalando que el refuerzo que constituyen las fibras naturales está configurado en un tejido plano, las probetas están configuradas con tres capas de refuerzo ya sean solo de tejido natural en distintas orientaciones o mezcladas entre tejido natural y fibra de vidrio, según especifica la MSR. La obtención de probetas será mediante moldeo al vacío, los factores y niveles considerados para esta investigación se referencian en la sección 1.3.8. y se reflejan en la siguiente tabla.

Tabla 2.2 Factores y niveles del experimento

Factores	Niveles	Variables de salida	
Orientación	0°, 45°, 90°	Tracción	Esf. máximo, módulo de elasticidad, elongación.
Capas de fibra de vidrio	0, 1, 2 [mm]	Flexión	Esf. máximo, módulo de elasticidad, Deflexión.
Temperatura de curado	20 °C, 50 °C, 80 °C	Impacto	Energía media de fallo

Fuente: Autor

2.3.2. Muestra

La muestra que se estima para el presente trabajo experimental se basa en el Diseño de Experimentos, utilizando un diseño de Superficies de Respuesta de Box-Behnken.

Tabla 2.3 Matriz de Diseño Experimental de Box-Behnken.

N°	Orientación fibras del tejido	Número de capas de tejido	Orden de capas			Espesor F.V. (mm)	Temperatura de curado (°C)	Tipo de ensayo	Cantidad de probetas
			1.°	2.°	3.°				
1	0°	3	FAb	FAb	FAb	0	50	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
2	45°	3	FAb	FAb	FAb	0	20	Tracción 5 Flexión 5	19

								Impacto 9	
3	45°	3	FAb	FAb	FAb	0	80	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
4	90°	3	FAb	FAb	FAb	0	50	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
5	0°	2	FV	FAb	FAb	1	20	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
6	0°	2	FV	FAb	FAb	1	80	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
7	45°	2	FV	FAb	FAb	1	50	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
8	45°	2	FV	FAb	FAb	1	50	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
9	45°	2	FV	FAb	FAb	1	50	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
10	90°	2	FV	FAb	FAb	1	20	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
11	90°	2	FV	FAb	FAb	1	80	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
12	0°	1	FV	FV	FAb	2	50	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
13	45°	1	FV	FV	FAb	2	80	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
14	45°	1	FV	FV	FAb	2	20	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19
15	90°	1	FV	FV	FAb	2	50	Tracción 5 Flexión 5 Impacto 9	19

Fuente: Autor

2.3.3. Hipótesis

El análisis estadístico con la metodología de superficies de respuesta permitirá la optimización de propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epoxi, reforzada con fibra de vidrio y abacá.

2.3.4. Señalamiento de Variables de la Hipótesis

2.3.4.1. Variable Independiente

Análisis estadístico con la metodología de superficies de respuesta del material híbrido.

2.3.4.2. Variable Dependiente

Propiedades Mecánicas.

2.3.5. Término de Relación

Permitirá.

2.3.6. Operacionalización de Variables

2.3.6.1. Variable Independiente

Tabla 2.4 Variable Independiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e Instrumentos
Material híbrido es aquel que posee por refuerzo una combinación de fibras naturales y sintéticas de propiedades diferentes dentro de una matriz. Obteniéndose mejores características con distintas configuraciones .	Material híbrido	Orientación fibra de Abacá	- 0° - 45° - 90°	<ul style="list-style-type: none"> - Observación directa. Registro, Fichas de recolección de datos - Equipos de medición. Gradador, Vernier, Termocupla - Conformado al vacío de materiales híbridos. Tracción ASTM D-3039 Flexión ASTM D-7264 Impacto ASTM D-5628 - Bibliografía
		Espesor de capas de la fibra de vidrio	- 0 mm - 1 mm - 2 mm	
		Temperatura de curado	- 20°C - 50 °C - 80 °C	

Fuente: Autor

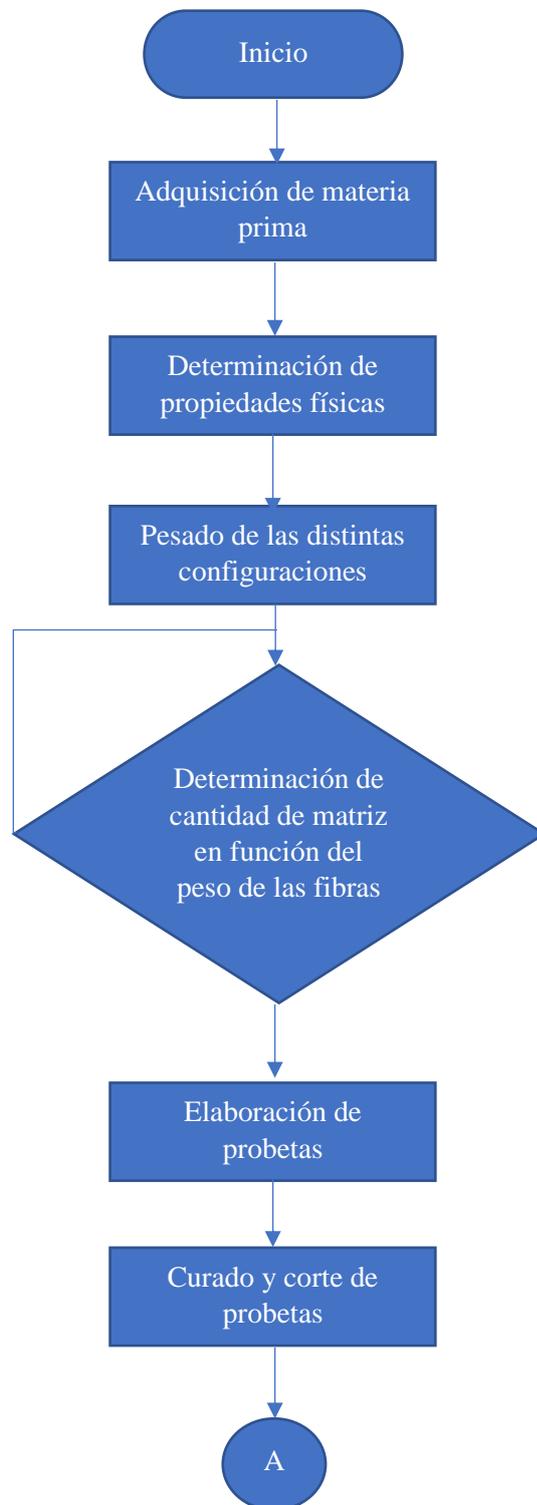
2.3.6.2. Variable Dependiente

Tabla 2.5 Variable Dependiente.

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas e Instrumentos
Las propiedades mecánicas son características intrínsecas de un material las cuales describen el comportamiento de un material al aplicarle fuerzas.	Propiedades mecánicas	-Resistencia a la tracción -Módulo de Elasticidad	-¿Cuál es el esfuerzo de tracción? -¿Cuál es el módulo de elasticidad?	<ul style="list-style-type: none"> - Obsevación. Fichas de recolección de datos - Normas ASTM Tracción ASTM D3039 Flexión ASTM D7264 Impacto ASTM D5628 - Máquina universal de ensayos. - Equipo de ensayo a impacto por caída de dardo. - Bibliografía.
		-Resistencia a la flexión -Módulo de Flexión	-¿Cuál es el esfuerzo de flexión? -¿Cuál es el módulo de flexión?	
		-Resistencia al impacto	¿Cuál es la energía de impacto?	

Fuente: Autor

2.3.7. Diagrama de flujo del Trabajo Experimental



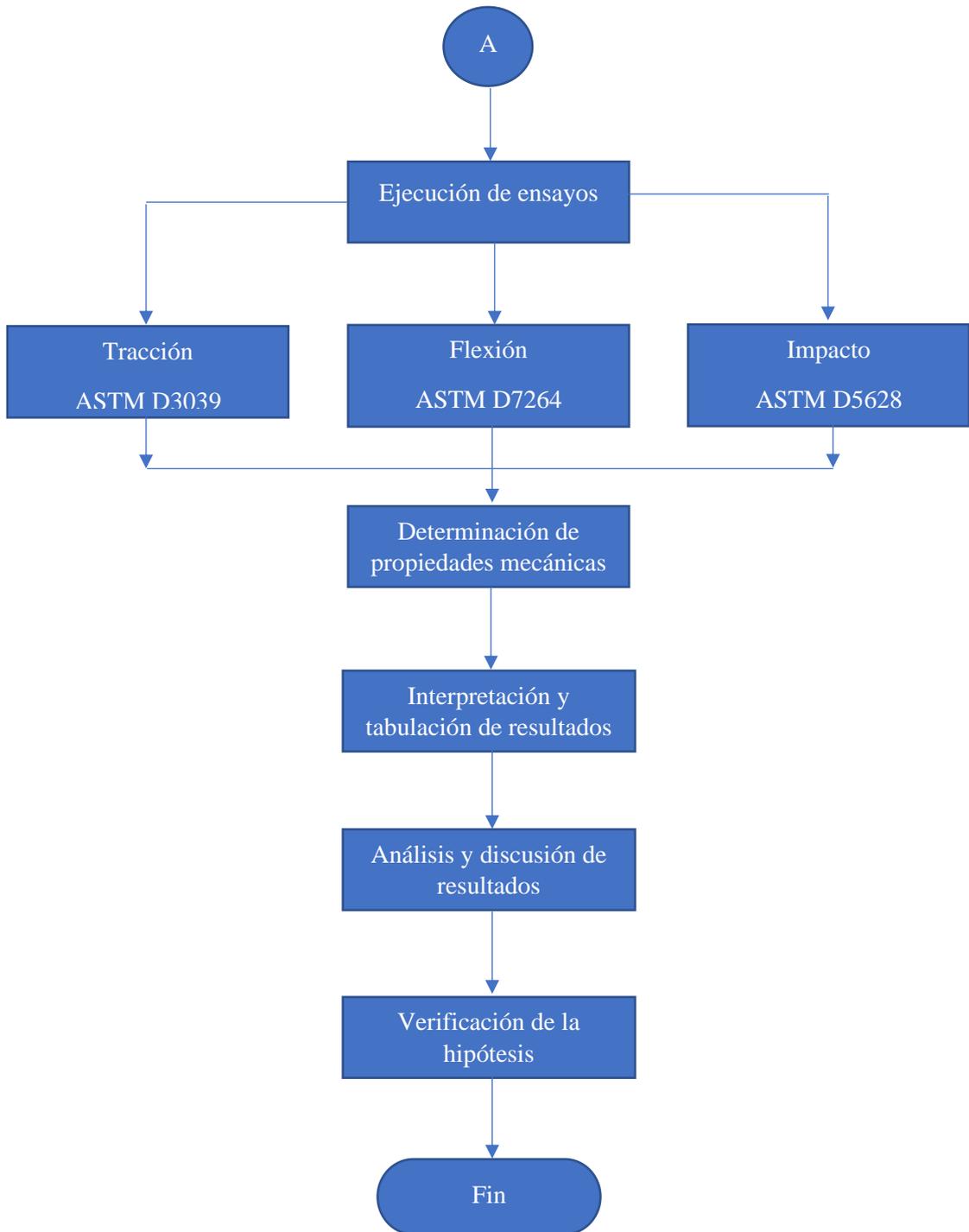


Figura 2.1 Diagrama de flujo del trabajo experimental.

Fuente: Autor

2.3.7.1. Adquisición de Materia Prima

La resina Epoxi y endurecedor, Peel ply, Breather fueron donados por el Centro de Investigaciones de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, la fibra de vidrio fue adquirida en la ciudad de Ambato, en Pintulac ubicado en el redondel de Huachi Chico.

La cinta de vacío fue adquirida en Sikaflex en la ciudad de Ambato sector El Recreo y las fibras naturales se obtuvieron en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas las cuales posteriormente se tejieron en la Parroquia Salasaca.

2.3.7.2. Determinación de propiedades físicas

La determinación de la densidad del tejido se obtuvo por método gravimétrico y con la ayuda de la ecuación de la densidad que es igual a la masa sobre volumen.

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

En donde:

ρ : Densidad (gr/cm³)

m : Masa (gr)

v : Volumen (cm³)

Se tomaron tres muestras del tejido, en la siguiente tabla se pueden visualizar los datos iniciales y resultados obtenidos en el experimento.

Tabla 2.6 Densidad del tejido de fibras naturales.

Muestra	Masa del tejido (gr)	Volumen inicial (cm ³)	Volumen final (cm ³)	Variación de volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)
1	4	40	45	5	0.8
2	4	40	44	4	1
3	3	40	44	4	0.75
Densidad promedio					0.85

Fuente: Autor



Figura 2.2 Experimento gravitatorio del tejido de fibra natural.

Fuente: Autor

2.3.7.3. Determinación de cantidad de matriz en función del peso de las fibras

La medición del peso de cada configuración que dicta la tabla 2.2, es necesaria para el cálculo de la cantidad de resina que se necesita utilizar y que es recomendación del fabricante, la cantidad de resina viene dada por la ecuación 2.2, mientras que la cantidad de endurecedor viene dada por la ecuación 2.3.

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

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

En donde:

C.R: Cantidad de Resina (gr)

C.E: Cantidad de endurecedor (gr)

P.F: Peso de la fibra (gr)

Tabla 2.7 Cantidades de resina y endurecedor.

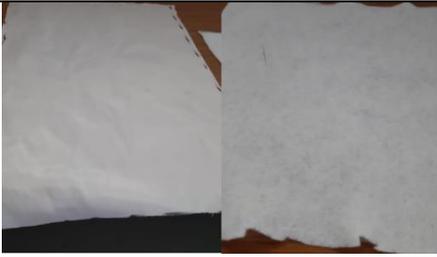
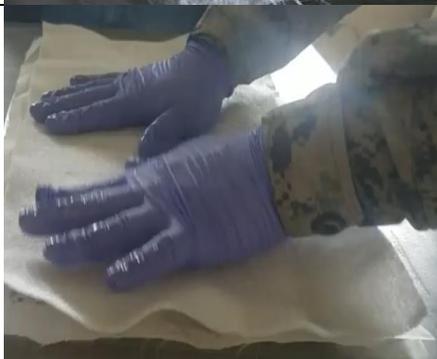
Nº	Configuración de fibras	Peso combinado de las fibras (gr)	Cantidad de resina Epoxi (gr)	Cantidad de endurecedor (gr)
1	FAb+FAb+FAb	101	80	21
2	FAb+FAb+FAb	103	81	22
3	FAb+FAb+FAb	104	82	22
4	FAb+FAb+FAb	105	83	22
5	FV+FAb+FAb	106	83	23
6	FV+FAb+FAb	106	83	23
7	FV+FAb+FAb	106	83	23
8	FV+FAb+FAb	107	84	23
9	FV+FAb+FAb	106	83	23
10	FV+FAb+FAb	105	83	22
11	FV+FAb+FAb	104	82	22
12	FV+FV+FAb	105	83	22
13	FV+FV+FAb	106	83	23
14	FV+FV+FAb	104	82	22
15	FV+FV+FAb	105	83	22

Fuente: Autor

2.3.7.4. Elaboración de probetas

Tabla 2.8 Proceso para elaboración de probetas.

Ítem	Actividades	Descripción	Ilustración
1	Corte de las fibras	Se requieren cortes de 411*183 mm pero se adicionarán a estos 20 mm a cada lado evitar cualquier tipo de imperfección en los bordes en el momento del corte	

2	Corte de las telas y películas plásticas para el enfundado y aplicación de vacío	Se requieren cortes individuales para cada plancha de aproximadamente 30 mm más del perímetro de las fibras	
3	Preparación de la superficie a utilizar	Limpiar la superficie con tñer y guaipe para remover desperdicios anteriores que puedan comprometer la geometría de las planchas	
4	Preparación de la resina	En base a cada caso de la tabla 2.7, se pesa la cantidad de resina y endurecedor a utilizar para cada caso	
5	Impregnación de resina en las fibras	Distribuir uniformemente sobre las fibras, con la ayuda de una espátula para humectar toda la superficie	
6	Colocación de Peel Ply y Breather	Sobreponer sobre las fibras humectadas primero el Peel ply y sobre esta el Breather	

7	Colocación de cinta de Vacío	Colocar la cinta de vacío a 10cm aproximadamente de las fibras humectadas	
8	Elaboración de respiradero	Ubicar un respiradero de Breather para la succión de aire y sobre este orientar el acople hembra de la bomba de vacío	
9	Enfundado de vacío	Adherir el Bagging film en la cinta de vacío procurando establecer un sello hermético	
10	Corte para salida del aire	Realizar un corte en el Bagging Film que se encuentra sobre el ducto del acople hembra de la bomba de vacío	
11	Accionamiento de las bombas de vacío	Conectar los acoples Macho y Hembra y encender la bomba de vacío y dejar que actúe por 3 horas y desconectarla	

12	Extracción de probetas	Desenfundar la plancha y retirar suavemente el Peel Ply y el Breather 24 horas después de haber desconectado la bomba de vacío	
----	------------------------	--	--

Fuente: Autor

2.3.7.5. Curado y corte de probetas

Tabla 2.9 Proceso de corte y curado de probetas.

Ítem	Actividades	Descripción	Ilustración
1	Sujeción de probetas	Colocar el material entre dos placas de acero para evitar pandeos debido a la actuación de calor	
2	Precalentado del horno	Precalentar el secador a la temperatura deseada	
3	Secado de probetas	Colocar el material por un lapso de 2 horas y apagar el secador para posteriormente retirarlas al día siguiente	

4	Corte de probetas	Corte láser CO ₂ 80 Watts de Potencia	
---	-------------------	--	--

Fuente: Autor

2.3.7.6. Ensayo de Materiales

La evaluación de propiedades mecánicas de un material compuesto se lo realiza mediante ensayos destructivos para determinar sus propiedades mecánicas.

2.3.7.7. Tracción

La norma ASTM D3039, propone realizar 5 repeticiones por cada configuración del material y tiene como objetivo determinar Esfuerzo Máximo de Tracción, Módulo de Elasticidad y Porcentaje de Elongación, consiste en aplicar una fuerza axial de manera progresiva en el eje central de la probeta hasta su ruptura. [30]



Figura 2.3 Máquina Universal para Ensayos a Tracción INSTRON.

Fuente: Autor

Las propiedades mecánicas a determinar, evaluar y optimizar posteriormente mediante este ensayo son: Esfuerzo Máximo de Tracción, Módulo de Elasticidad, y Porcentaje de Elongación.

Para el cálculo de propiedades mecánicas a tracción se utilizan las siguientes ecuaciones.

➤ **Esfuerzo Máximo**

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 2.4}$$

Donde

σ : Esfuerzo Máximo de Tracción (MPa)

P : Fuerza aplicada (N)

A : Área de sección transversal (mm²)

➤ **Deformación por Tracción**

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_i}{L_g} \quad \text{Ec. 2.5}$$

Donde

ε_i : Deformación máxima (μ)

δ_i : Desplazamiento del cabezal móvil (mm)

L_g : Longitud calibrada (mm)

➤ **Módulo de Elasticidad Acorde a la Tracción**

$$E_f^{Chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad \text{Ec. 2.6}$$

Donde

E_f^{Chord} : Módulo de Elasticidad Acorde a la Tracción (MPa)

$\Delta\sigma$: Diferencia en esfuerzo de tracción entre dos puntos de deformación seleccionados (MPa)

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

2.3.7.8. Flexión

La norma ASTM D7264 para materiales compuestos de matriz polimérica tiene como objetivo determinar la Rigidez a Flexión ejecutando el ensayo en 3 puntos, el cual consiste en la aplicación de una carga vertical en el centro de la probeta de análisis que esta simplemente apoyada.



Figura 2.4 Máquina de Ensayos Universales a Flexión MTS.

Fuente: Autor

Las propiedades mecánicas a determinar, evaluar y optimizar posteriormente mediante este ensayo son: Esfuerzo Máximo de Flexión, Módulo de Elasticidad, y Deflexión Máxima.

Para el cálculo de propiedades mecánicas a flexión se utilizan las siguientes ecuaciones.

➤ **Esfuerzo Máximo**

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad \text{Ec. 2.7}$$

Donde

σ : Esfuerzo Máximo de Flexión (MPa)

P : Fuerza aplicada (N)

L : Espacio entre soportes (mm)

b : Ancho de la probeta (mm)

h : Espesor de la probeta (mm)

➤ **Deformación Máxima**

$$\varepsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Donde

ε : Deformación Máxima (mm/mm)

P : Deflexión (mm)

L : Espacio entre soportes (mm)

h : Espesor de la probeta (mm)

➤ **Módulo de Elasticidad Acorde a la Flexión**

$$E_f^{Chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Donde

E_f^{Chord} : Módulo de Elasticidad Acorde a la Flexión (MPa)

$\Delta\sigma$: Diferencia en esfuerzo flexionante entre dos puntos de deformación seleccionados (MPa)

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

2.3.7.9. Impacto

La norma ASTM D5628, Método de prueba estándar para resistencia al impacto de muestras de plástico planas y rígidas por medios de caída de dardo, la prueba busca encontrar una altura a la cual falle el material sometiendo a la probeta a la caída de una masa con diferentes alturas, aumentando la altura si el material no falla y disminuyendo la altura si el material falla. La norma propone determinar la energía media de fallo la cual, propiedad a ser optimizada. [31]

Para el cálculo de la Energía de Impacto se utiliza la siguiente ecuación

➤ Energía Media de Fallo

$$MEF = h * w * f$$

Ec. 2.10

Donde

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 resultados

Los resultados obtenidos en la ejecución de ensayos destructivos, de tracción, flexión e impacto de las diferentes configuraciones que obedecen al diseño de Box-Behnken detallados en la Tabla 2.2 se los comparara mediante gráficas y están recopiladas en las siguientes fichas técnicas.

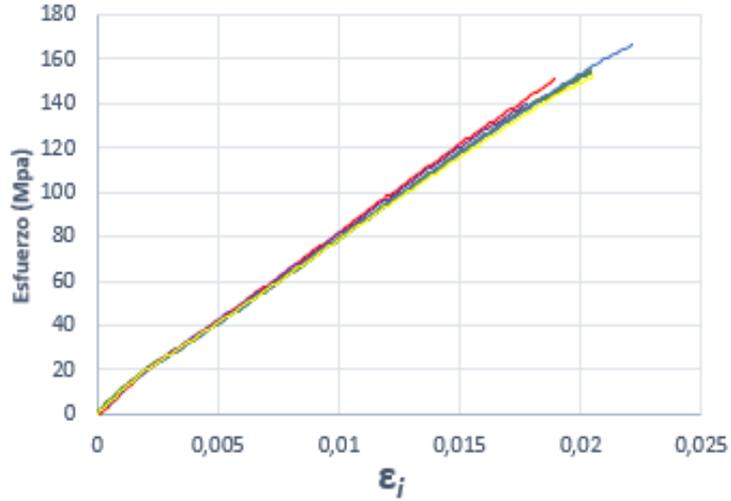
3.1.1. Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a tracción

Tabla 3.1 Ficha técnica del material híbrido, caso 1 a Tracción

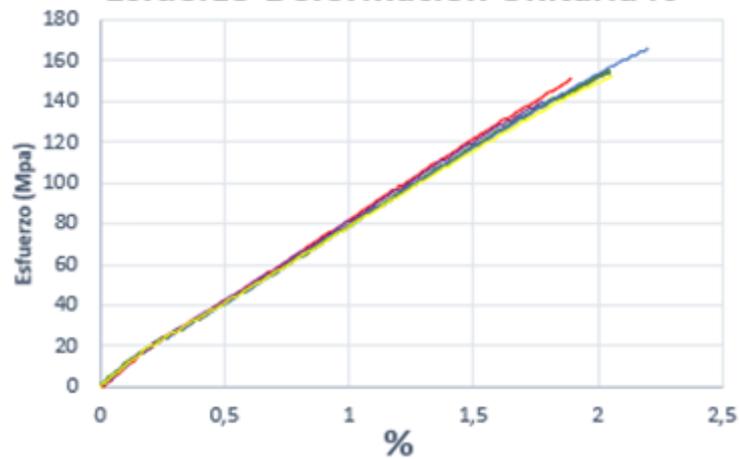
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolquí		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	101		
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	101		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.5*e	E. promedio (mm)	3.0		
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fab+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	11353.1	154.5	9828.67	2.04	LGM
2	11080.7	150.8	10084.66	1.88	LGM
3	12220.8	166.3	10122.42	2.19	LGM
4	10278.9	139.8	10318.12	1.76	LGM
5	11204.4	152.4	10223.86	2.05	LGM
Promedio	11227.6	152.76	10115.55	1.99	-
PROBETAS ENSAYADAS					
					

GRÁFICAS

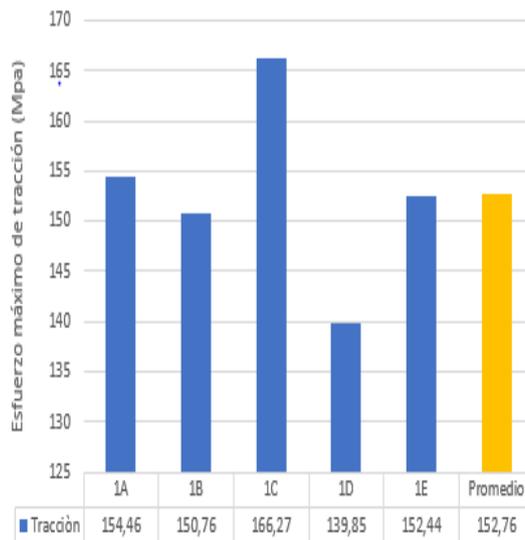
Esfuerzo-Deformación Unitaria



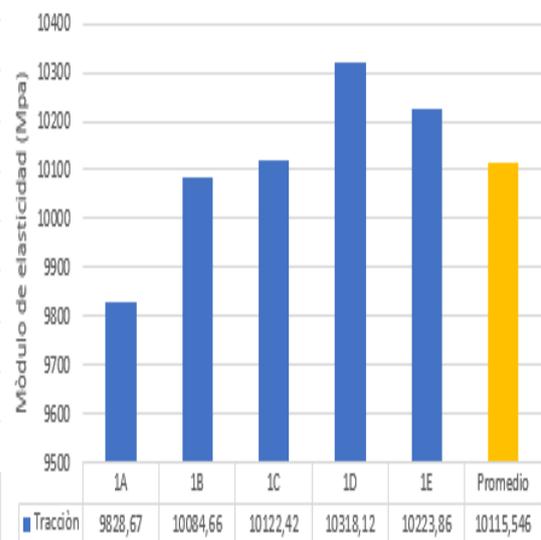
Esfuerzo-Deformación Unitaria %



Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia El tipo de falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	152.76	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	1.99	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	10115.55	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	11227.6	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

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

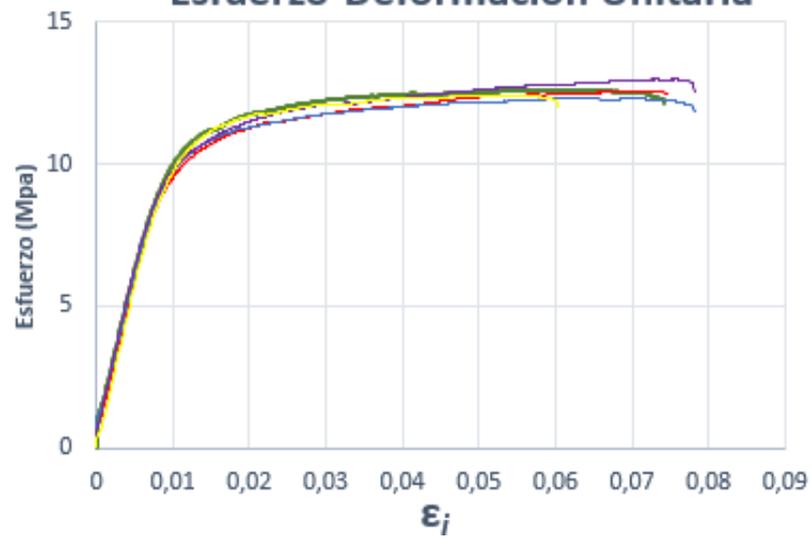
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolquí		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	103		
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	103		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*25.2*e	E. promedio (mm):	3.0		
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fab+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	939.24	12.57	1496.49	7.41	AGM (1)
2	940.05	12.58	1347.59	7.45	AGM (1)
3	919.43	12.31	1430.44	7.81	AGM (1)
4	969.43	12.98	1499.22	7.81	AGM (1)
5	927.03	12.41	1166.09	6.04	AGM (1)
Promedio	939.07	12.57	1387.97	7.30	-

PROBETAS ENSAYADAS

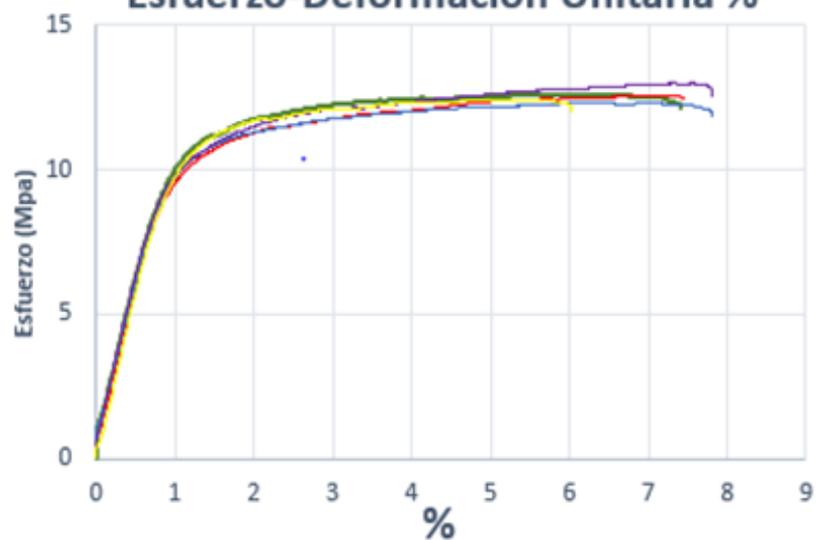


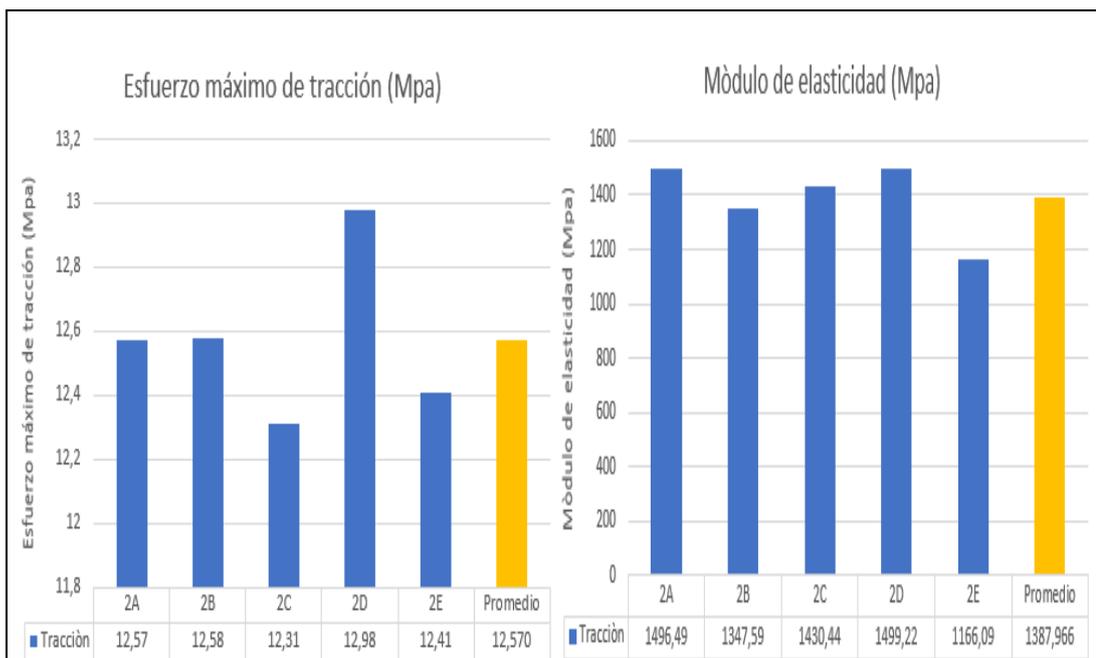
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es AGM(1) que se refiere que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta

Evaluación		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	12.57	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	7.30	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	1387.97	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	939.07	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

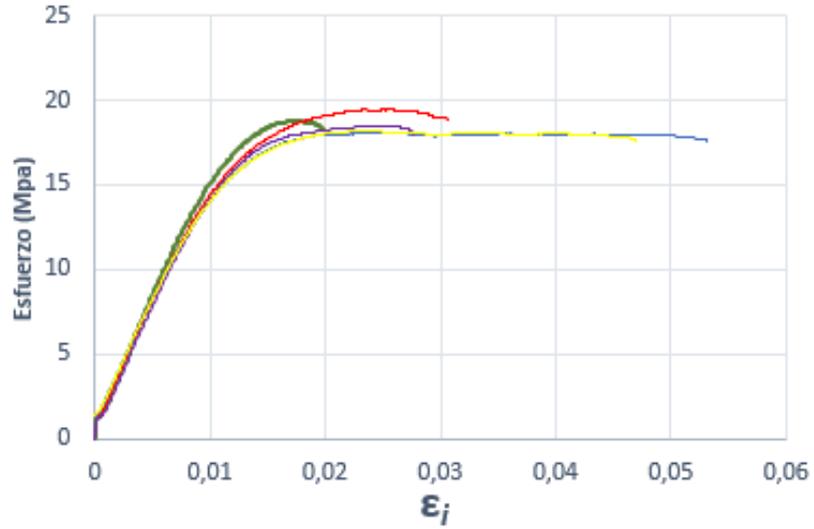
Fuente: Autor

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

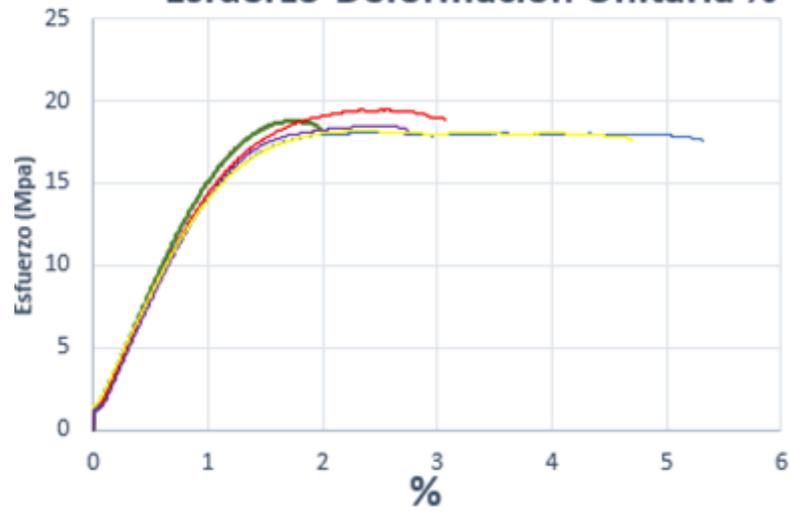
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS							
DATOS INFORMATIVOS							
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolquí				
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales						
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON						
PARÁMETROS DE ENSAYO							
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039				
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104				
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	104				
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío				
Dimensiones (mm):	250*24.85*e	E. promedio (mm):	2.70				
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fab+Fab+Fab				
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5				
RESULTADOS							
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado		
1	1261.42	18.80	1889.10	1.98	AGM (1)		
2	1304.02	19.44	1893.39	3.05	AGM (1)		
3	1213.46	18.09	2023.20	5.31	AGM (1)		
4	1240.70	18.49	1702.90	2.76	AGM (1)		
5	1220.48	18.19	1930.22	4.70	AGM (1)		
Promedio	1248.02	18.60	1887.76	3.56	-		
PROBETAS ENSAYADAS							
							

GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria

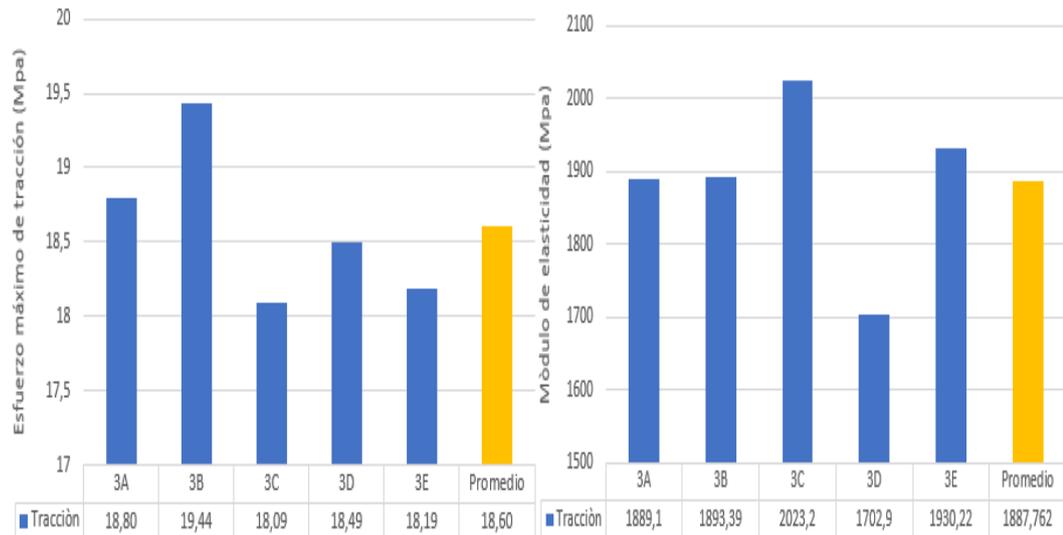


Esfuerzo-Deformación Unitaria %



Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)

Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia • El tipo falla es AGM(1) que se refiere que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	18.60	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	3.56	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	1887.76	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	1248.02	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

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

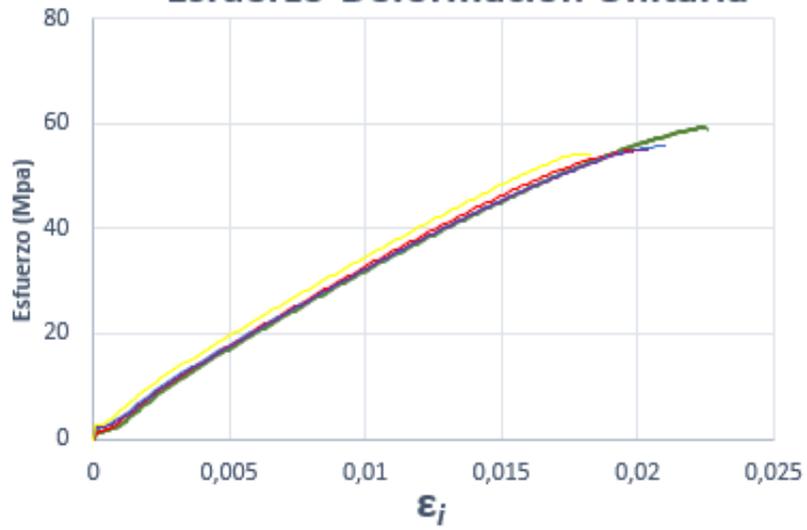
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolquí		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105		
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	105		
Orientación de la fibra:	45°,0°,135°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.4*e	E. promedio (mm):	2.60		
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fab+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	3764.6	59.34	3736.81	2.24	AGM (1)
2	3472.7	54.74	4048.21	1.95	AGM (1)
3	3531.6	55.67	4293.21	2.08	AGM (1)
4	3494.9	55.09	4036.91	2.01	AGM (1)
5	3447.8	54.35	5058.91	1.82	AGM (1)
Promedio	3542.3	55.84	4234.78	2.02	-

PROBETAS ENSAYADAS

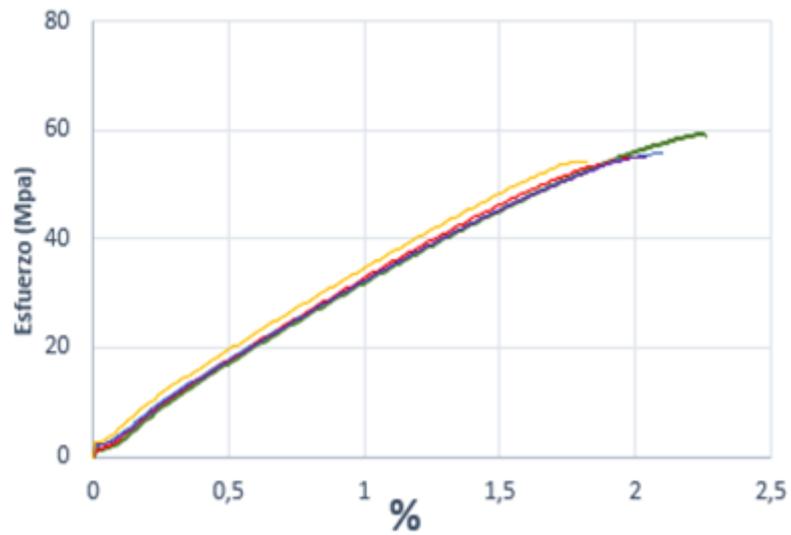


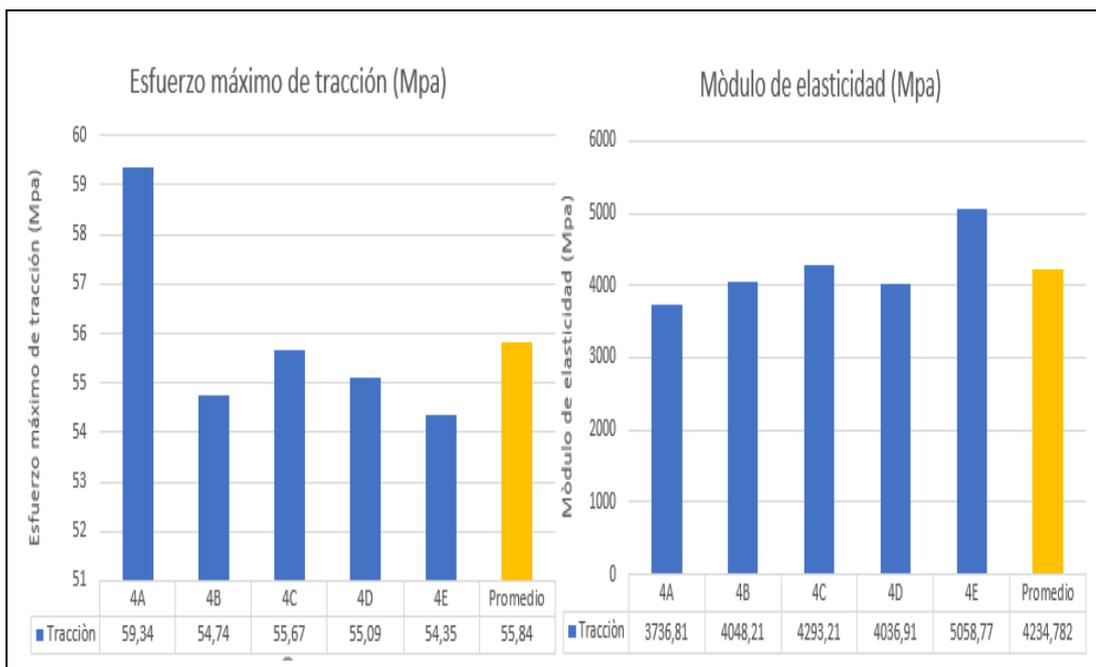
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es AGM(1) que se refiere que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	55.84	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.02	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	4234.78	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	3542.34	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

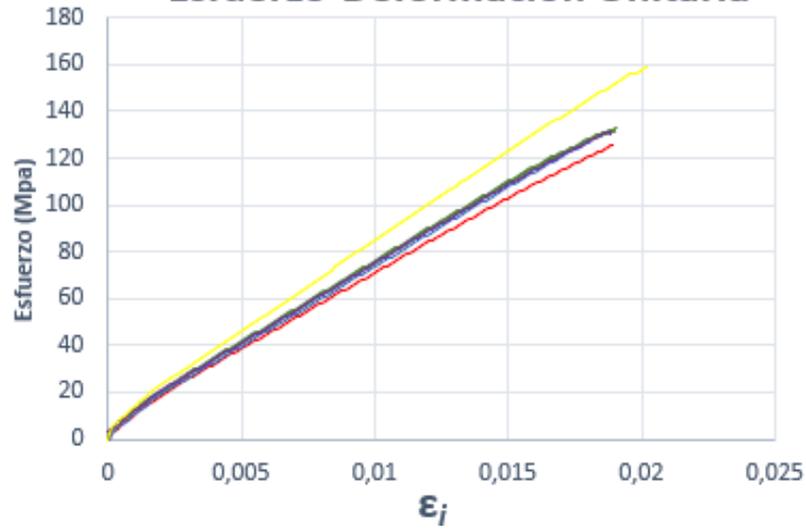
Fuente: Autor

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

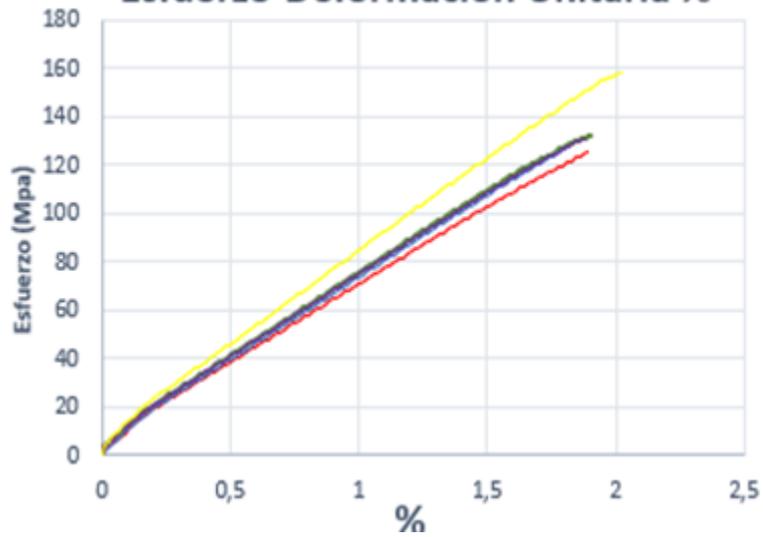
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.6*e	Área (mm):	2.40		
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	7822.46	132.49	10717.67	1.89	LGM
2	7429.21	125.83	9783.63	1.87	LGM
3	7514.87	127.28	9851.66	1.80	LGM
4	7743.97	131.16	10136.29	1.88	LGM
5	9398.33	159.19	11987.73	2.02	LGM
Promedio	7981.77	135.19	10495.40	1.90	-
PROBETAS ENSAYADAS					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria

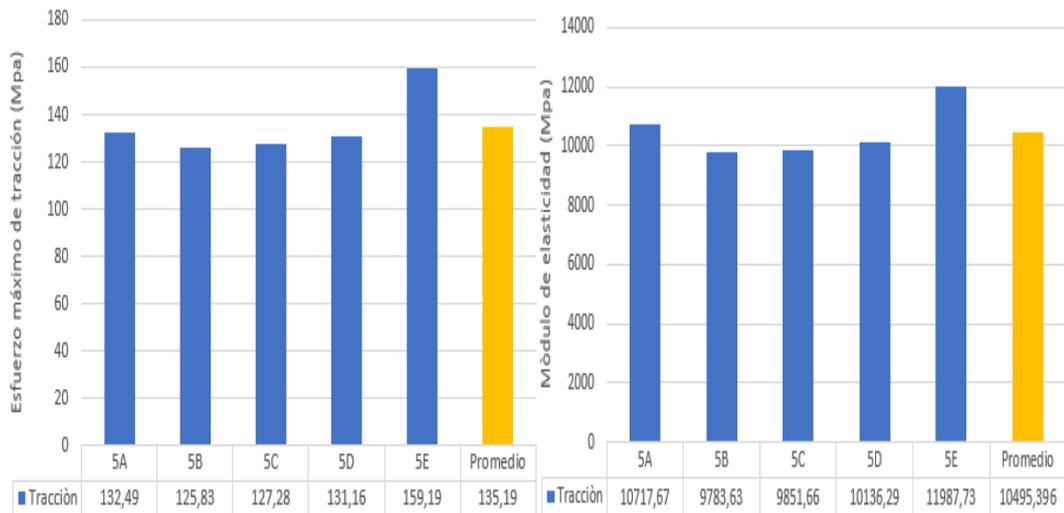


Esfuerzo-Deformación Unitaria %



Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)

Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia • El tipo falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	135.17	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	1.89	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	10495.40	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	7981.77	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

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

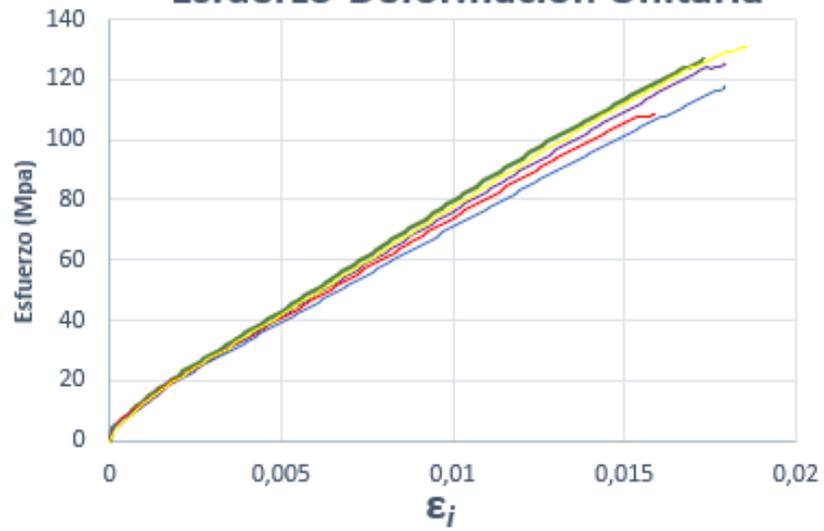
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*25.3*e	E. promedio (mm):	2.40		
Temperatura curado (°C):	80	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	7698.25	126.78	11259.82	1.72	LGM
2	6574.56	108.28	10684.64	1.58	LGM
3	7133.75	117.49	10369.97	1.78	LGM
4	7614.12	125.40	10491.04	1.79	LGM
5	7936.42	130.71	10591.04	1.84	LGM
Promedio	7391,42	121.73	10679.30	1.75	-

PROBETAS ENSAYADAS

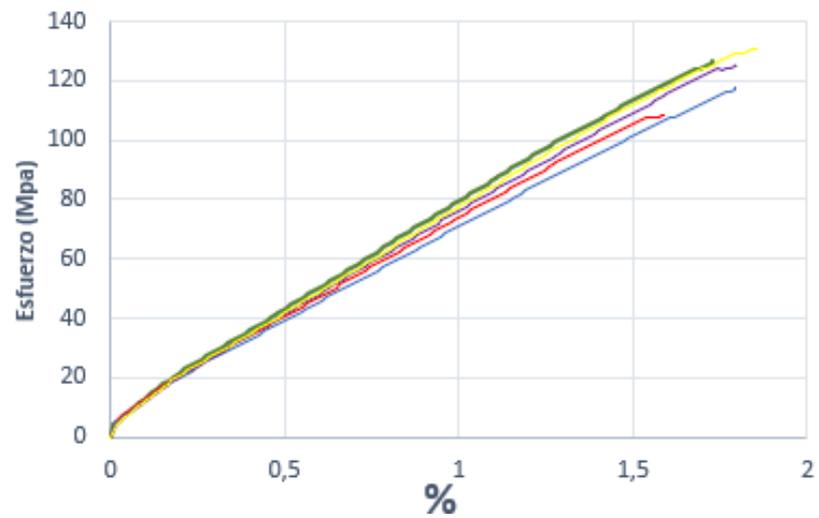


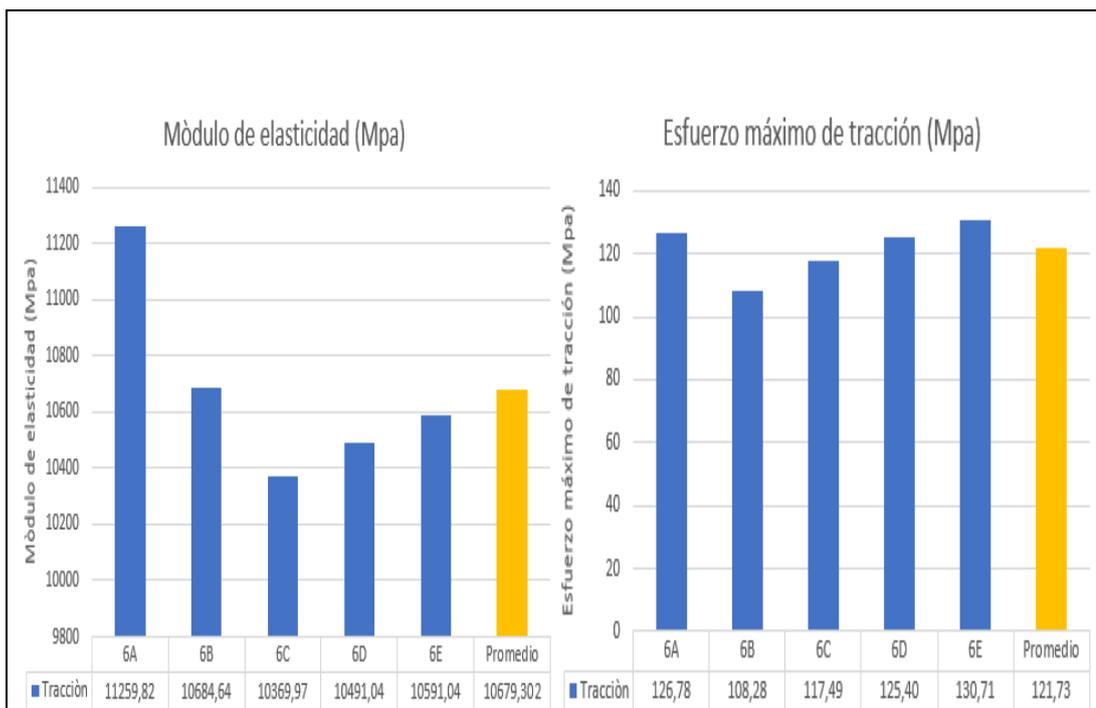
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	121.73	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	1.75	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	10679.30	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	7391.4	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

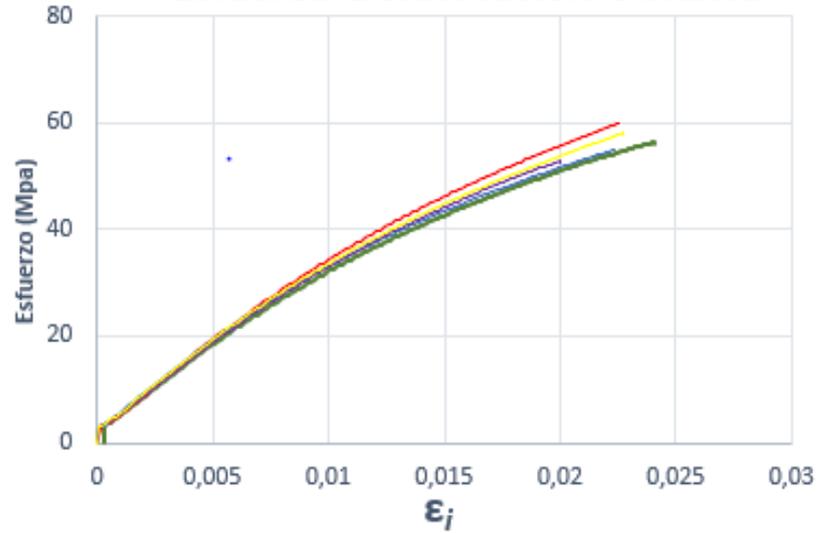
Fuente: Autor

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

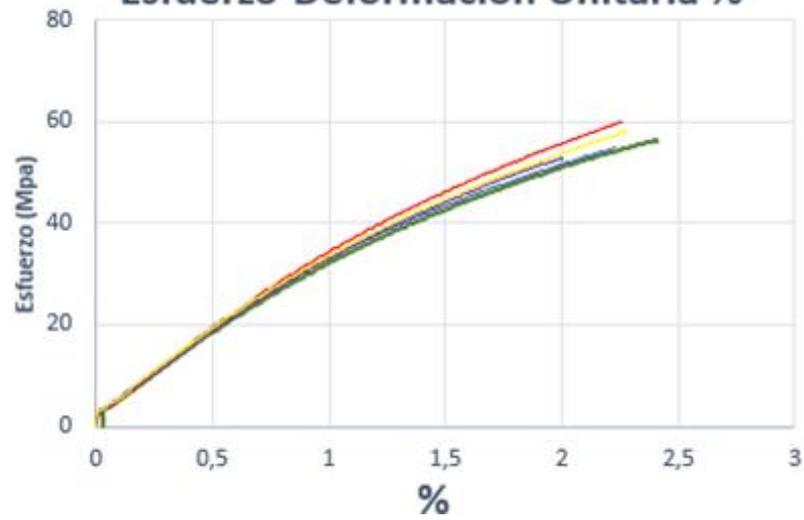
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.7*e	E. promedio (mm):	2.50		
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	3484.8	56.43	4458.53	2.39	LGM
2	3700.9	59.93	4508.32	2.24	LGM
3	3382.7	54.78	4806.57	2.21	AGM (1)
4	3258.8	52.77	4548.38	1.98	LGM
5	3587.7	58.10	4719.18	2.27	AGM (1)
Promedio	3483.0	56.40	4608.20	2.22	-
PROBETAS ENSAYADAS					
					

GRÁFICAS

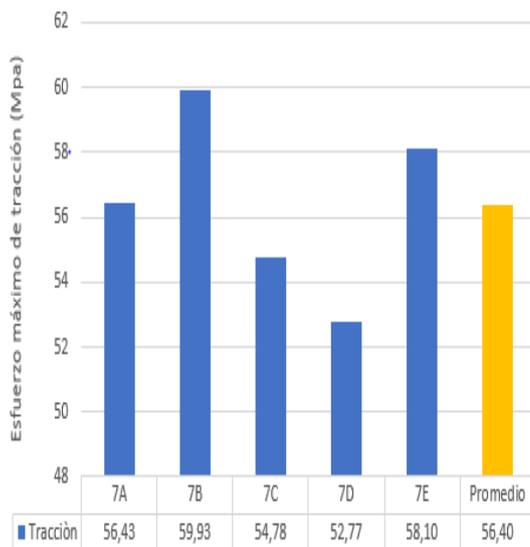
Esfuerzo-Deformación Unitaria



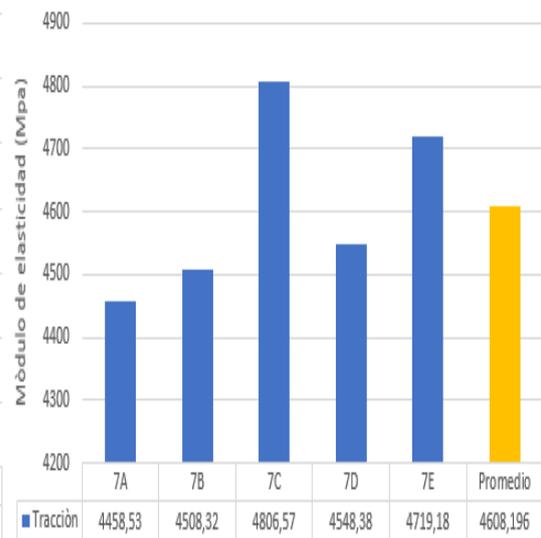
Esfuerzo-Deformación Unitaria %



Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia • Las probetas 7C y 7 E presentan ruptura angular del tipo AGM(1), mientras que el resto de probetas presentan ruptura lateral tipo LGM 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	56.40	Elaborado por:	Sr. Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.22	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	4608.20	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	3483.0	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

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

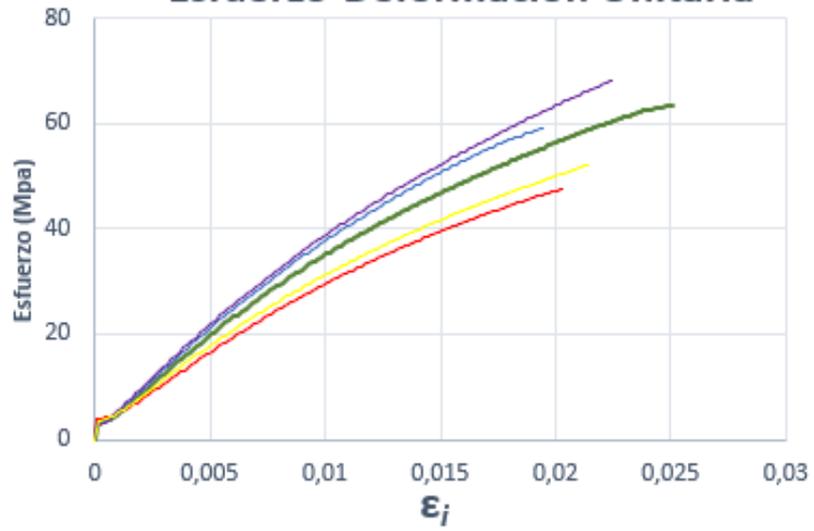
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi y fibras de vidrio	Peso de las fibras (gr):	107		
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	105		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.5*e	E. promedio (mm):	2.20		
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	3408.93	63.25	4484.95	2.50	AGM (1)
2	2558.09	47.46	3899.76	2.01	AGM (1)
3	3191.92	59.22	4789.66	1.93	AGM (1)
4	3671.42	68.12	5036.13	2.23	AGM (1)
5	2809.22	52.12	4233.61	2.13	AGM (1)
Promedio	3127.91	58.03	4488.82	2.16	-

PROBETAS ENSAYADAS

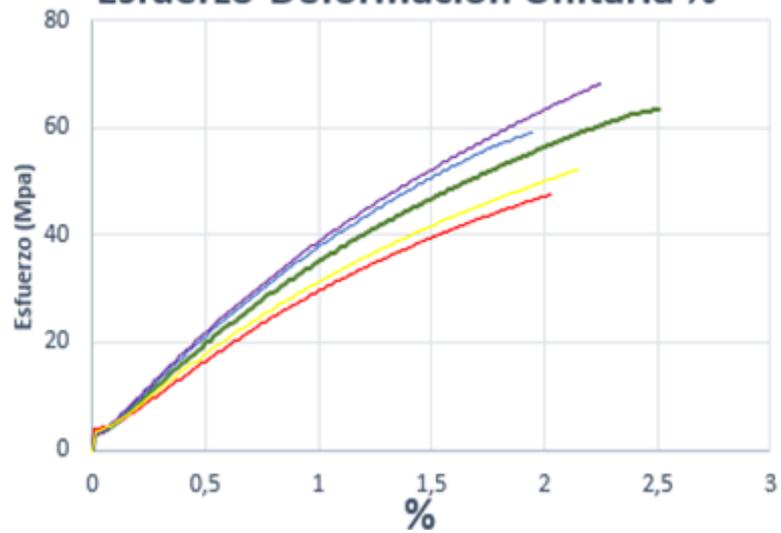


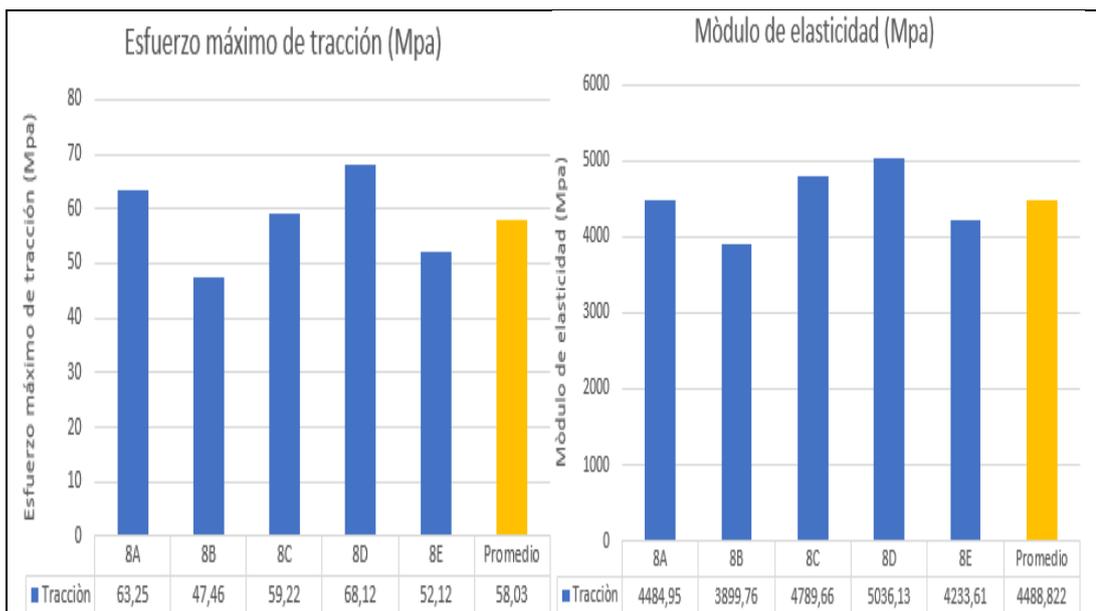
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es AGM(1) que se refiere que la ruptura es angular, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	58.03	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.16	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	4488.82	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	3127.91	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

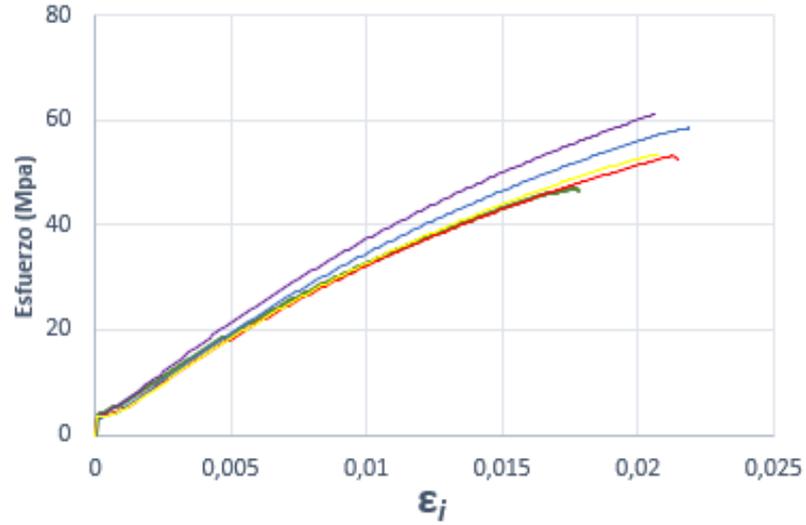
Fuente: Autor

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

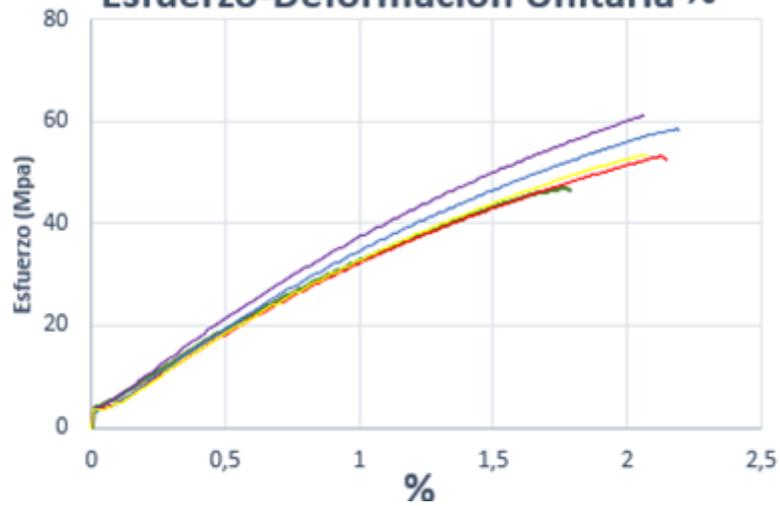
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.8*e	E. promedio (mm):	2.20		
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	2560.96	46.94	4958.07	1.76	LGM
2	2901.72	53.18	4321.68	2.11	LGM
3	3191.50	58.50	4467.57	2.17	LAT
4	3338.55	61.19	5224.53	2.05	AGM(1)
5	2926.25	53.63	4196.22	2.06	AGM(1)
Promedio	2983.80	54.69	4633.61	2.03	-
PROBETAS ENSAYADAS					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria

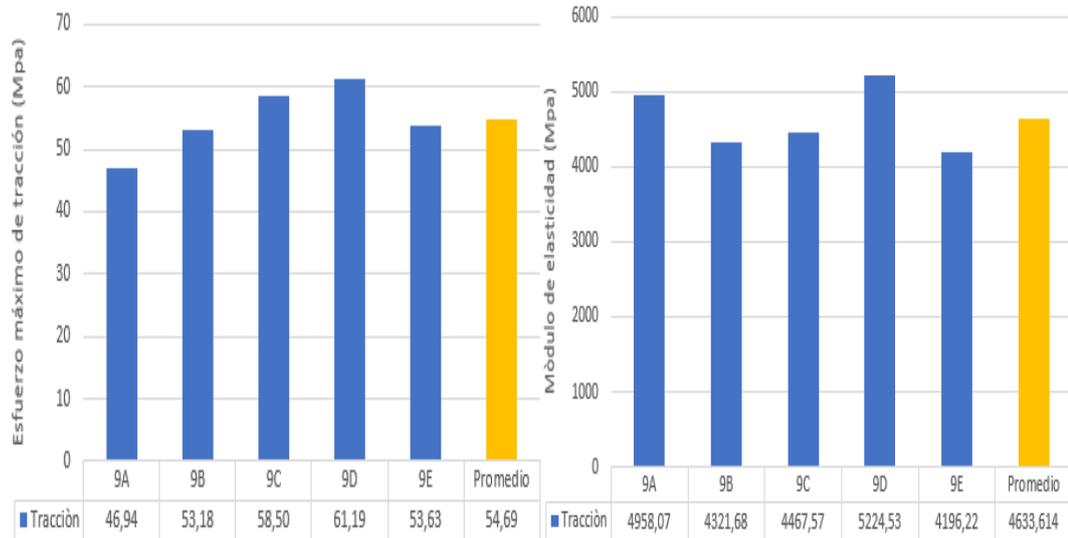


Esfuerzo-Deformación Unitaria %



Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)

Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia Las probetas 9E y 9D presentan ruptura angular del tipo AGM(1), mientras que las probetas 9A y 9B presentan ruptura lateral tipo LGM y la probeta 9C presenta fallo tipo LAT que se indica que el área de falla es en la sujeción de mordazas 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	54.69	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.03	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	4633.61	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	2983.80	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

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

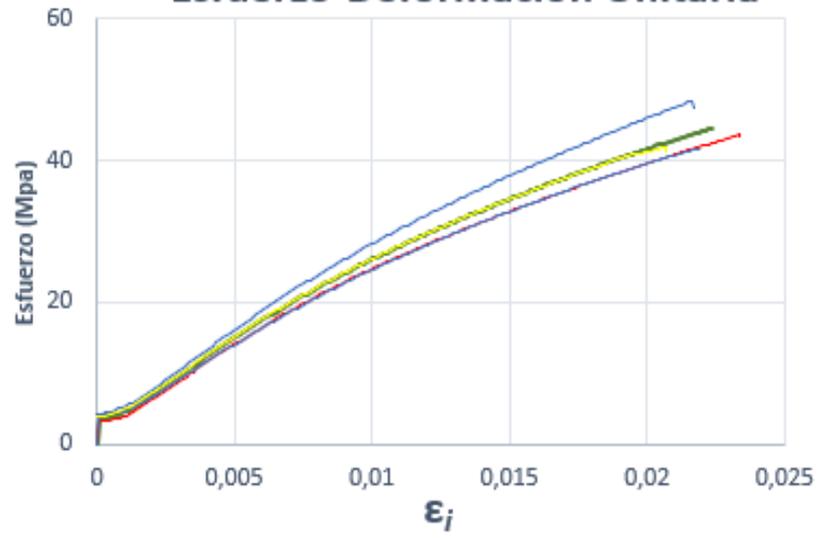
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolquí		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105		
Orientación de la fibra:	90°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*23.7*e	E. promedio (mm):	2.50		
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	2642.8	44.60	3573.40	2.23	LGM
2	2580.59	43.55	3236.50	2.32	LGM
3	2855.48	48.19	3729.48	2.16	LGM
4	2476.39	41.80	3442.33	2.18	LGM
5	2478.33	41.83	3556.38	2.06	LGM
Promedio	2606.72	44.00	3507.61	2.19	-

PROBETAS ENSAYADAS

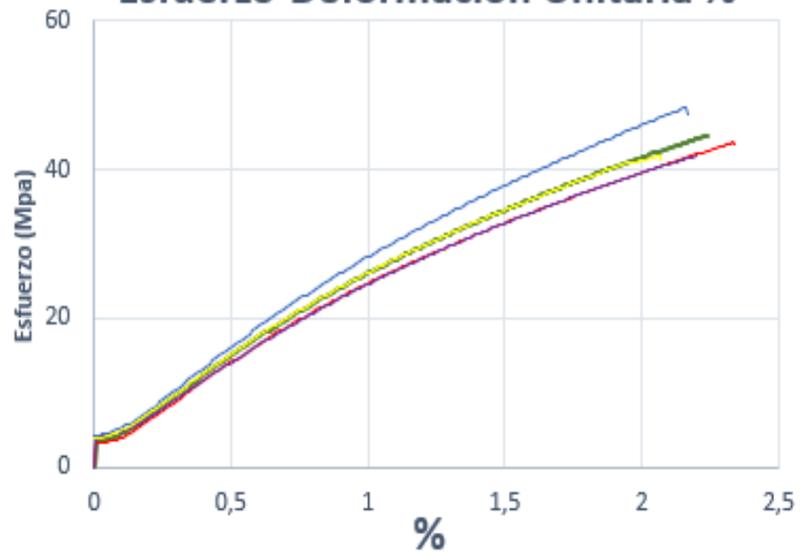


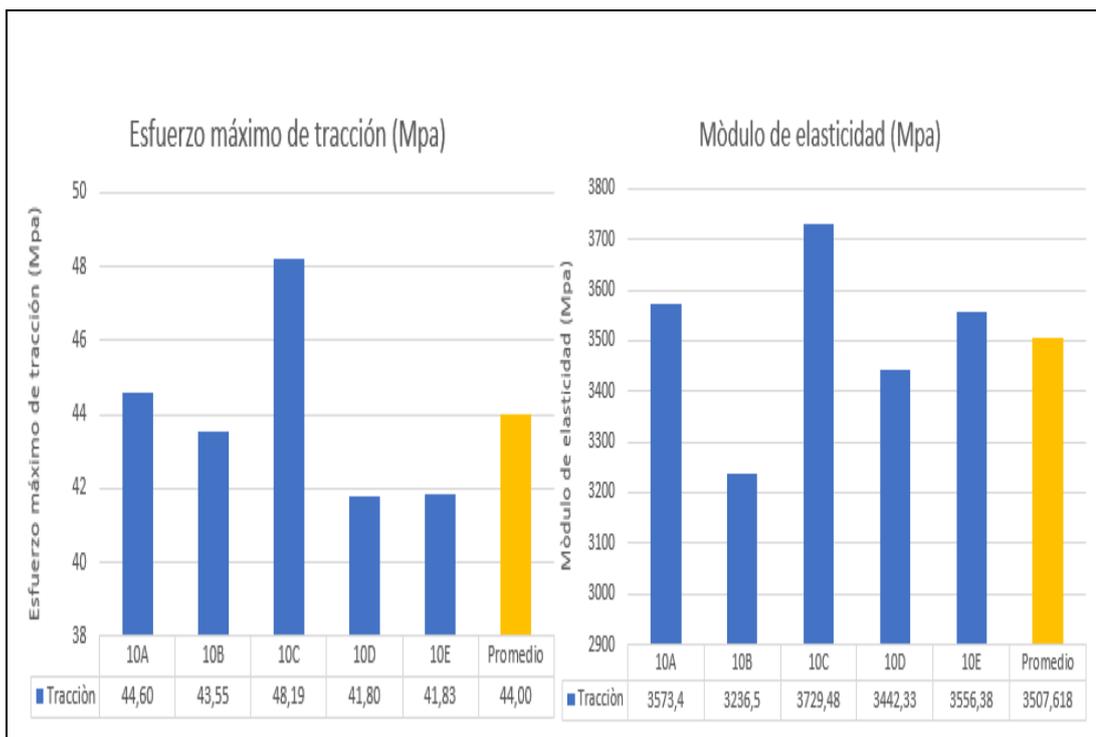
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	44.00	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.19	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	3507.61	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	2606.72	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

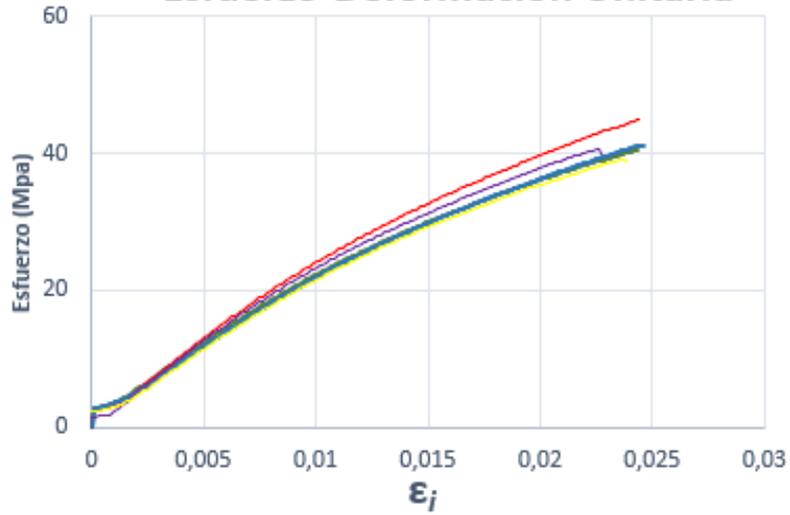
Fuente: Autor

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

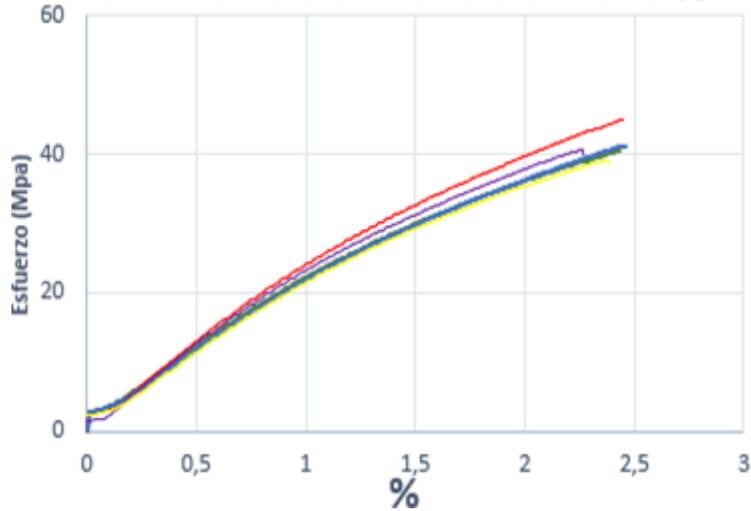
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	104		
Orientación de la fibra:	90°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.6*e	E. promedio (mm):	2.80		
Temperatura curado (°C):	80	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	2791.79	40.53	2807.12	2.41	LGM
2	3096.50	44.95	2778.61	2.43	LGM
3	2826.51	41.04	2644.39	2.43	LGM
4	2797.76	40.62	2452.32	2.26	LGM
5	2698.33	39.17	2253.54	2.37	LGM
Promedio	2842.18	41.26	2587.20	2.38	-
PROBETAS ENSAYADAS					
					

GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria

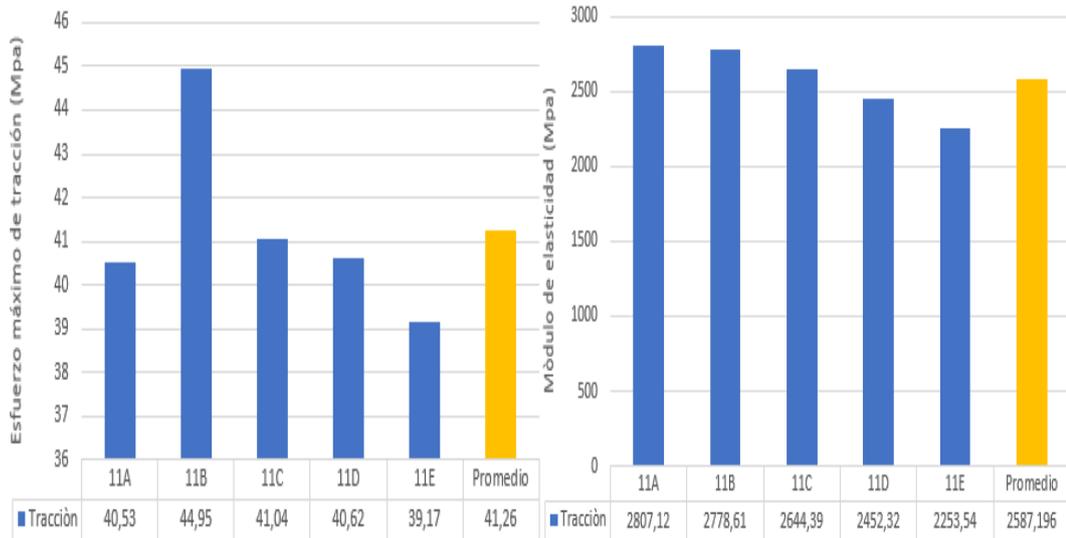


Esfuerzo-Deformación Unitaria %



Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)

Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia • El tipo falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	41.26	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.38	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	2587.20	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	2842.18	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

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

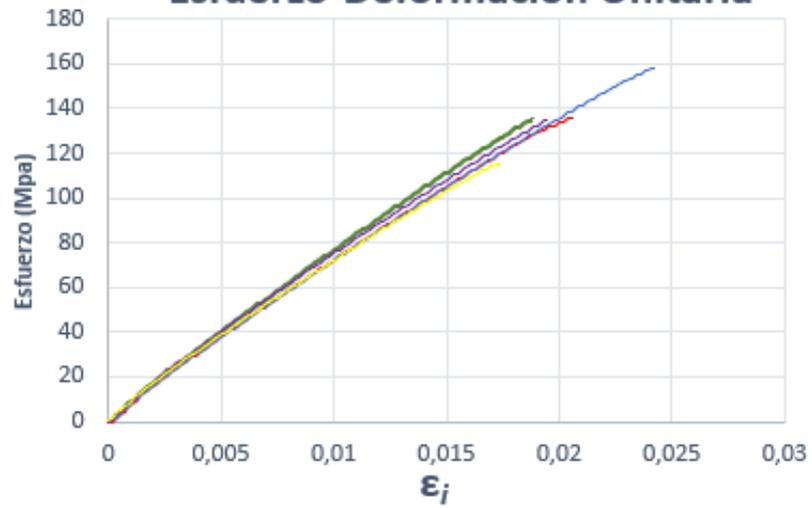
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105		
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.5*e	E. promedio (mm):	2.20		
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fv+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	6690.57	135.19	9350.77	1.87	LGM
2	6728.94	135.97	8481.22	2.05	LGM
3	7811.58	157.84	8659.79	2.41	LGM
4	6683.49	135.05	9299.63	1.94	LGM
5	5689.16	114.96	8661.33	1.73	LGM
Promedio	6720.75	135.80	8890.54	2.00	-

PROBETAS ENSAYADAS

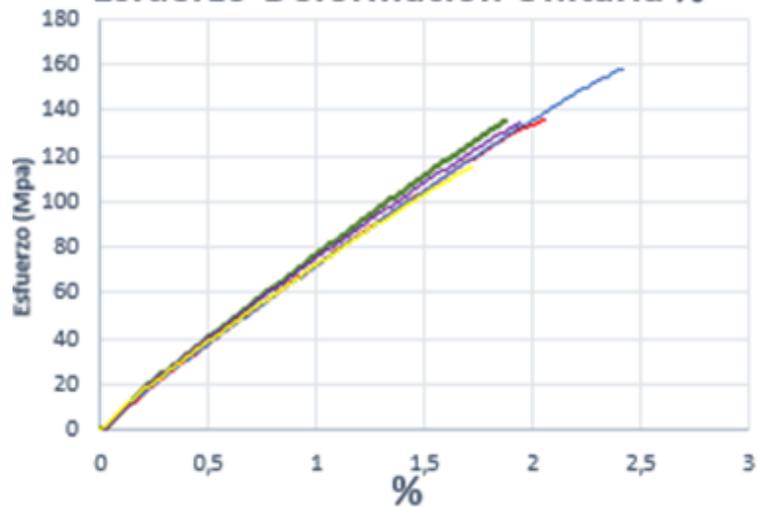


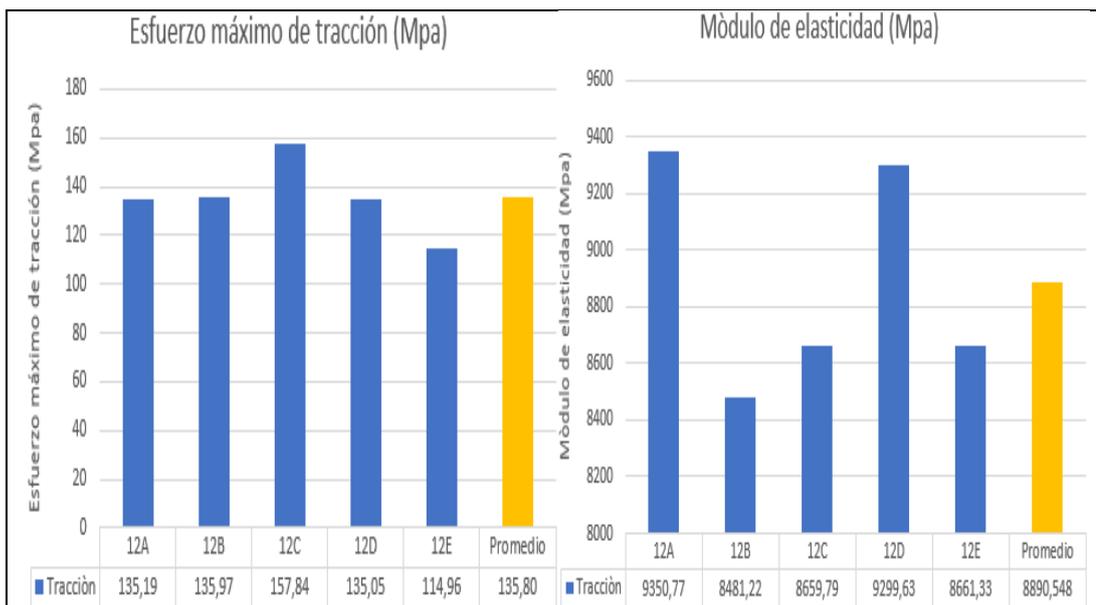
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	135.80	Elaborado por:	Sr. Cesar Cunalata
% Elongación:	2.00	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	6803.47	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	6720.75	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

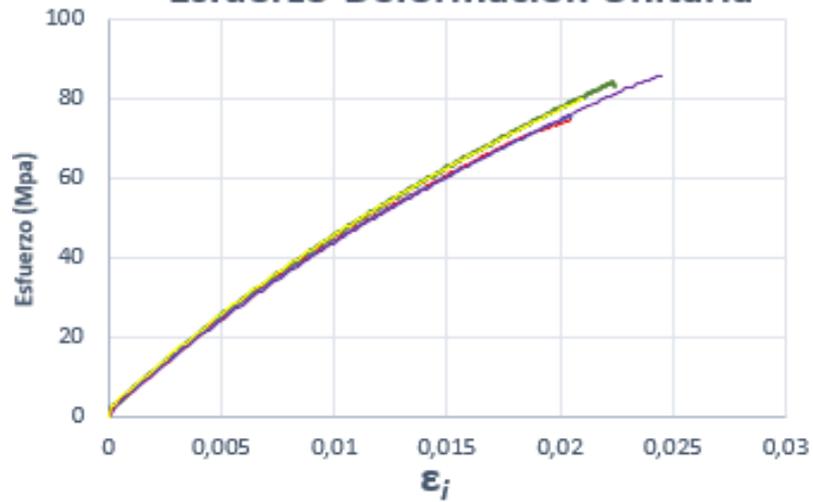
Fuente: Autor

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

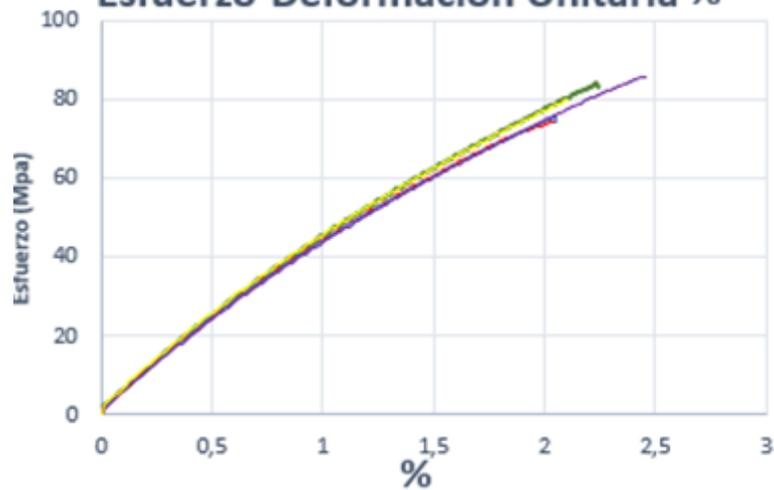
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.5*e	E. promedio (mm):	2.20		
Temperatura curado (°C):	80	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	4564.80	84.69	5676.96	2.23	LGM
2	4049.90	75.14	5800.97	2.03	LGM
3	4096.95	76.01	5591.10	2.37	LGM
4	4659.77	86.45	5671.18	2.44	LGM
5	4351.06	80.72	6247.41	2.09	LGM
Promedio	4344.50	80.60	5797.52	2.17	-
PROBETAS ENSAYADAS					
					

GRÁFICAS

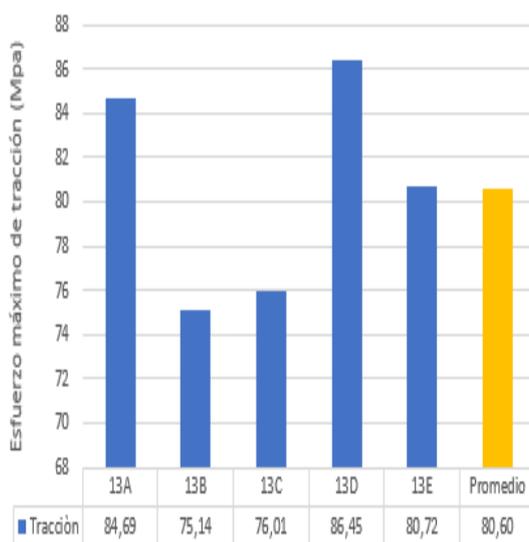
Esfuerzo-Deformación Unitaria



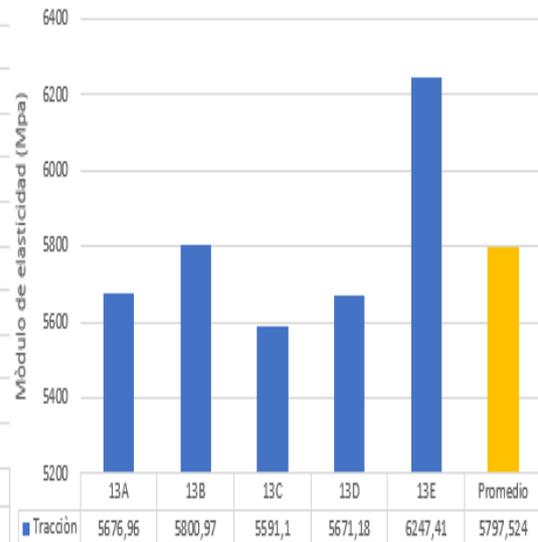
Esfuerzo-Deformación Unitaria %



Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia El tipo falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	81.03	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.30	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	5797.52	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	4344.50	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3. 14 Ficha técnica del material híbrido, caso 14 a tracción

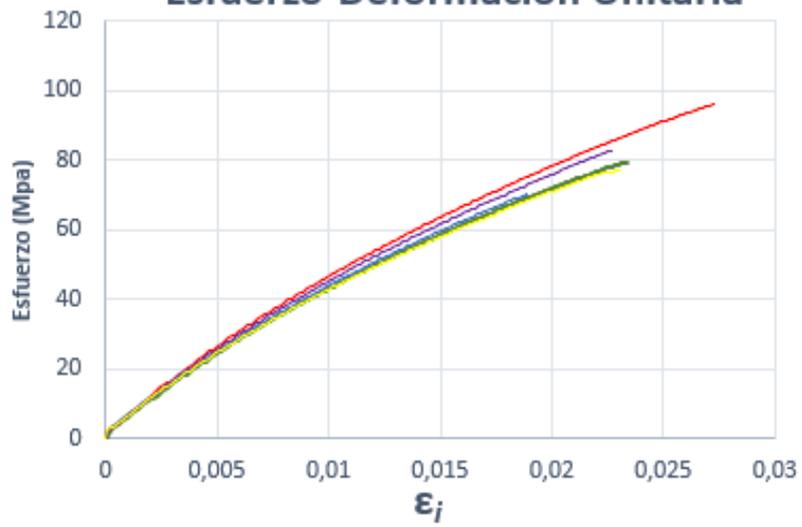
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	104		
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.5*e	E. promedio (mm):	2.40		
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fv+Fv+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	4664.62	79.33	5776.68	2.33	LGM
2	5654.43	96.16	6293.34	2.72	AGM(1)
3	4101.68	69.76	6022.12	1.88	LGM
4	4856.01	82.59	6130.30	2.26	LGM
5	4545.91	77.31	5986.93	2.29	LGM
Promedio	4764.53	81.03	6041.87	2.30	-

PROBETAS ENSAYADAS

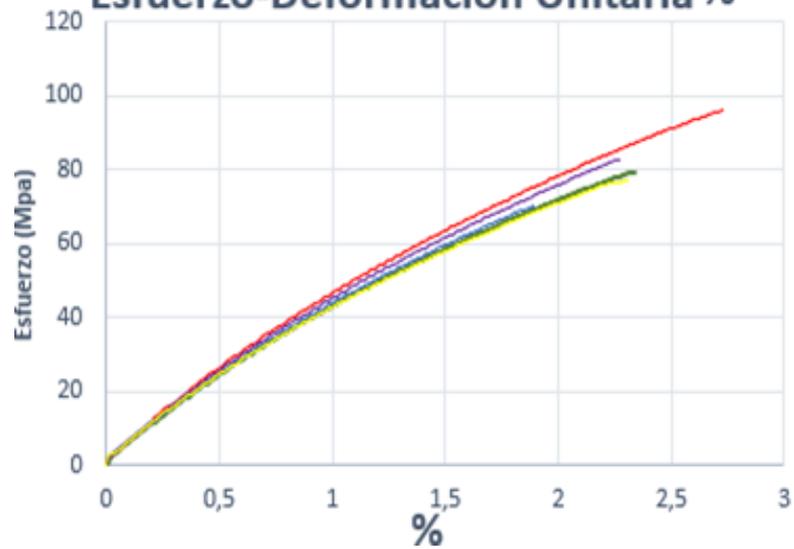


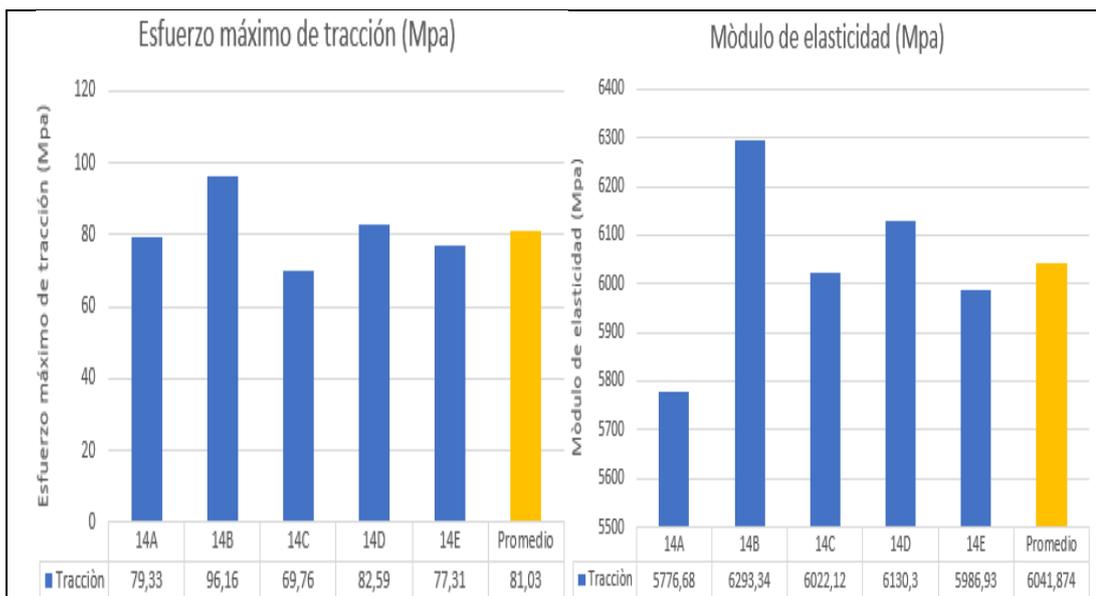
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- La probeta 14B presenta ruptura angular del tipo AGM(1), mientras que el resto de probetas presentan ruptura lateral tipo LGM

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	81.03	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.30	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	6041.87	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	4764.53	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

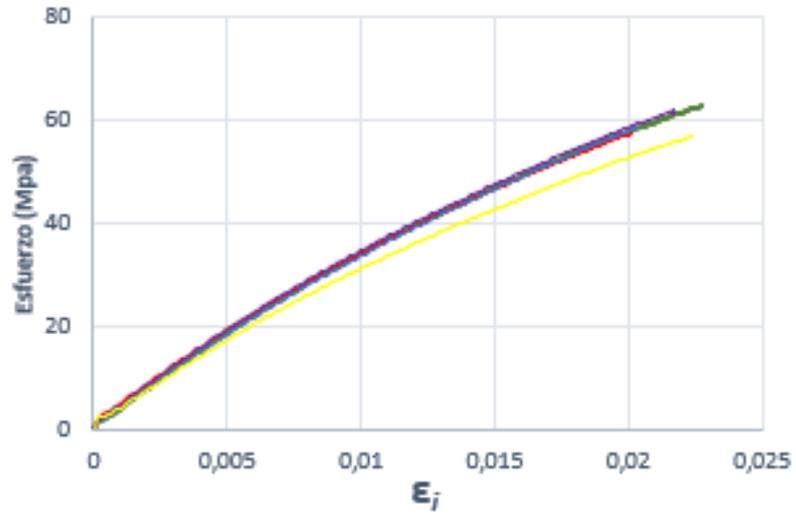
Fuente: Autor

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

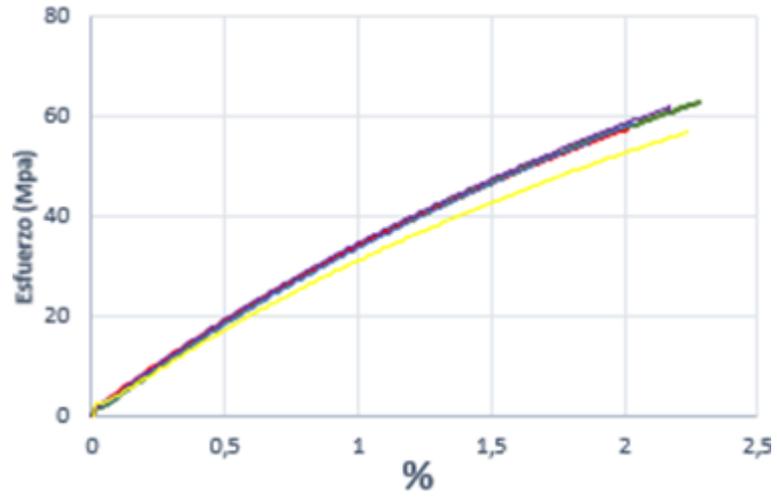
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA					
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS					
DATOS INFORMATIVOS					
Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolqui		
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército Laboratorio de Mecánica de Materiales				
Máquina:	Máquina de Ensayos Universales INSTRON				
PARÁMETROS DE ENSAYO					
Tipo de ensayo:	Tracción	Norma:	ASTM D3039		
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105		
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105		
Orientación de la fibra:	90°	Estratificación:	Al vacío		
Dimensiones (mm):	250*24.9*e	E. promedio (mm):	2.60		
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fv+Fab		
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5		
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado
1	4047.46	62.52	4107.25	2.27	LGM
2	3704.48	57.22	4511.11	1.99	LGM
3	3798.52	58.67	4052.67	2.03	LGM
4	3992.34	61.67	4437.50	2.15	LGM
5	3671.55	56.71	3904.58	2.23	LGM
Promedio	3842.87	59.36	4202.62	2.14	-
PROBETAS ENSAYADAS					
					

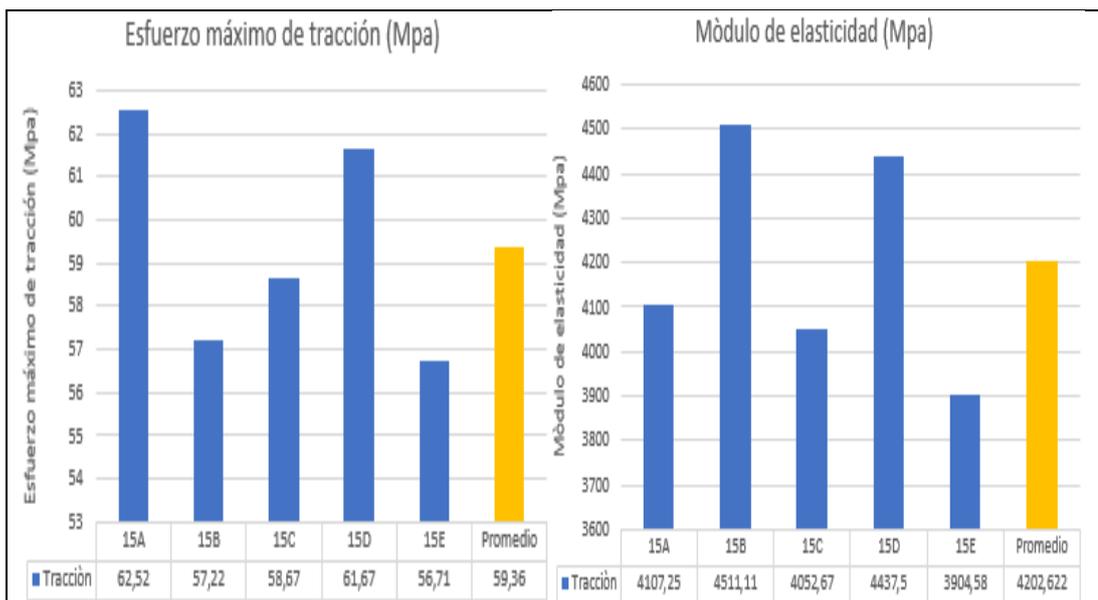
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación Unitaria



Esfuerzo-Deformación Unitaria %





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es LGM que se refiere que la ruptura es lateral, dentro de la zona calibrada y en la parte media de la probeta

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de tracción (MPa):	59.36	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
% Elongación:	2.14	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Módulo de elasticidad (MPa):	7593.10	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	3842.87	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

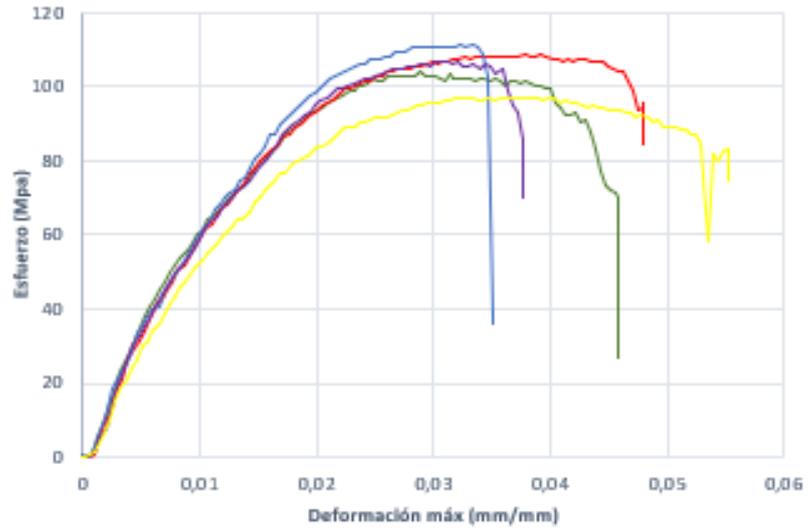
3.1.2. Fichas de recolección de datos de probetas ensayadas a flexión

Tabla 3.16 Ficha técnica del material híbrido, caso 1 a flexión

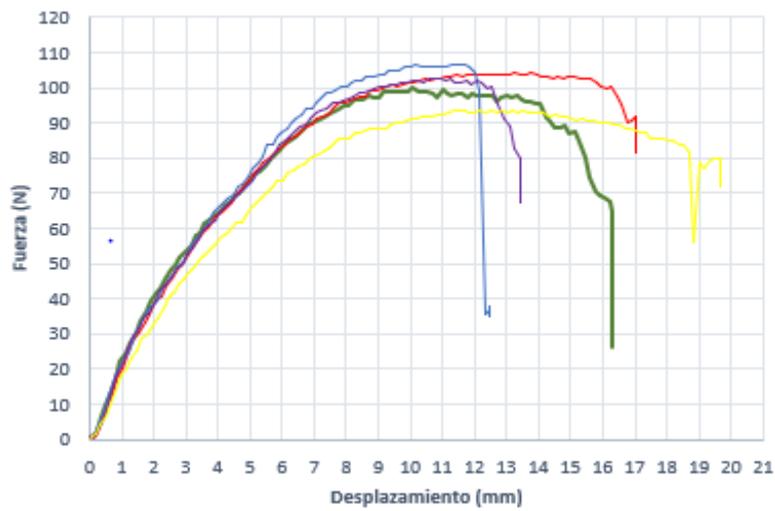
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	101			
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	101			
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.8*e	E. promedio (mm):	3			
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fab+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	28.8	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	99.89	10.08	104.06	7785.58	0,028	OAU
2	104.30	13.26	108.64	7585.05	0,037	OAU
3	106.80	11.66	111.25	8550.60	0,033	OAU
4	102.40	11.24	106.66	7517.16	0,032	OAU
5	93.30	11.35	97.18	6527.10	0,032	OAU
Promedio	101.34	11.52	105.56	7593.10	0.032	-
PROBETAS ENSAYADAS						
 						

GRÁFICAS

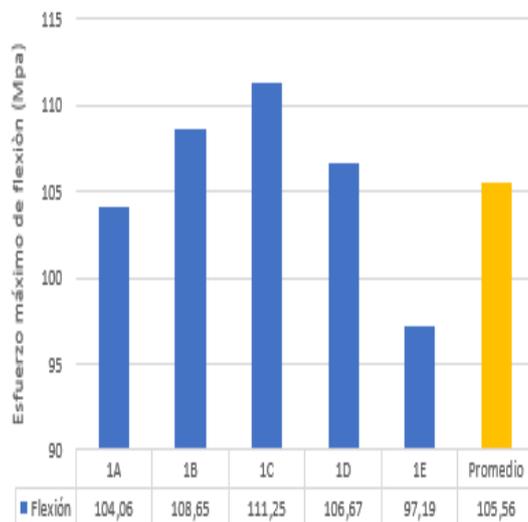
Esfuerzo-Deformación máxima



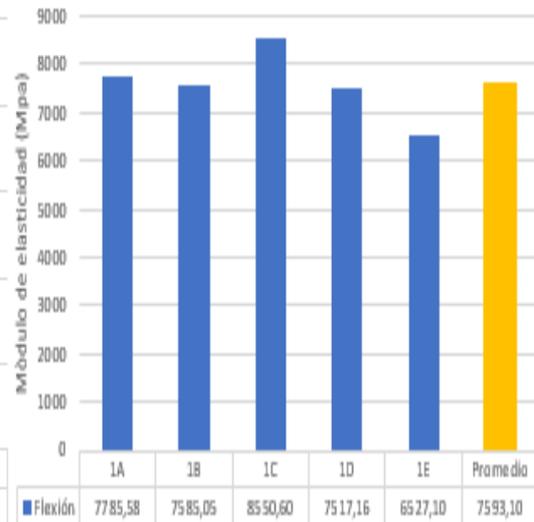
Fuerza-Desplazamiento



Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



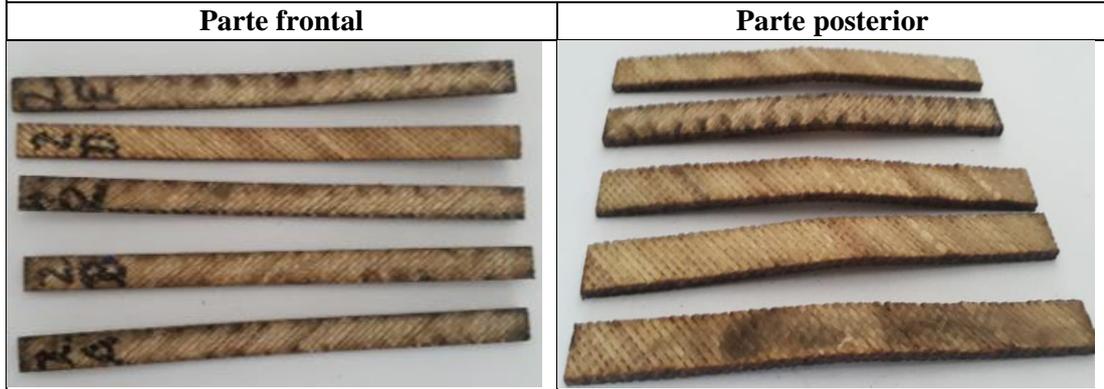
OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia El tipo falla es OAU que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que desconoce su ubicación 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	105.56	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	7593.10	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.032	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	101.34	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3.17 Ficha técnica del material híbrido, caso 2 a flexión

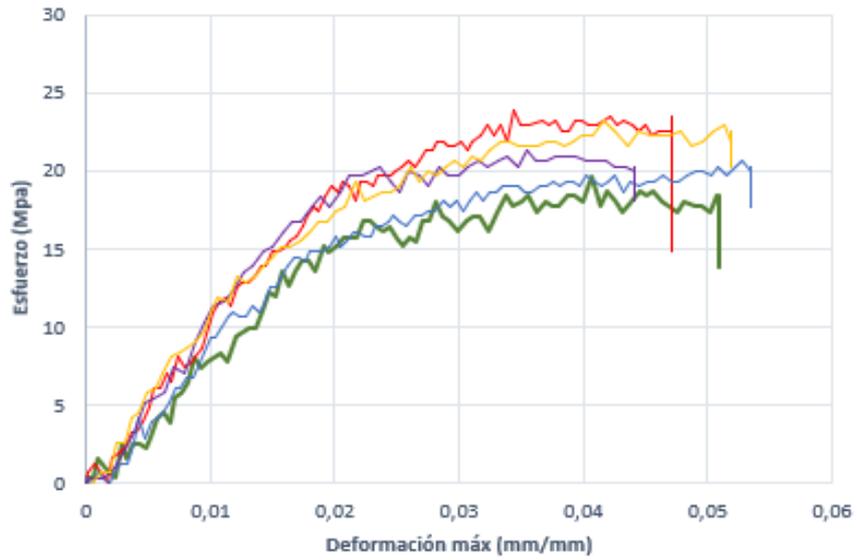
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	103			
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	103			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*13*e	E. promedio (mm):	3			
Temperatura curado (°C):	20	Orden de capas	Fab+Fab+Fab			
Inercia (mm ⁴):	46.44	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	19.16	14.20	19.65	1078,14	0,040	OAU
2	23.25	12.06	24.03	895,06	0,034	OAU
3	20.11	18.55	20.78	541,84	0,052	OAU
4	20.73	12.33	21.43	865,75	0,035	OAU
5	22.62	14.48	23.38	1035,50	0,041	OAU
Promedio	21.17	14.32	21.72	883.26	0.040	-

PROBETAS ENSAYADAS

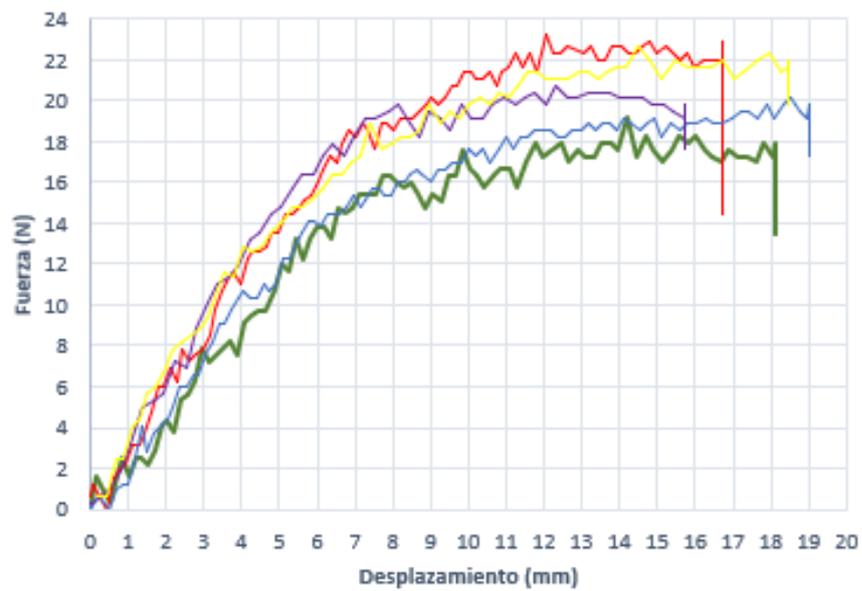


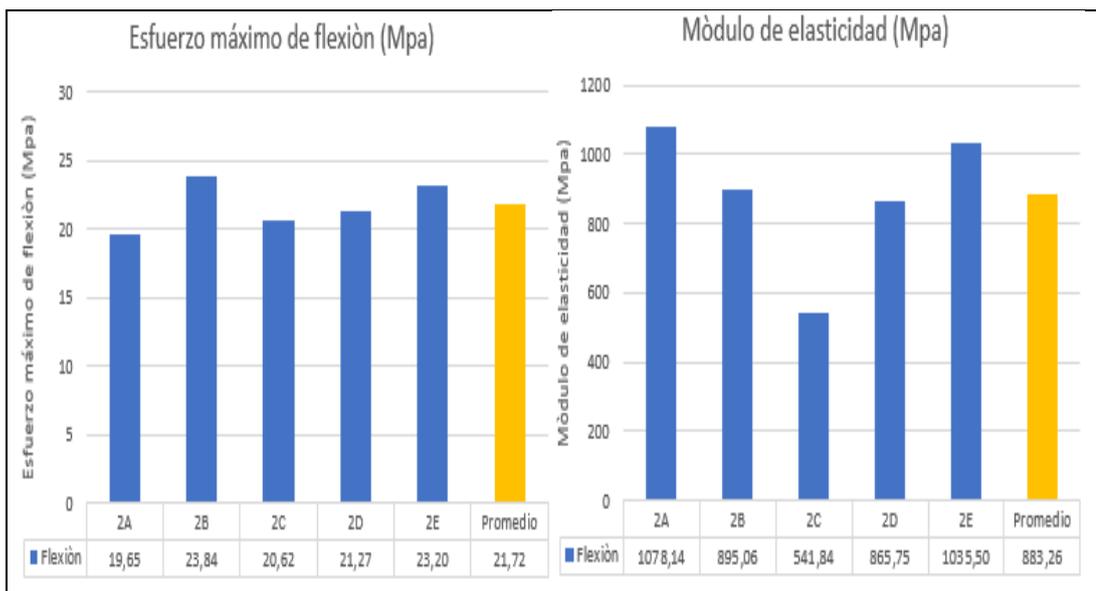
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAU que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que desconoce su ubicación

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	21.85	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	883.26	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.040	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	21.17	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

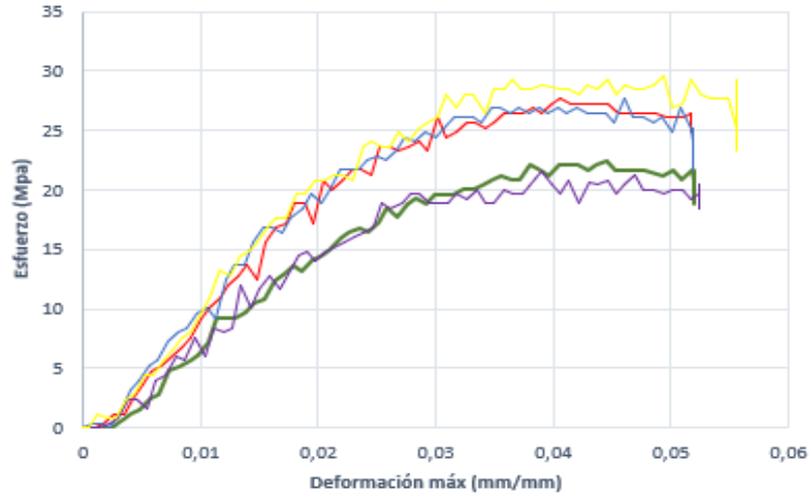
Fuente: Autor

Tabla 3.18 Ficha técnica del material híbrido, caso 3 a flexión

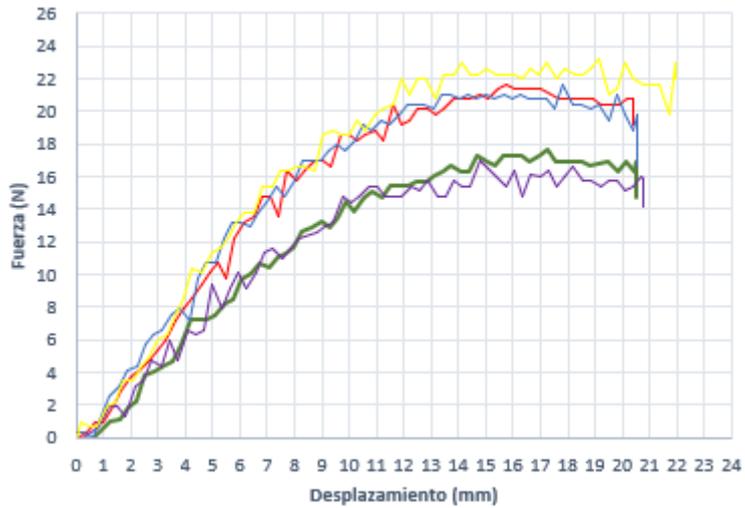
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104			
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	104			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.9*e	E. promedio (mm):	2.70			
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fab+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	21.15	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	17.59	17.26	22.45	241,76	0,044	OAU
2	21.67	15.72	27.66	463,75	0,040	OAU
3	21.67	17.84	27.66	584,59	0,045	OAU
4	16.95	14.75	21.63	362,64	0,037	OAU
5	23.24	19.14	29.66	397,22	0,048	OAU
Promedio	20.23	16.95	25.81	409.99	0.043	-
PROBETAS ENSAYADAS						
Parte frontal			Parte posterior			
						

GRÁFICAS

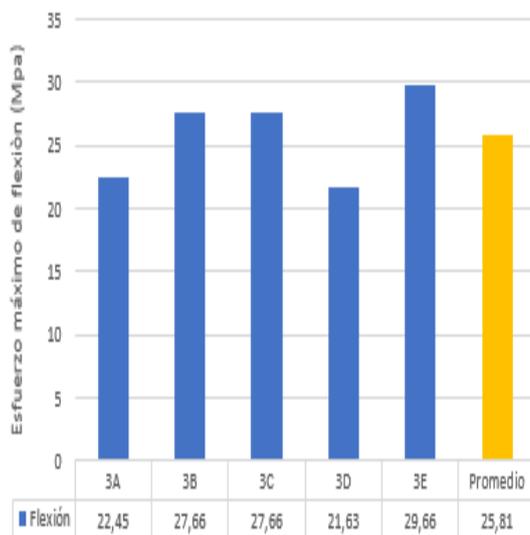
Esfuerzo-Deformación máxima



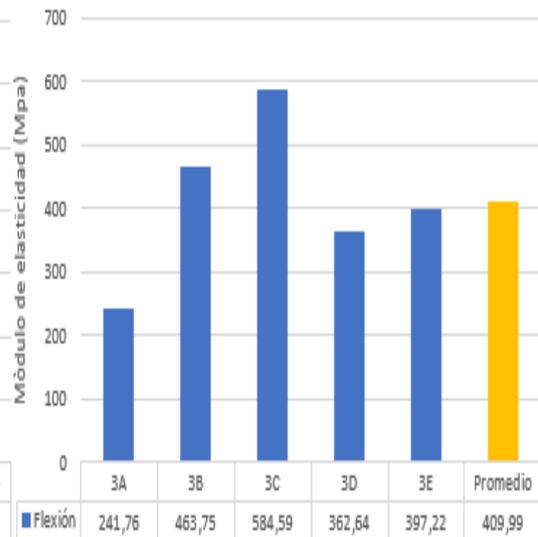
Fuerza-Desplazamiento



Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia El tipo falla es OAU que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que desconoce su ubicación 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	25.85	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	409.99	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.043	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	20.23	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3.19 Ficha técnica del material híbrido, caso 4 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105			
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	105			
Orientación de la fibra:	45°,0°,135°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.7*e	E. promedio (mm):	2.90			
Temperatura curado (°C):	50	Orden de capas	Fab+Fab+Fab			
Inercia (mm ⁴):	25.81	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	27.02	15.83	30.35	686,90	0,043	OAU
2	25.45	17.71	28.59	424,98	0,048	OAU
3	28.59	16.94	32.12	865,46	0,046	OAU
4	27.22	16.27	30.58	749,74	0,044	OAU
5	31.10	15.28	34.94	826,94	0,042	OAU
Promedio	27.87	16.40	31.32	710.80	0.045	-

PROBETAS ENSAYADAS

Parte frontal

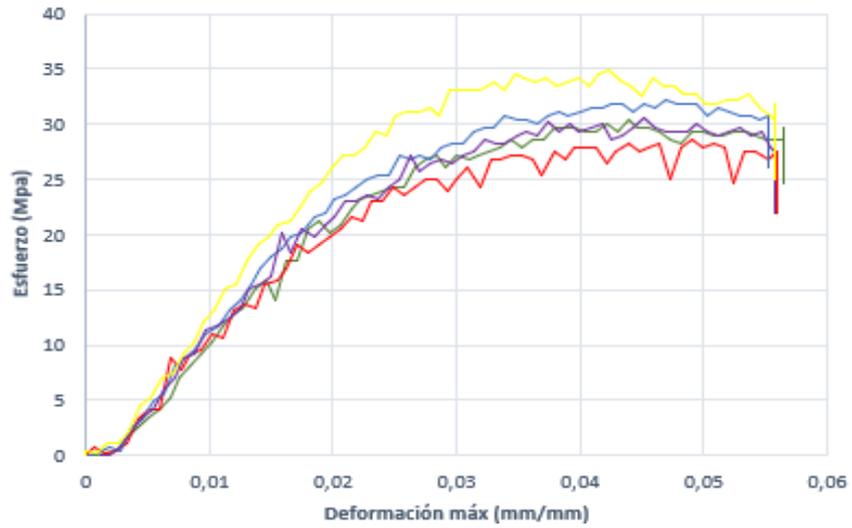


Parte posterior

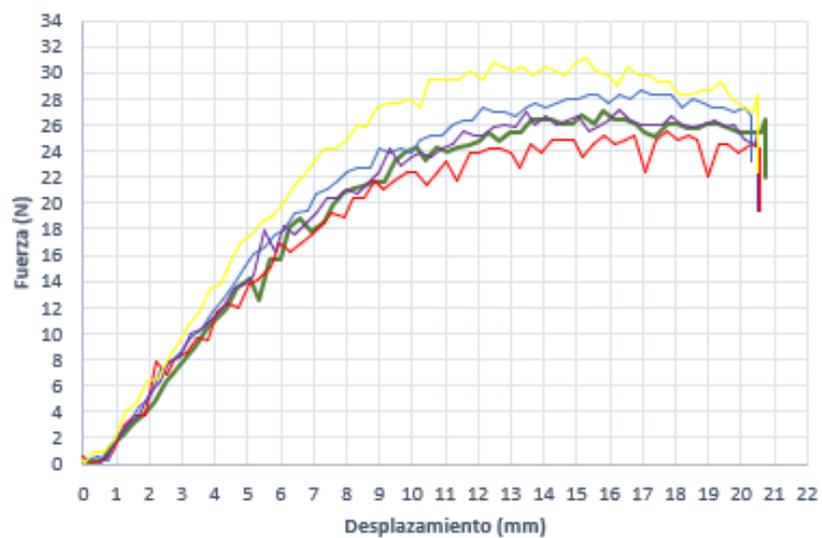


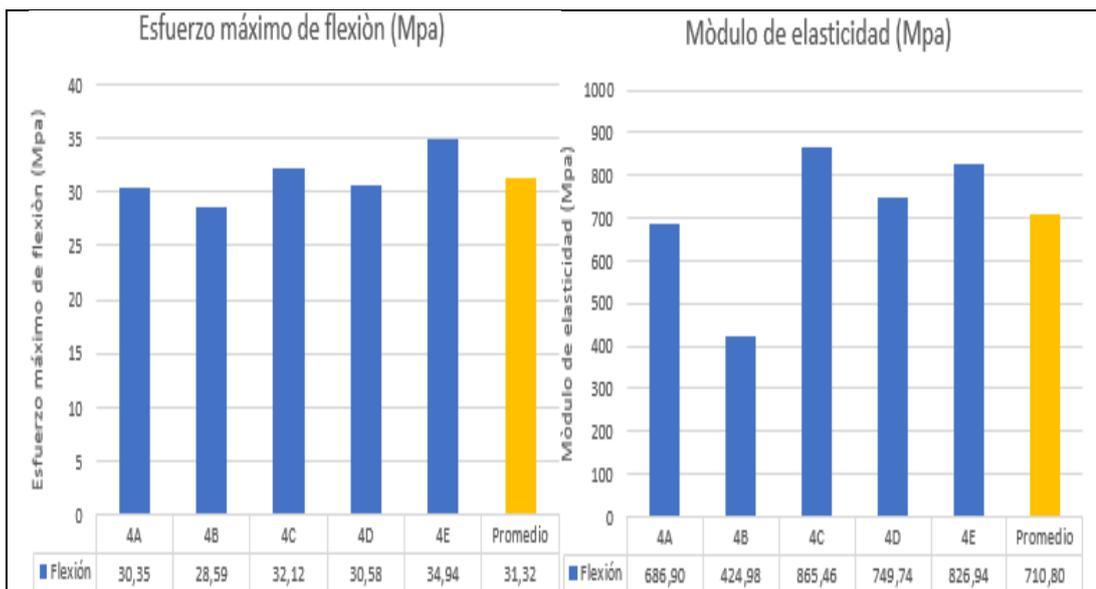
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAU que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que desconoce su ubicación

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	31.32	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	710.80	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.045	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	27.87	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

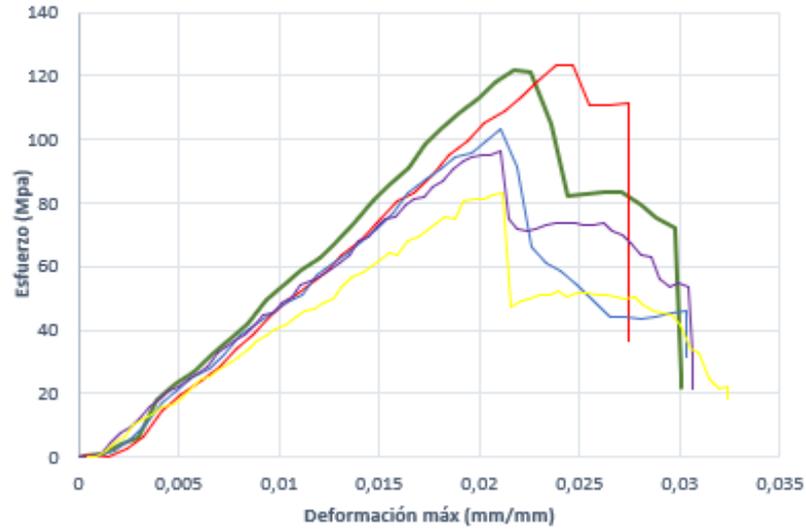
Fuente: Autor

Tabla 3.20 Ficha técnica del material híbrido, caso 5 a flexión

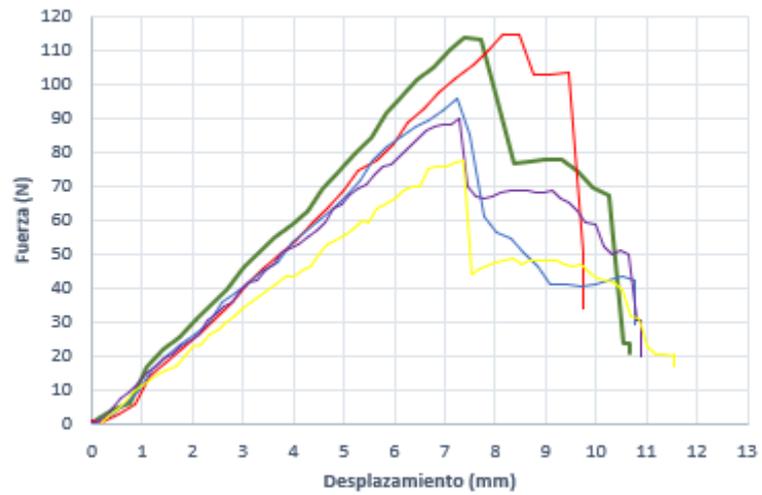
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106			
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.4*e	E. promedio (mm):	3.0			
Temperatura curado (°C)	20 °C	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	27.9	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	113.40	7.39	121.94	2980,93	0,021	OAT
2	114.70	8.46	123.33	2567,70	0,024	OAT
3	95.82	7.23	103.03	4029,65	0,020	OAT
4	89.053	7.30	96.27	4656,30	0,021	OAT
5	77.28	7.35	83.10	4306,96	0,021	OAT
Promedio	98.15	7.55	105.53	3708.31	0.021	-
PROBETAS ENSAYADAS						
Parte frontal			Parte posterior			
						

GRÁFICAS

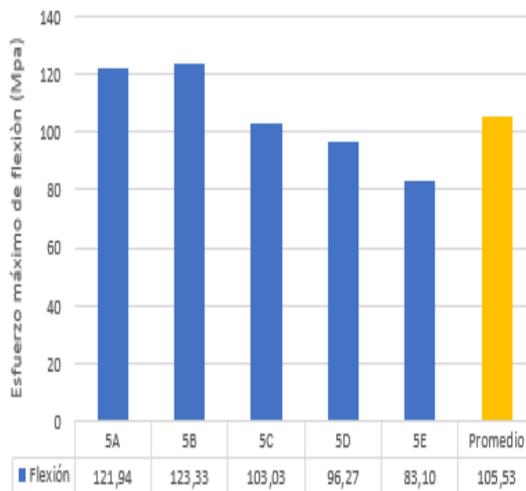
Esfuerzo-Deformación máxima



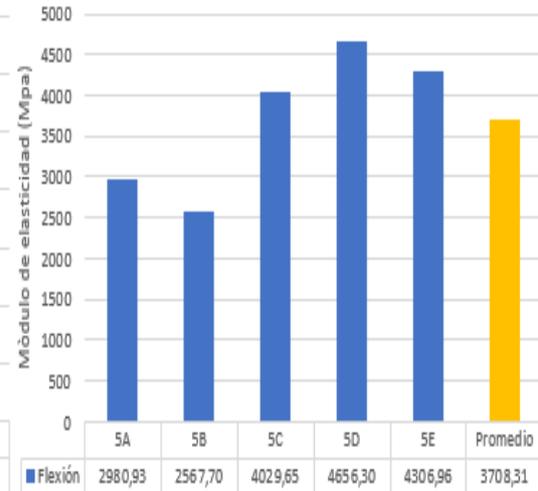
Fuerza-Desplazamiento



Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	105.53	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	3708.31	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.021	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	98.15	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3.21 Ficha técnica del material híbrido, caso 6 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105			
Orientación de la fibra:	0°	Conformado:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.9*e	E. promedio (mm):	2.60			
Temperatura curado(°C):	80	Orden de capas	Fv+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	18.89	Longitud de soportes(mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	91.42	9.80	125.80	4040,51	0,024	OAT
2	89.53	10.81	123.20	2779,67	0,026	OAT
3	79.48	9.21	109.37	2195,82	0,022	OAT
4	91.73	10.15	126.23	2595,27	0,025	OAT
5	104.90	10.48	144.35	2695,85	0,026	OAT
Promedio	91.41	10.09	125.79	2861.42	0.025	-

PROBETAS ENSAYADAS

Parte frontal

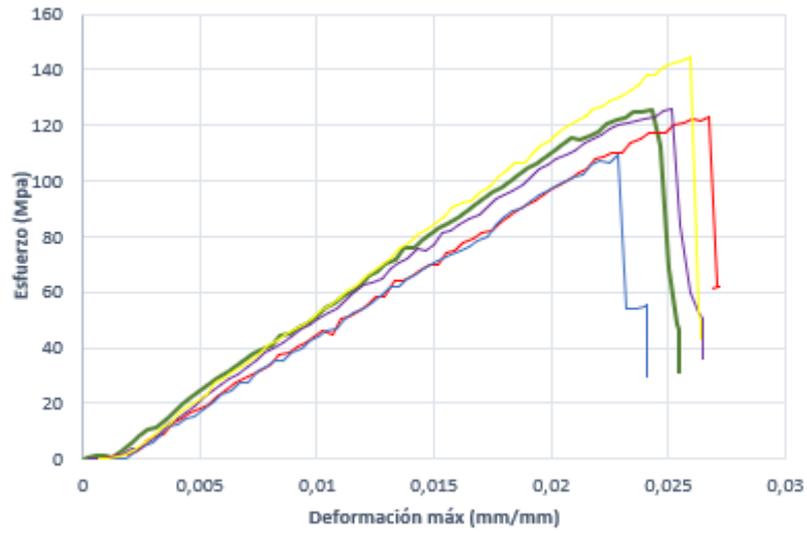


Parte posterior

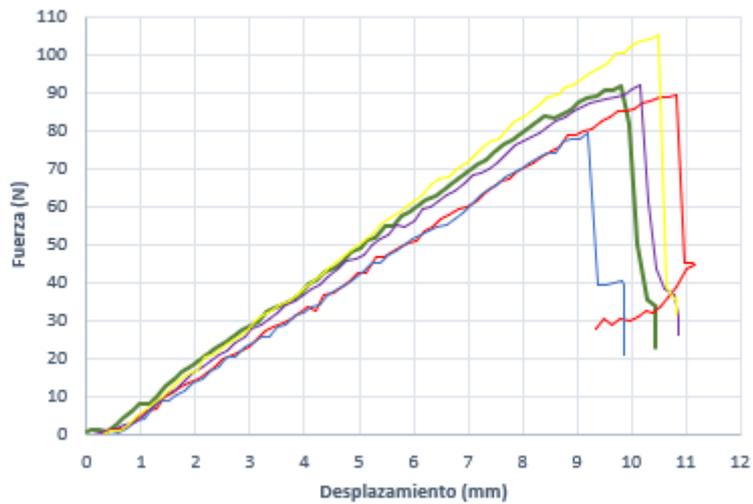


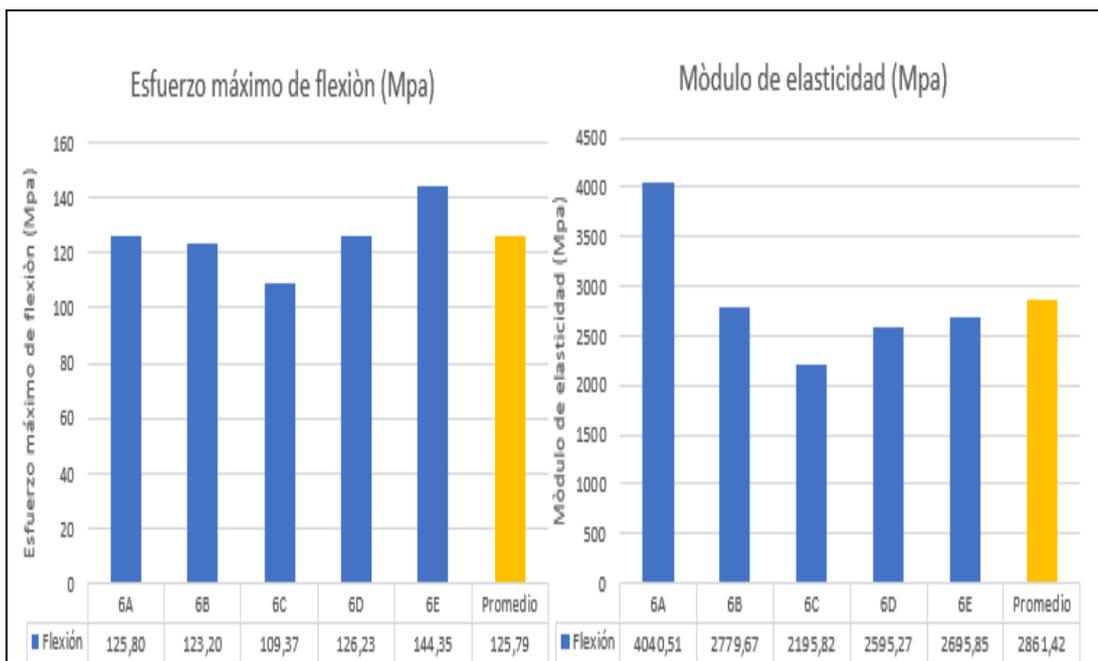
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	125.79	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	2861.42	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.025	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	91.41	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

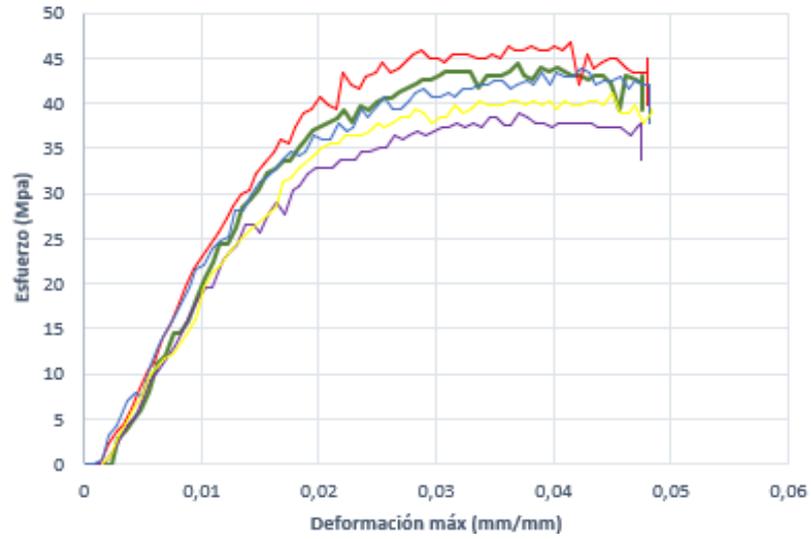
Fuente: Autor

Tabla 3.22 Ficha técnica del material híbrido, caso 7 a flexión

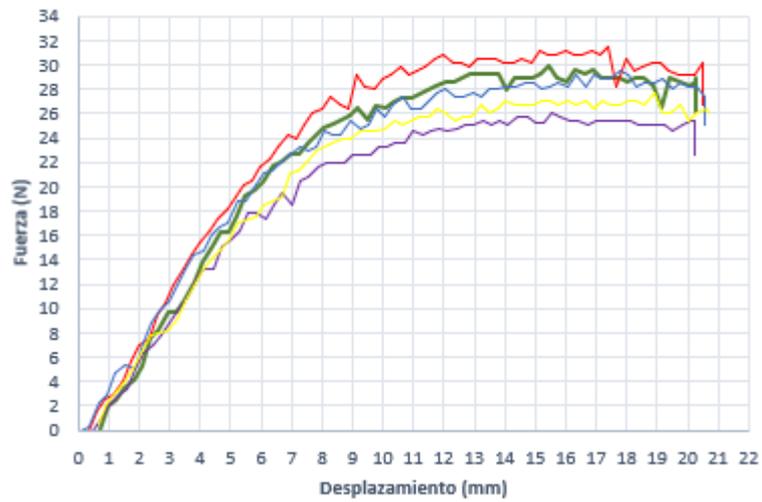
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.9*e	E. promedio (mm):	2.50			
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	16.79	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	29.84	15.45	44.42	1265,56	0,036	OAU
2	31.42	17.39	46.76	1807,30	0,041	OAU
3	29.53	17.78	43.95	1936,63	0,042	OAU
4	26.07	15.54	38.81	1248,10	0,036	OAU
5	27.65	18.89	41.15	1466,85	0,044	OAU
Promedio	29.80	17.01	43.02	1544.89	0.040	-
PROBETAS ENSAYADAS						
Parte frontal			Parte posterior			
						

GRÁFICAS

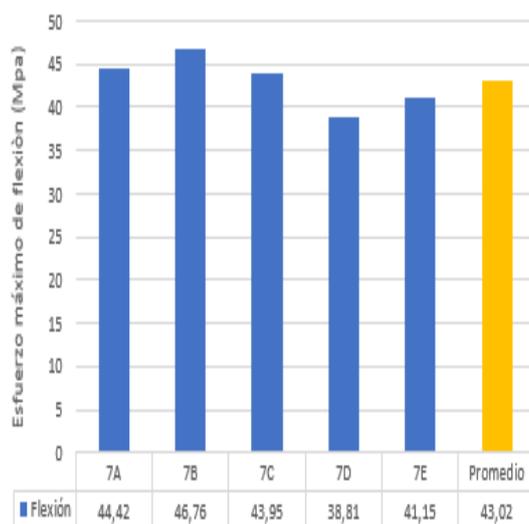
Esfuerzo-Deformación máxima



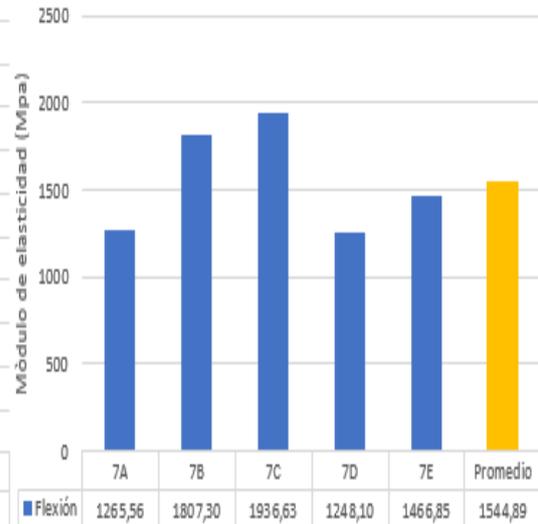
Fuerza-Desplazamiento



Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia El tipo falla es OAU que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que desconoce su ubicación 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	43.02	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	1492.67	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.039	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	28.90	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3.23 Ficha técnica del material híbrido, caso 8 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	107			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.7*e	E. promedio (mm):	2.50			
Temperatura curado (°C):	50 °C	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	16.53	Longitud de soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	26.70	16.61	40.37	1160,45	0,039	OAU
2	32.67	14.69	49.39	1688,53	0,034	OAU
3	29.88	15.05	45.18	1487,14	0,035	OAU
4	32.67	17.67	49.39	1489,88	0,041	OAU
5	31.73	19.57	47.97	1637,36	0,046	OAU
Promedio	30.73	16.72	46.46	1492.67	0.039	-

PROBETAS ENSAYADAS

Parte frontal

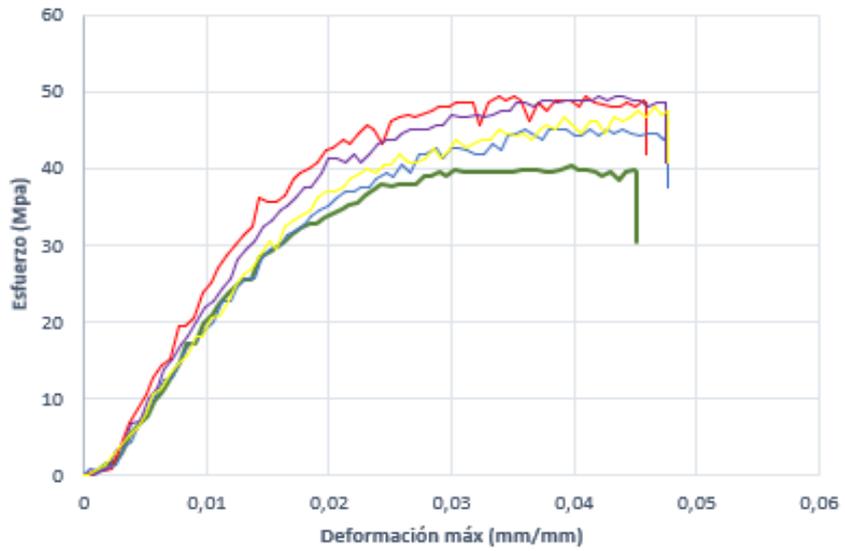


Parte posterior

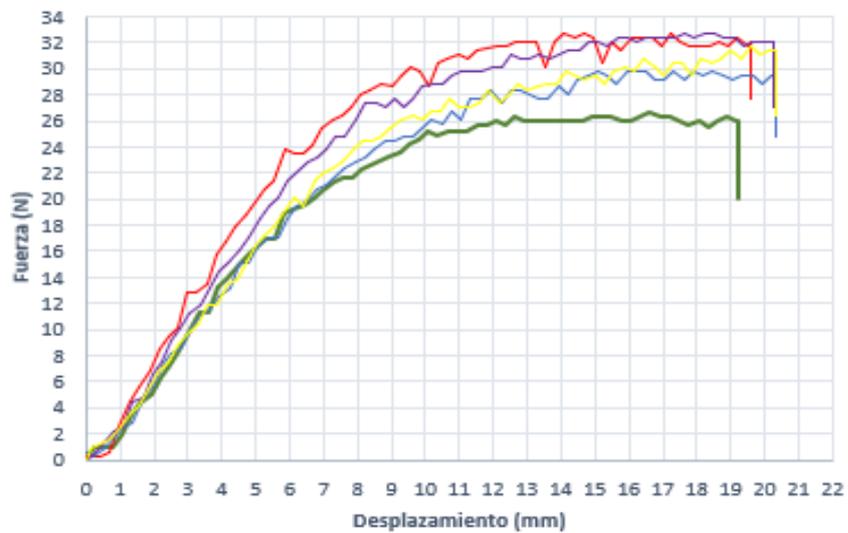


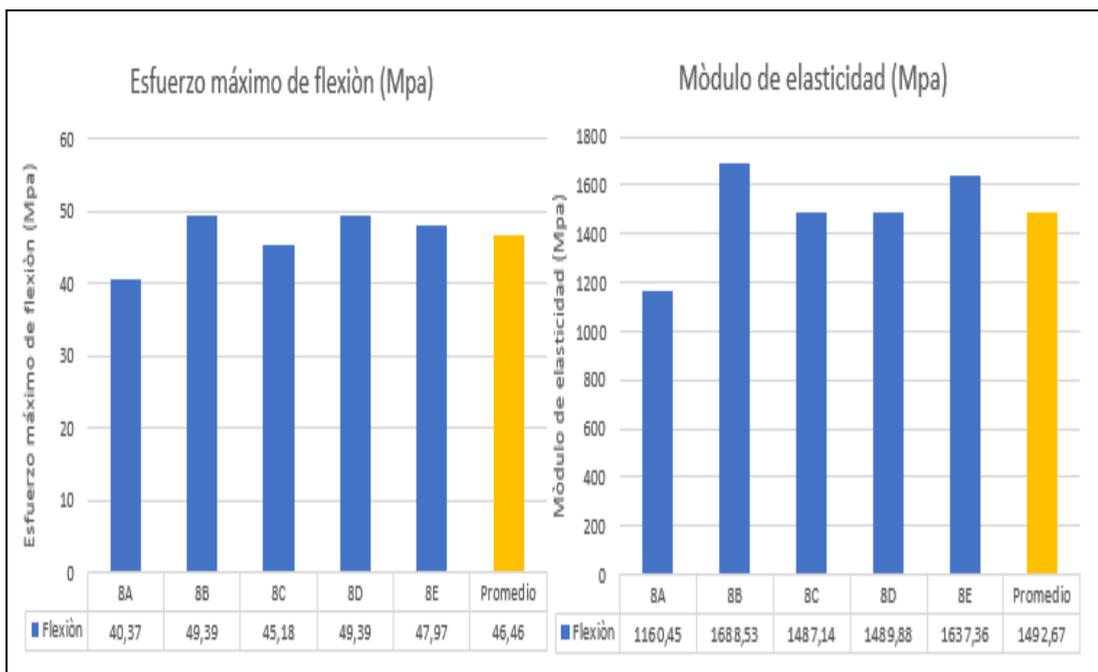
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAU que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que desconoce su ubicación

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	46.46	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	1492.67	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.039	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	30.73	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

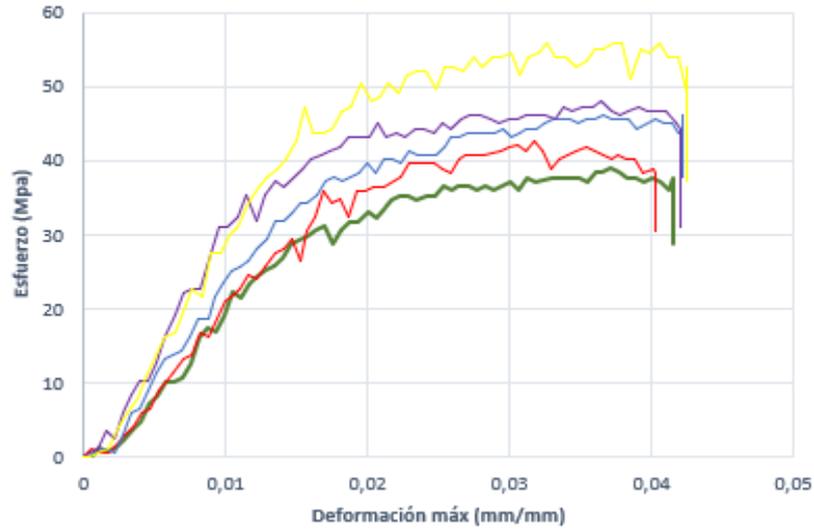
Fuente: Autor

Tabla 3.24 Ficha técnica del material híbrido, caso 9 a flexión

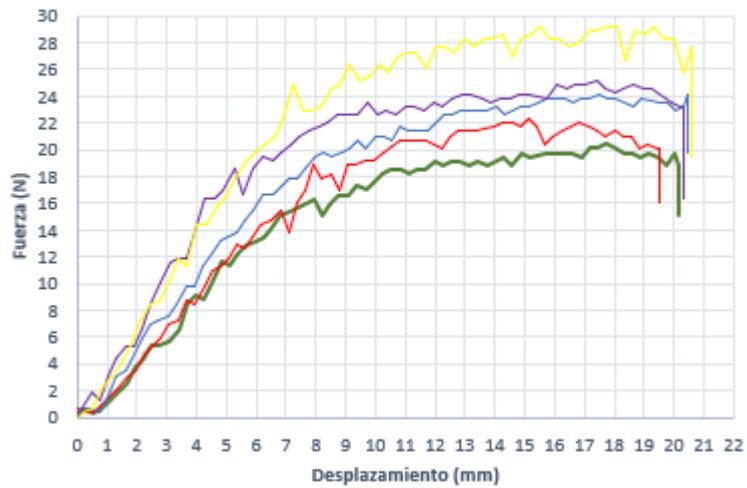
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*13*e	E. promedio (mm):	2.20			
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	11.53	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	20.42	17.74	38.94	1069,31	0,037	OAT
2	23.31	15.13	44.45	1323,04	0,031	OAT
3	24.19	17.50	46.13	1420,04	0,036	OAT
4	25.13	17.39	47.93	2792,78	0,036	OAT
5	29.22	15.51	55.72	2495,25	0,032	OAT
Promedio	24.45	16.65	46.64	1820.08	0.034	-
PROBETAS ENSAYADAS						
Parte frontal			Parte posterior			
						

GRÁFICAS

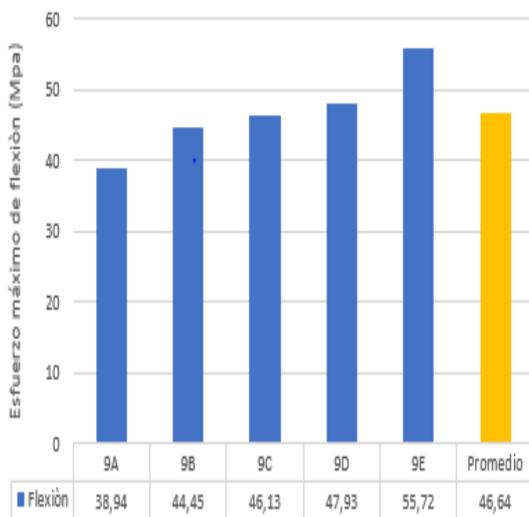
Esfuerzo-Deformación máxima



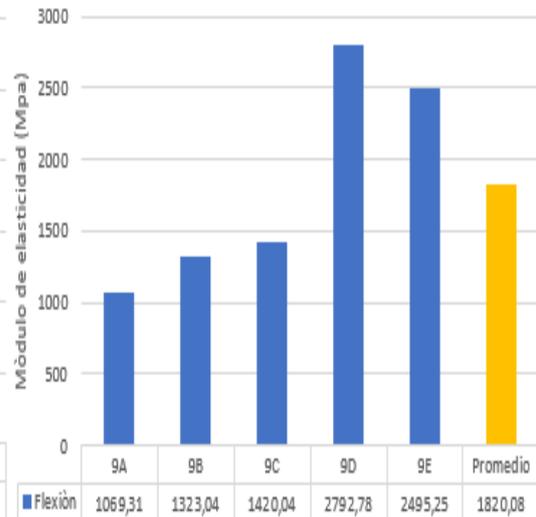
Fuerza-Desplazamiento



Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia • El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	46.64	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	1820.08	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.034	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	24.45	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3.25 Ficha técnica del material híbrido, caso 10 a flexión

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO				
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA						
INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105			
Orientación de la fibra:	90°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.4*e	E. promedio (mm):	2.50			
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	16.14	Longitud de soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	14.42	13.49	22.33	401,63	0,032	OAU
2	14.14	14.95	21.89	466,16	0,035	OAU
3	12.88	16.02	19.94	432,63	0,038	OAU
4	16.41	15.08	25.41	458,94	0,035	OAU
5	13.19	17.03	20.43	706,39	0,040	OAU
Promedio	14.21	15.31	22.00	493.15	0.036	-

PROBETAS ENSAYADAS

Parte frontal

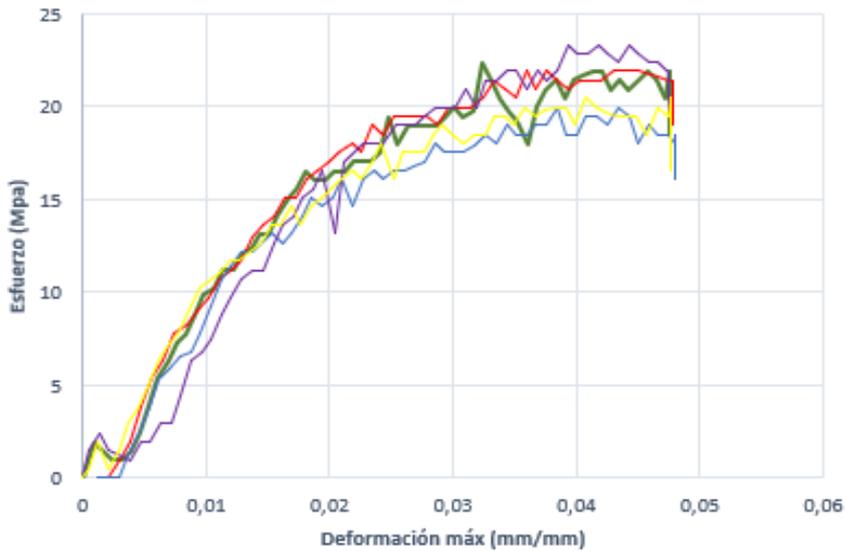


Parte posterior

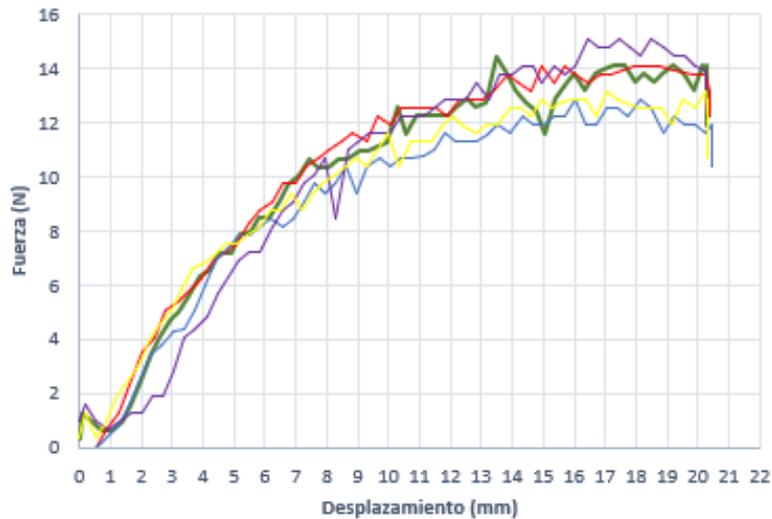


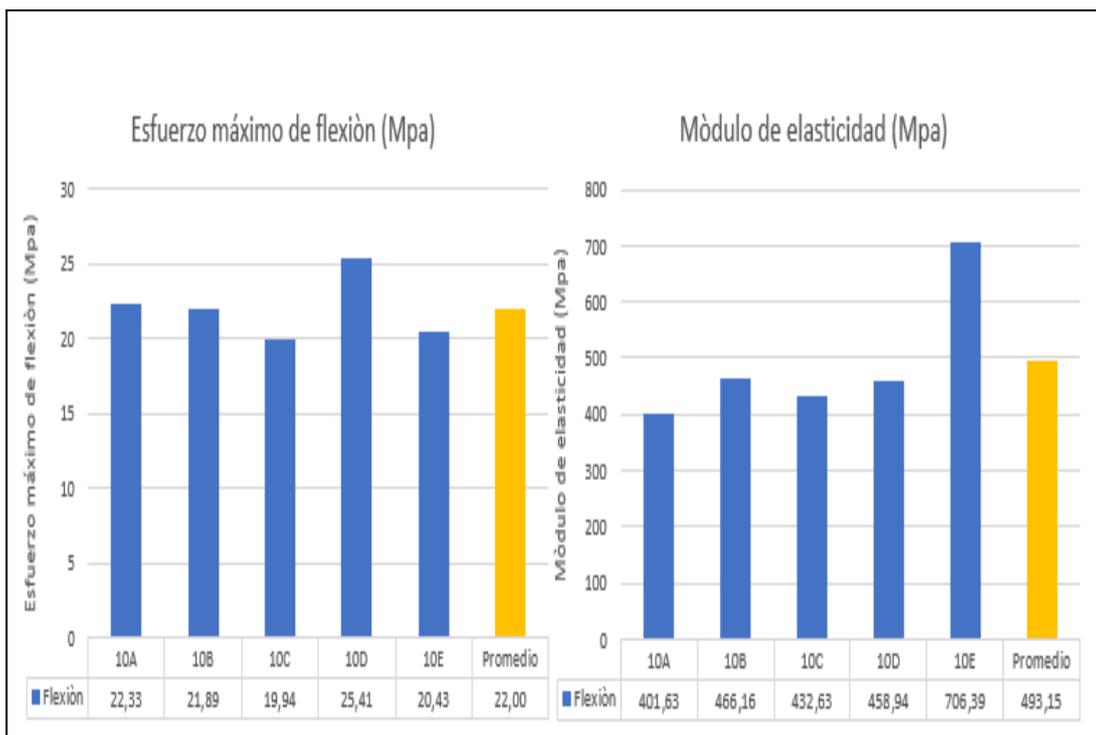
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAU que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que desconoce su ubicación

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	22.00	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	493.15	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.036	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	14.21	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

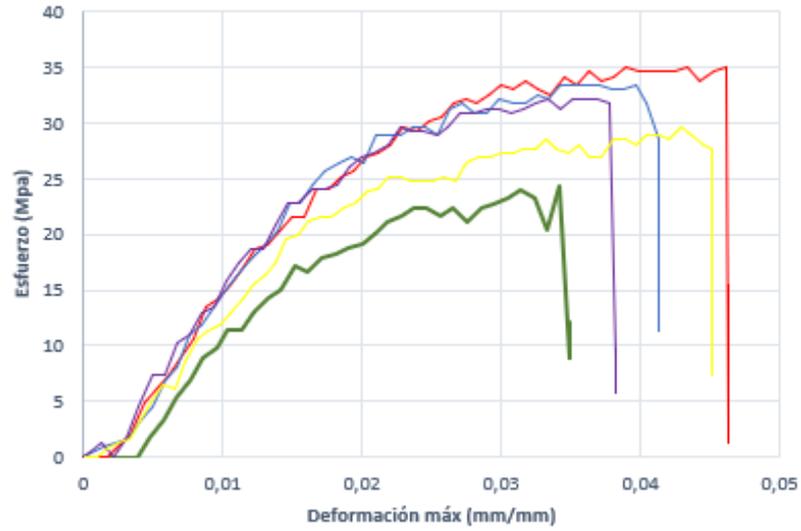
Fuente: Autor

Tabla 3.26 Ficha técnica del material híbrido, caso 11 a flexión

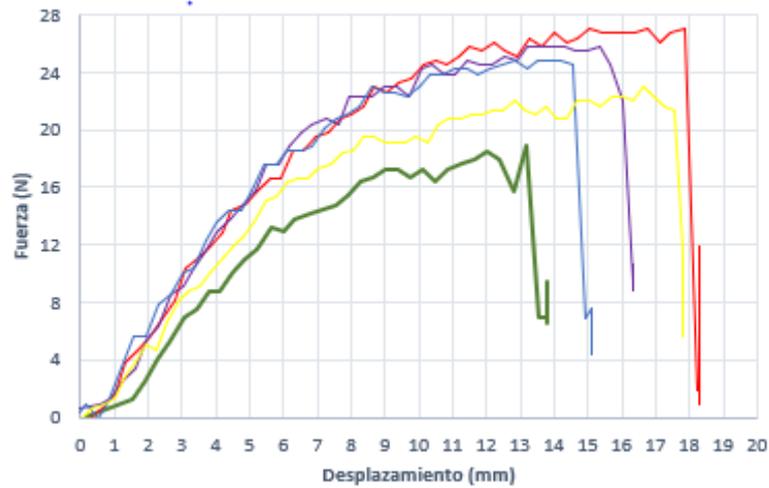
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	104			
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.7*e	E. promedio (mm):	2.70			
Temperatura curado (°C):	80	Orden de las capas	Fv+Fab+Fab			
Inercia (mm⁴):	20.83	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	18.85	13.16	24.43	424,29	0,033	OAT
2	27.02	17.87	35.02	799,64	0,045	OAT
3	25.76	15.32	33.39	708,09	0,039	OAT
4	24.82	12.81	32.17	727,65	0,032	OAT
5	22.93	16.62	29.72	641,73	0,042	OAT
Promedio	23.88	15.16	30.95	660.28	0.038	-
PROBETAS ENSAYADAS						
Parte frontal			Parte posterior			
						

GRÁFICAS

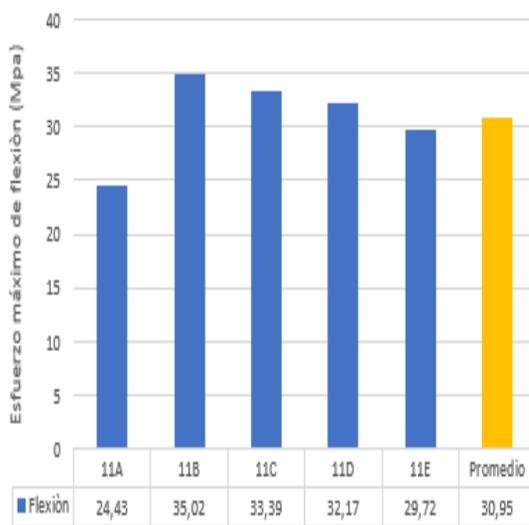
Esfuerzo-Deformación máxima



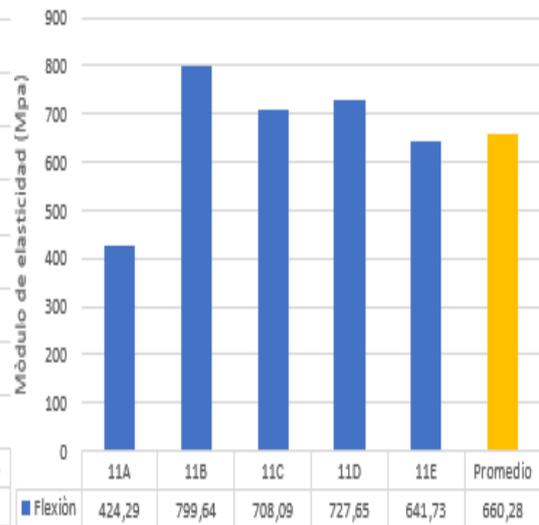
Fuerza-Desplazamiento



Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)



Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	30.95	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa)	2041.22	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.025	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N)	23.88	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3.27 Ficha técnica del material híbrido, caso 12 a flexión

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105			
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.9*e	E. promedio (mm):	2.50			
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fv+Fab			
Inercia (mm ⁴):	16.80	Longitud soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
N° de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	110.00	13.75	163.72	2619,36	0,032	OAT
2	94.56	10.88	140.74	1369,62	0,026	OAT
3	67.86	9.40	100.99	1936,62	0,022	OAT
4	85.13	10.95	126.71	2649,13	0,026	OAT
5	49.01	7.98	72.94	1631,36	0,019	OAT
Promedio	81.31	10.59	121.02	2041.22	0.025	-

PROBETAS ENSAYADAS

Parte frontal

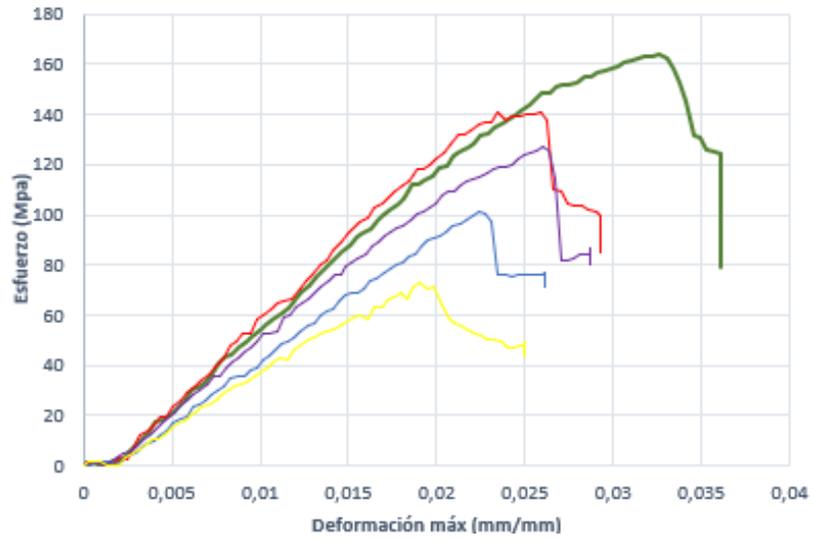


Parte posterior

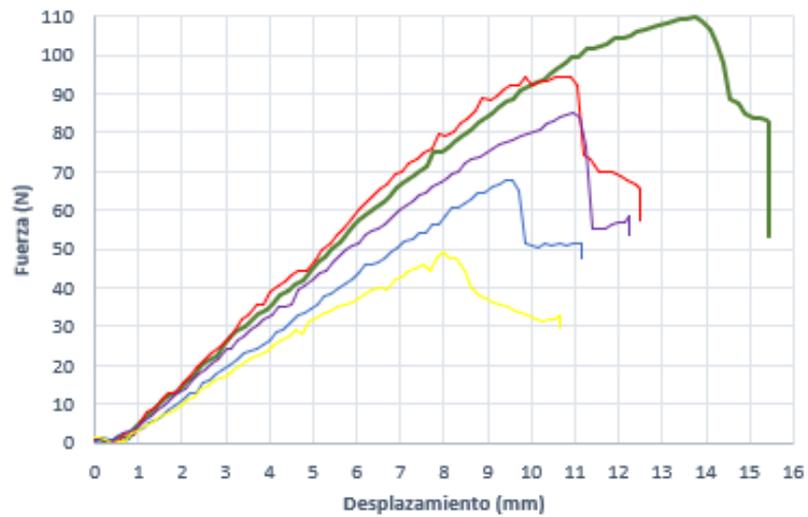


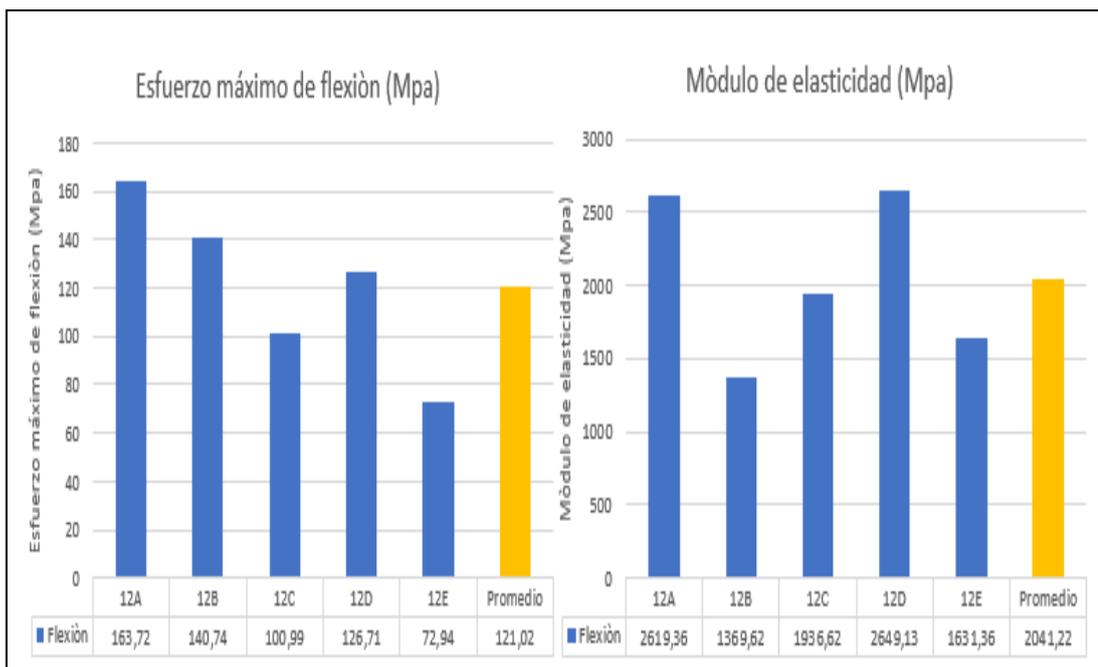
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	121.02	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	2041.22	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.025	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N)	81.31	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

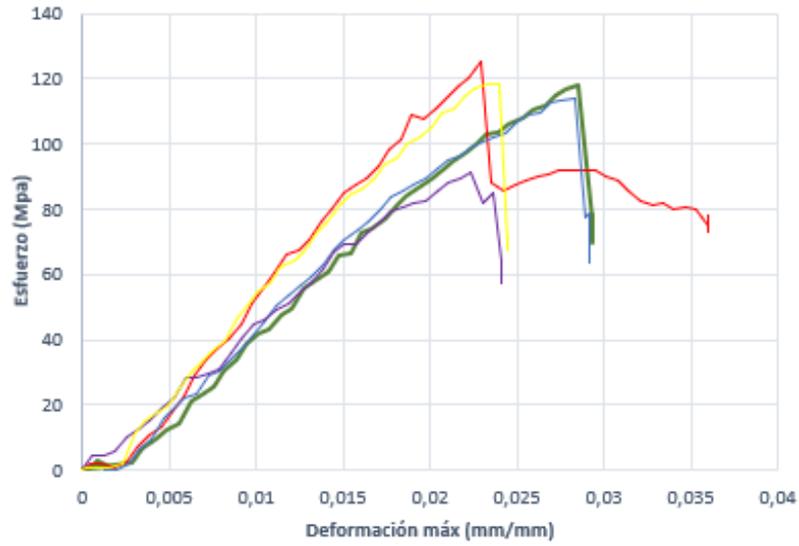
Fuente: Autor

Tabla 3.28 Ficha técnica del material híbrido, caso 13 a flexión

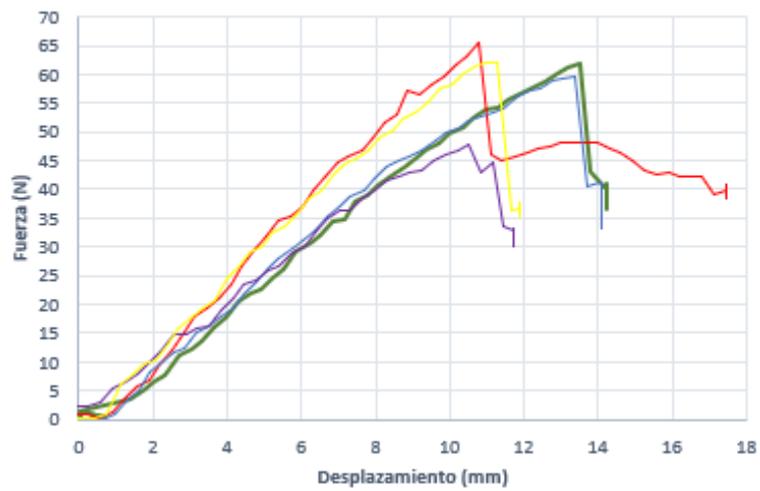
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*13*e	Área (mm²):	2.20			
Temperatura curado (°C):	80	Orden de las capas	Fv+Fv+Fab			
Inercia (mm⁴):	11.53	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	61.89	13.50	118.03	2320,80	0,028	OAT
2	65.66	10.78	125.22	2820,47	0,022	OAT
3	59.69	13.36	113.84	2471,58	0,028	OAT
4	47.75	10.53	91.07	4907,65	0,022	OAT
5	62.20	10.70	118.63	4888,84	0,022	OAT
Promedio	11.77	11.77	113.36	3481.87	0.024	-
PROBETAS ENSAYADAS						
Parte frontal			Parte posterior			
						

GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima

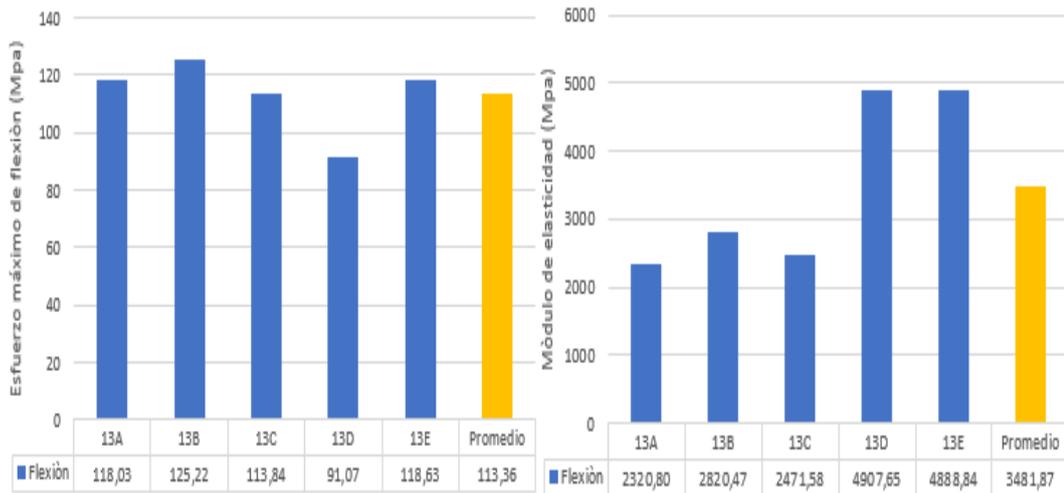


Fuerza-Desplazamiento



Esfuerzo máximo de flexión (Mpa)

Módulo de elasticidad (Mpa)



OBSERVACIÓN			
<ul style="list-style-type: none"> • La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia • El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga 			
Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	113.36	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elástico de elasticidad (MPa)	3481.87	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.024	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N):	11.77	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

Tabla 3.29 Ficha técnica del material híbrido, caso 14 a flexión

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	104			
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.7*e	E. promedio (mm):	2.90			
Temperatura curado (°C):	20	Orden de las capas	Fv+Fv+Fab			
Inercia (mm ⁴):	25.81	Longitud soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación unitaria (mm/mm)	Tipo falla
1	49.32	12.72	55.41	1613,77	0,035	OAT
2	53.41	14.66	60.00	749,01	0,040	OAT
3	55.92	12.04	62.83	1312,89	0,033	OAT
4	49.95	10.39	56.12	1283,79	0,028	OAT
5	51.21	12.42	57.53	772,87	0,034	OAT
Promedio	51.96	12.45	58.38	1146.47	0.034	-

PROBETAS ENSAYADAS

Parte frontal

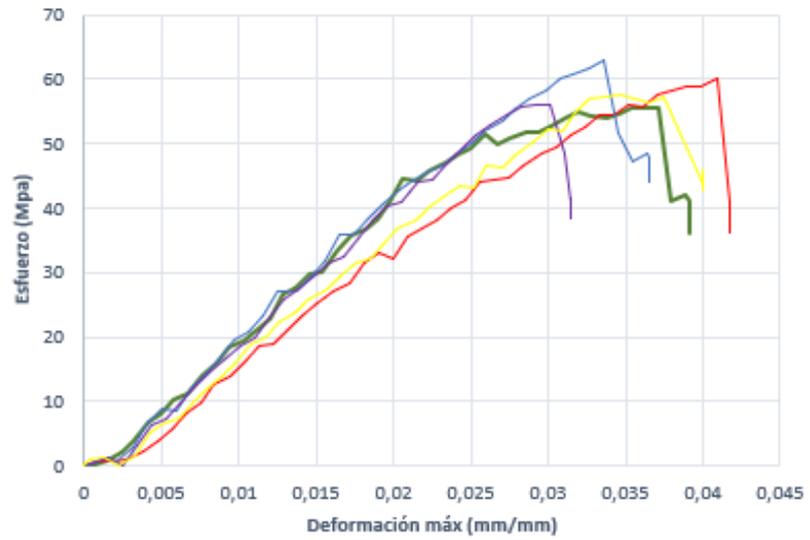


Parte posterior

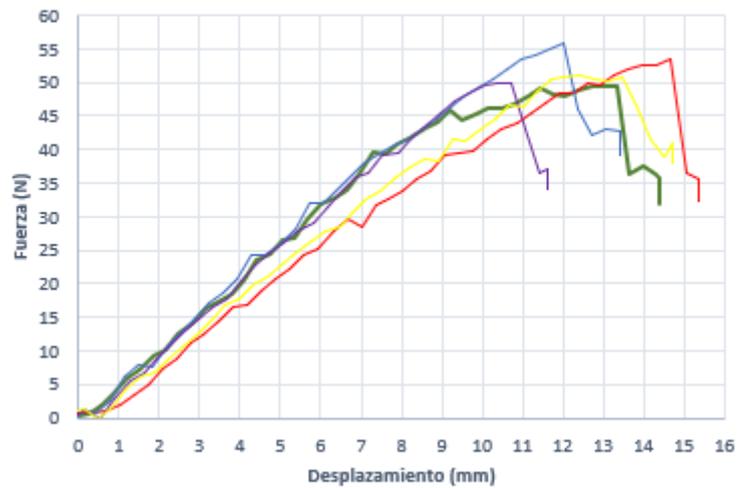


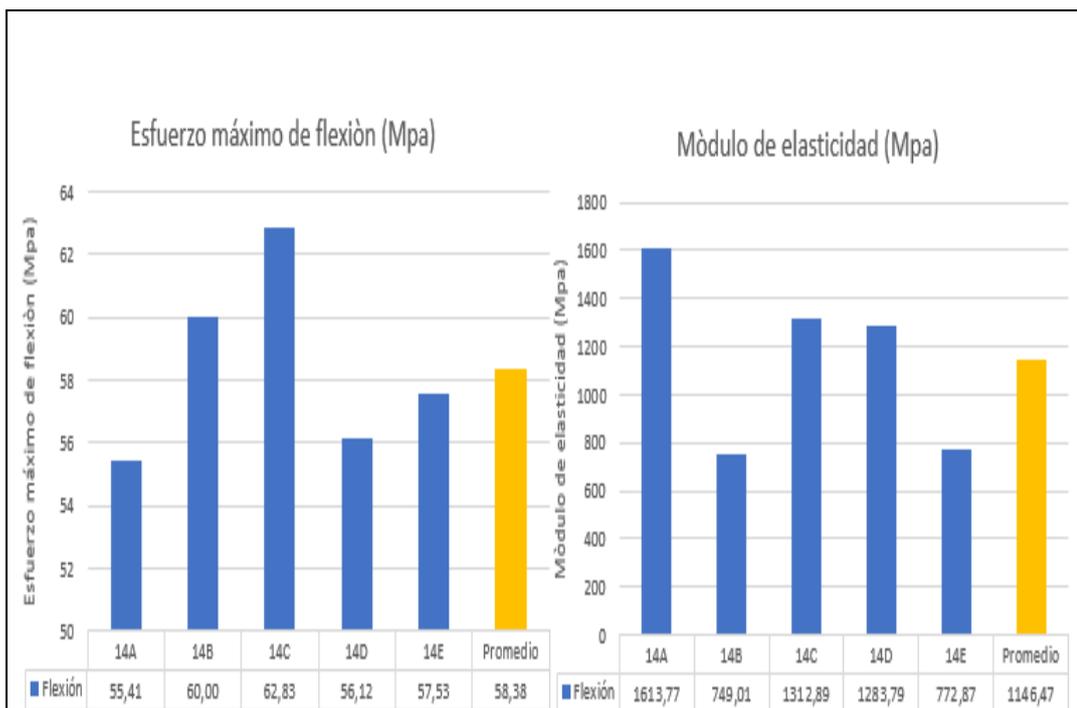
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





OBSERVACIÓN

- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	58.38	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	1146.47	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.034	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N)	51.96	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

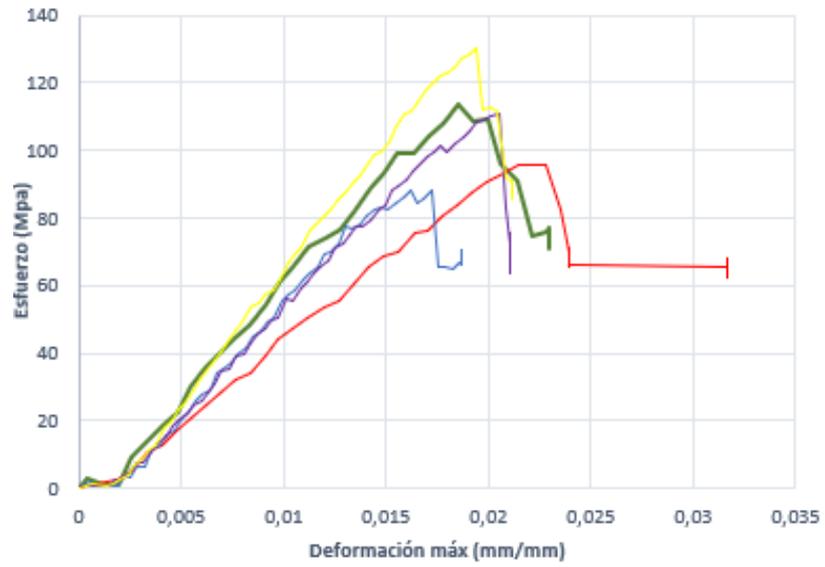
Fuente: Autor

Tabla 3.30 Ficha técnica del material híbrido, caso 15 a flexión

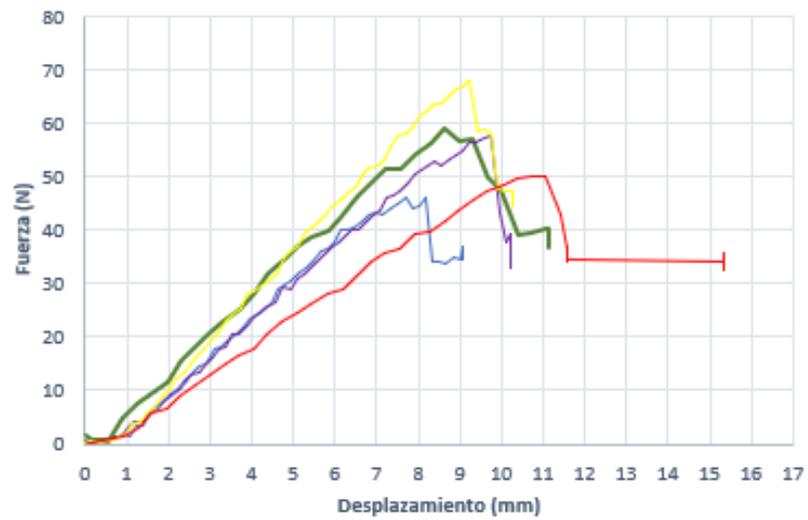
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA						
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS						
DATOS INFORMATIVOS						
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Sangolqui			
Lugar:	Escuela Politécnica del Ejército. Lab. Mecánica de materiales					
Máquina:	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002					
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de ensayo:	Flexión	Norma:	ASTM D7264			
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105			
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibras de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105			
Orientación de la fibra:	90°	Estratificación:	Al vacío			
Dimensiones (mm):	160*12.9*e	E. promedio (mm):	2.20			
Temperatura curado (°C):	50	Orden de las capas	Fv+Fv+Fab			
Inercia (mm⁴):	11.45	Longitud entre soportes (mm):	80			
Velocidad de ensayo:	10 mm/min	Probetas a ensayar:	5			
RESULTADOS						
Nº de Probeta	Carga máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo de flexión (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Deformación máxima (mm/mm)	Tipo falla
1	59.06	8.63	113.51	5554,35	0,018	OAT
2	94.56	10.88	181.74	4175,66	0,022	OAT
3	45.87	7.69	88.15	1351,76	0,016	OAT
4	57.49	9.74	110.49	2545,29	0,020	OAT
5	67.86	9.24	130.42	1785,12	0,019	OAT
Promedio	56.05	9.23	107.72	3082.44	0.019	-
PROBETAS ENSAYADAS						
Parte frontal			Parte posterior			
						

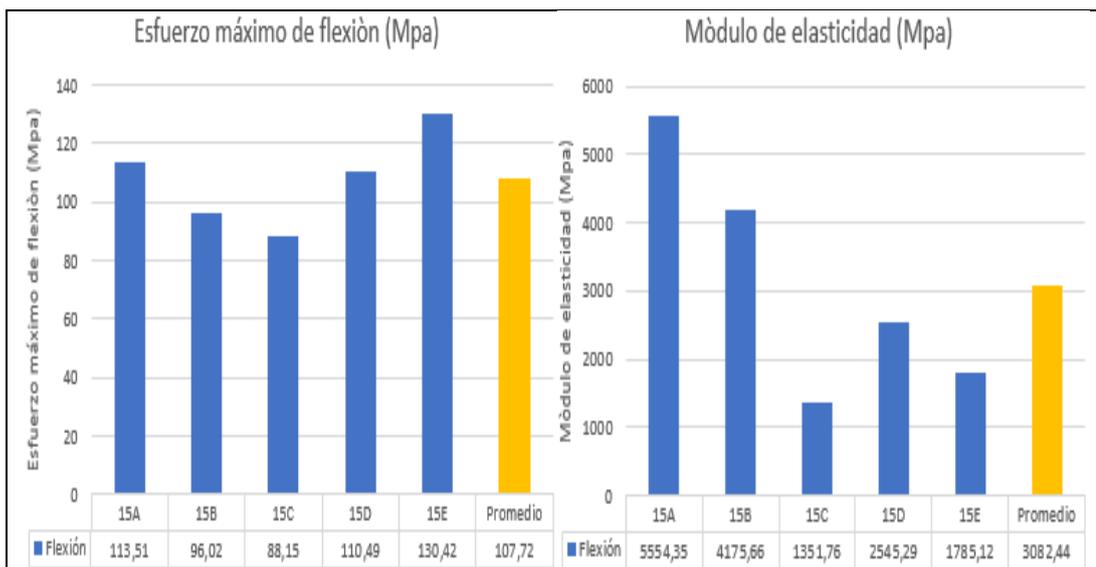
GRÁFICAS

Esfuerzo-Deformación máxima



Fuerza-Desplazamiento





EVALUACIÓN

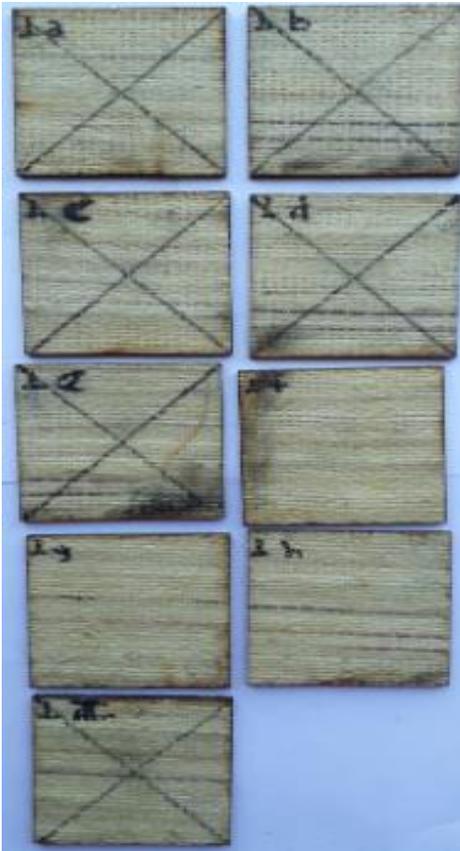
- La matriz y el refuerzo presentan una aceptable adherencia
- El tipo falla es OAT que se refiere que la falla se presenta en el punto de carga y que su ubicación es en la parte frontal de la probeta en donde se aplica la carga

Valores promedios		Aprobación y validación	
Esfuerzo máximo de flexión (MPa):	107.72	Elaborado por:	Sr. César Cunalata
Módulo de elasticidad (MPa):	3082.44	Revisado por:	Ing. Francisco Navas
Deformación máxima (mm/mm):	0.019	Aprobado por:	Ing. Mg. Juan Paredes
Carga máxima (N)	56.05	Validado por:	Ing. Mg. Juan Paredes

Fuente: Autor

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

Tabla 3.31 Ficha técnica del material híbrido, caso 1 a impacto

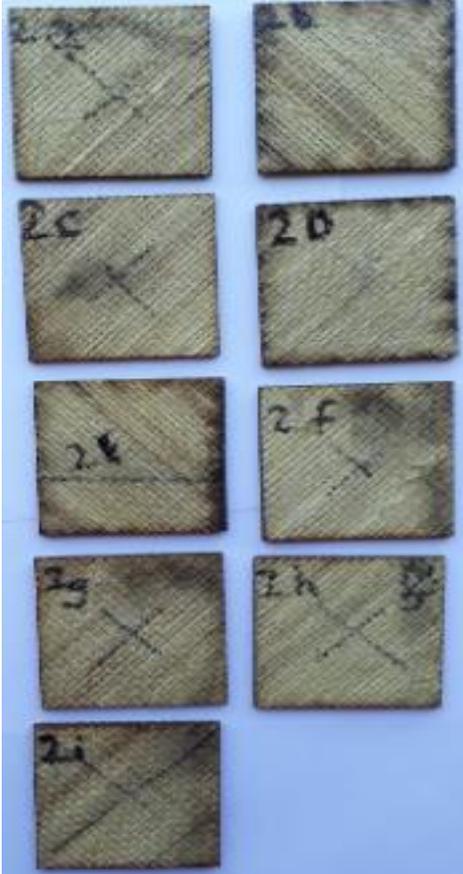
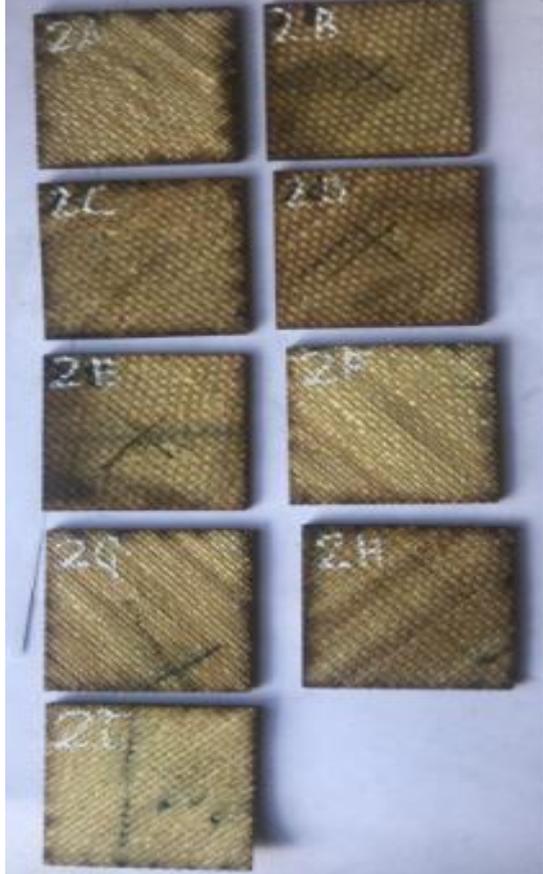
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	101
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	101
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*3	Orden de las capas:	Fab+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	50	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	200	0.2198	0.00980665	0,43	A
2	400	0.2198	0.00980665	0,86	A
3	500	0.2198	0.00980665	1,08	A
4	700	0.2198	0.00980665	1,72	A
5	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
Promedio	480	-	-	1,08	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 600 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.29 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

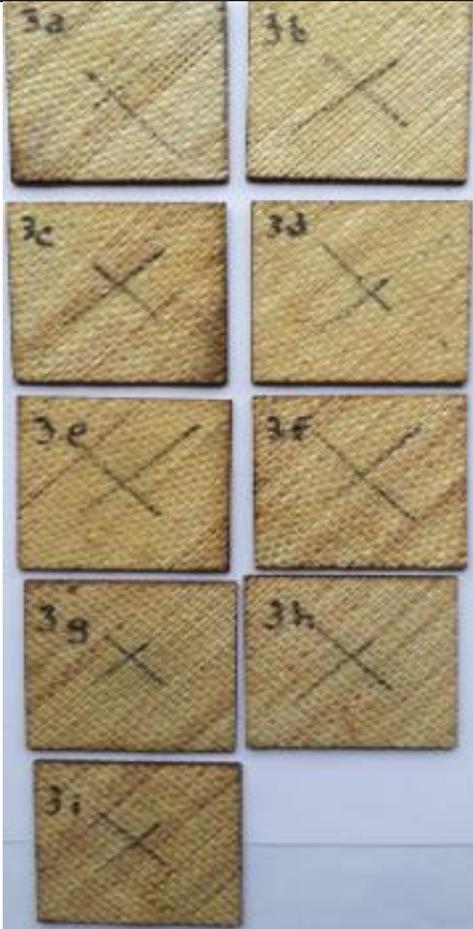
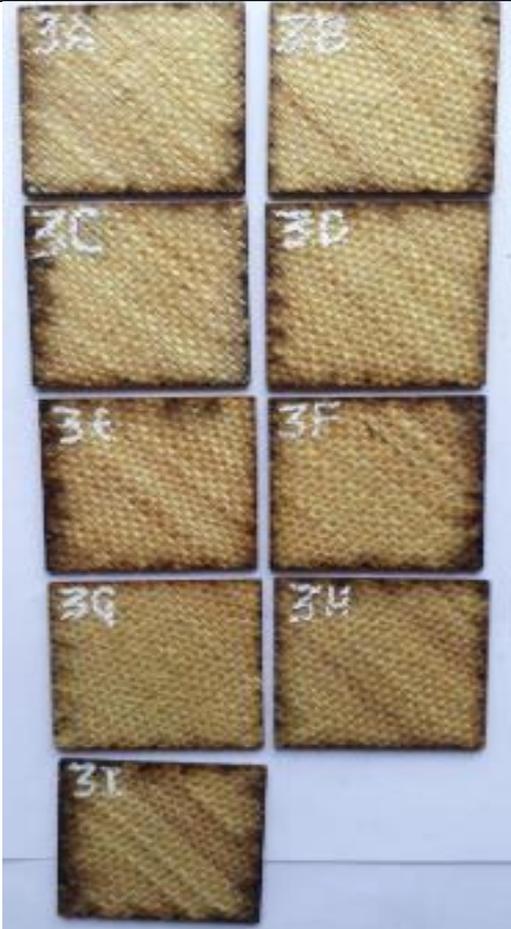
Tabla 3.32 Ficha técnica del material híbrido, caso 2 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	103
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	103
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*3.5	Orden de las capas:	Fab+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	20	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9

PROBETAS ENSAYADAS					
Parte posterior			Parte frontal		
					
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	500	0.2198	0.00980665	1,08	A
2	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
3	900	0.2198	0.00980665	1,94	A
4	850	0.2198	0.00980665	1,83	A
5	750	0.2198	0.00980665	1,62	A
Promedio	720	-	-	1,55	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 750 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.62 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado		Ing. Mg. Juan Paredes	
		y validado por:			

Fuente: Autor

Tabla 3.33 Ficha técnica del material híbrido, caso 3 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	104
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*3	Orden de las capas:	Fab+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	20	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

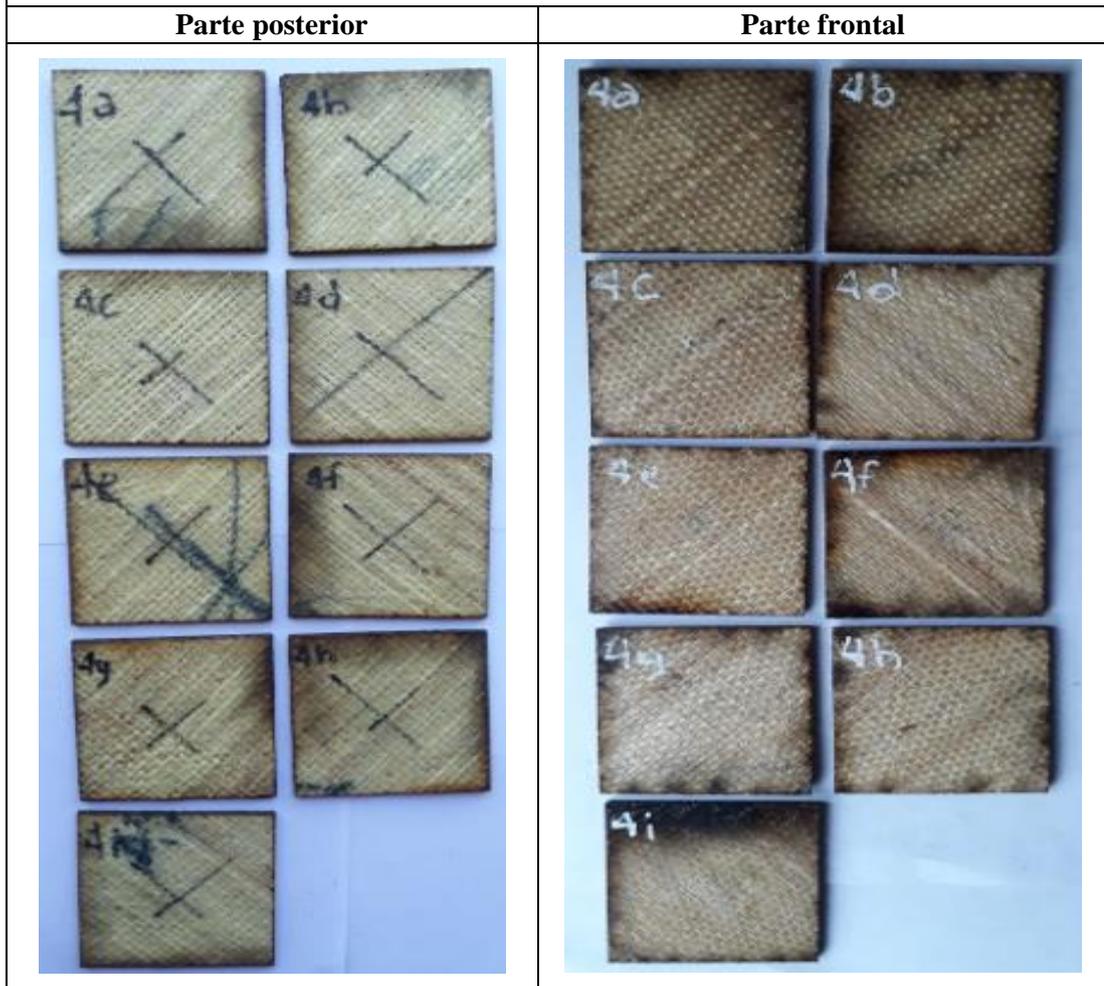
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	200	0.2198	0.00980665	0,43	A
2	270	0.2198	0.00980665	0,58	A
3	300	0.2198	0.00980665	0,65	A
4	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
5	400	0.2198	0.00980665	0,86	A
Promedio	354	-	-	0,76	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 400 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 0.86 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

Tabla 3.34 Ficha técnica del material híbrido, caso 4 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105
Refuerzo:	Fibras de abacá	Peso de la matriz (gr):	105
Orientación de la fibra:	45°, 0°, 135°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.9	Orden de las capas:	Fab+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	50	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9

PROBETAS ENSAYADAS

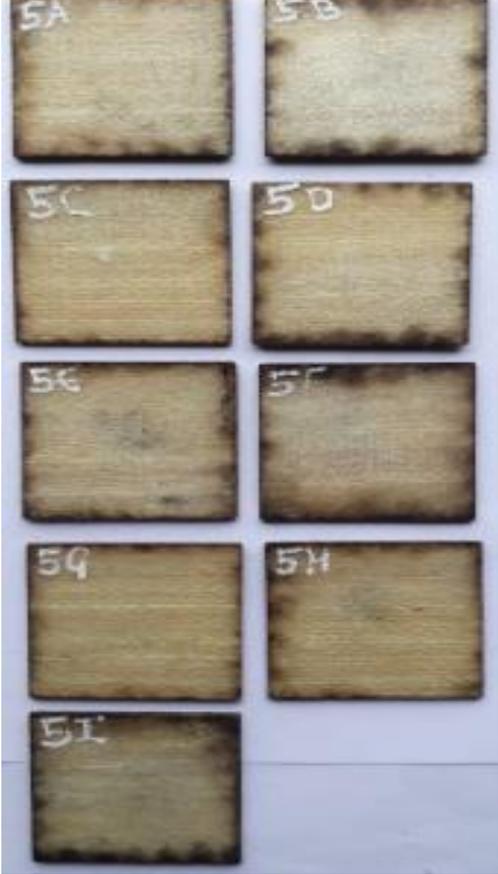


RESULTADOS

Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	200	0.2198	0.00980665	0,43	A
2	300	0.2198	0.00980665	0,65	A
3	700	0.2198	0.00980665	1,51	A
4	500	0.2198	0.00980665	1,08	A
5	400	0.2198	0.00980665	0,86	A
Promedio	420	-	-	0,91	-
Evaluaciones:		Altura de falla: 400 Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 0.86 J			
Observación:		La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura			
Elaborado por:		Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado	Ing. Mg. Juan Paredes	
			y validado por:		

Fuente: Autor

Tabla 3.35 Ficha técnica del material híbrido, caso 5 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*3	Orden de las capas:	Fv+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	20 °C	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

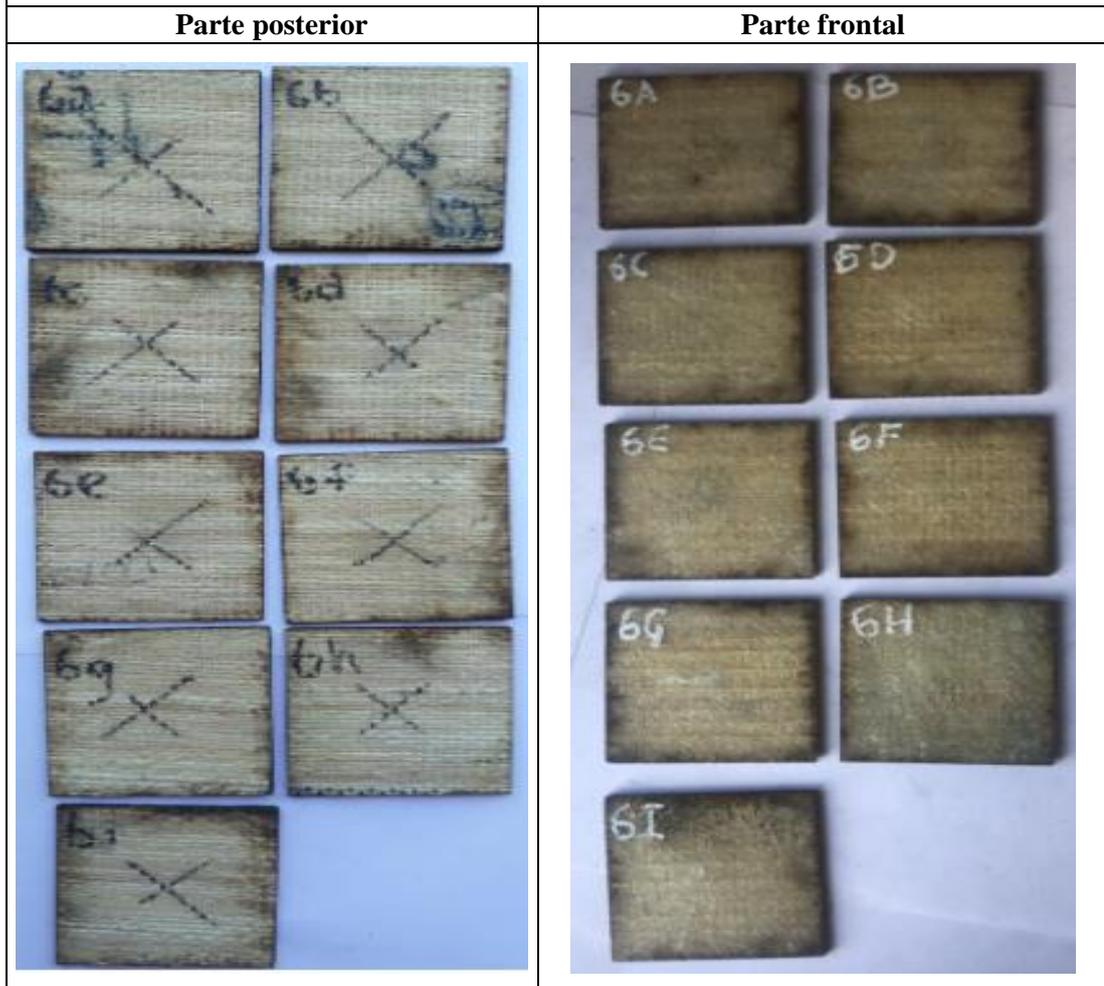
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	700	0.2198	0.00980665	1,51	A
2	800	0.2198	0.00980665	1,72	A
3	1000	0.2198	0.00980665	2,16	A
4	900	0.2198	0.00980665	1,94	A
5	950	0.2198	0.00980665	2,05	A
Promedio	870	-	-	1,88	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 950 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 2.05 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

Tabla 3.36 Ficha técnica del material híbrido, caso 6 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.6	Orden de las capas:	Fv+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	80	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9

PROBETAS ENSAYADAS

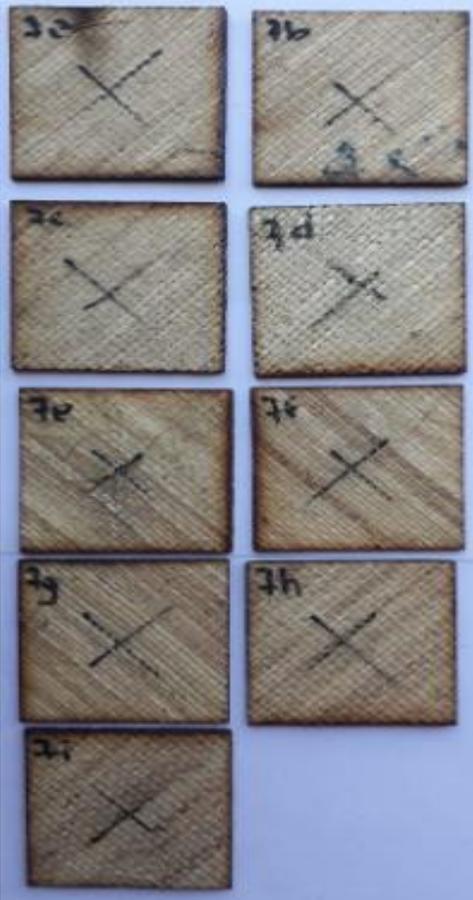
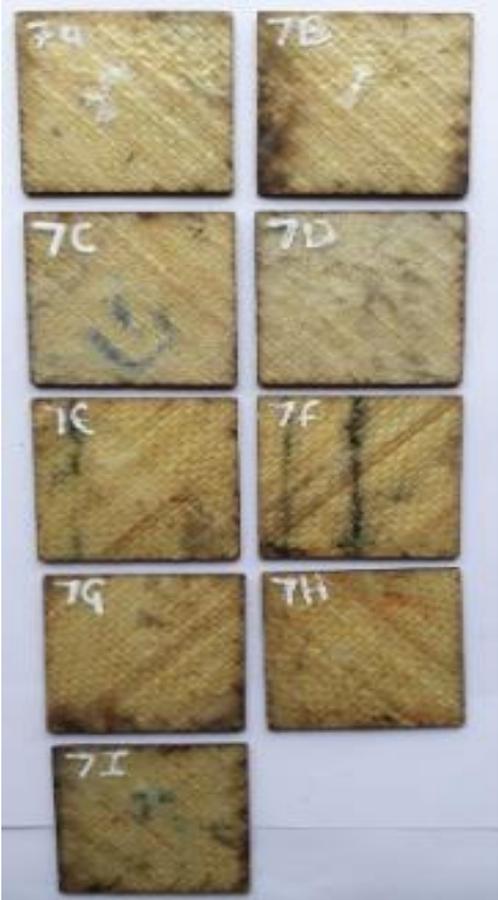


RESULTADOS

Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	700	0.2198	0.00980665	1,51	A
2	800	0.2198	0.00980665	1,72	A
3	1100	0.2198	0.00980665	2,37	A
4	1000	0.2198	0.00980665	2,16	A
5	900	0.2198	0.00980665	1,94	A
Promedio	900	-	-	1,94	-
Evaluaciones:		Altura de falla: 900 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.94 J			
Observación:		La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura			
Elaborado por:		Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado	Ing. Mg. Juan Paredes	
			y validado por:		

Fuente: Autor

Tabla 3.37 Ficha técnica del material híbrido, caso 7 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.5	Orden de las capas:	Fv+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	50	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

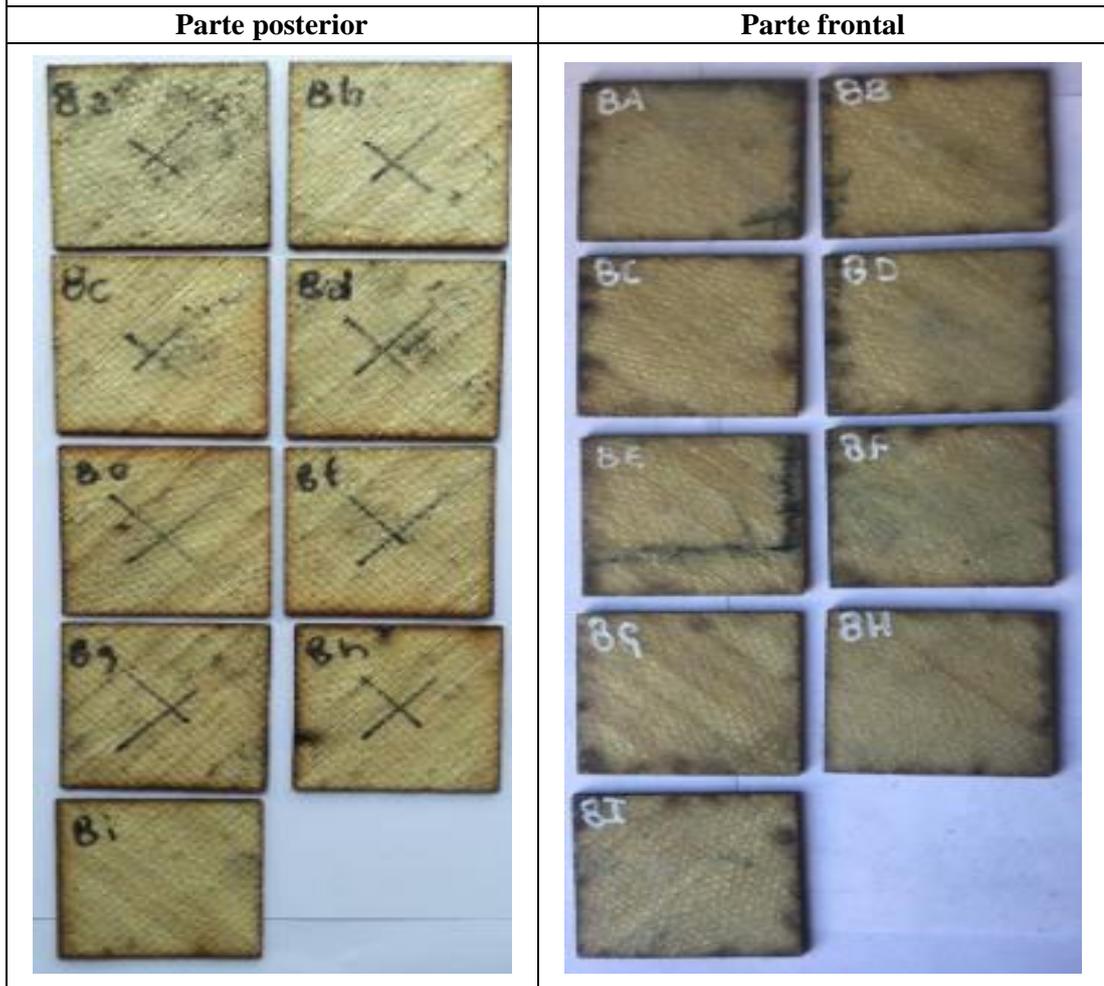
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	1500	0.2198	0.00980665	1,08	A
2	1200	0.2198	0.00980665	1,72	A
3	1100	0.2198	0.00980665	2,37	A
4	1000	0.2198	0.00980665	2,16	A
5	900	0.2198	0.00980665	1,94	A
Promedio	1140	-	-	1.80	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 900 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.94 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

Tabla 3.38 Ficha técnica del material híbrido, caso 8 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	107
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105
Orientación de la fibra:	45°	Conformado:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.5	Orden de las capas:	Fv+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	50	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9

PROBETAS ENSAYADAS

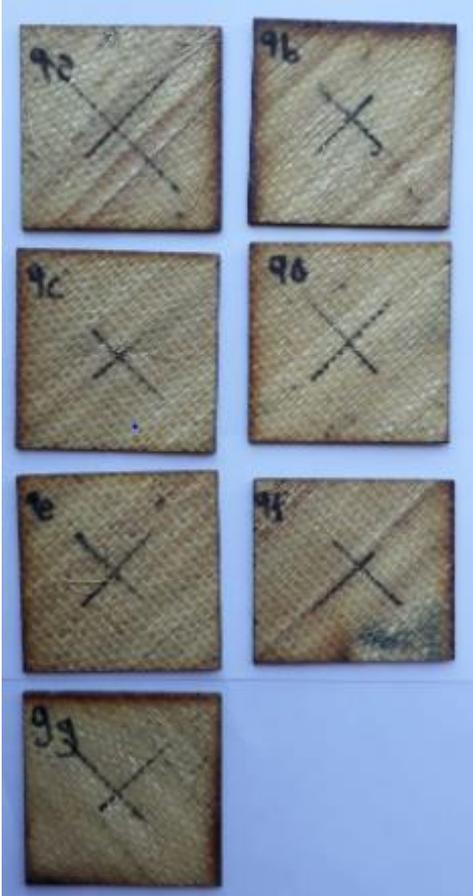
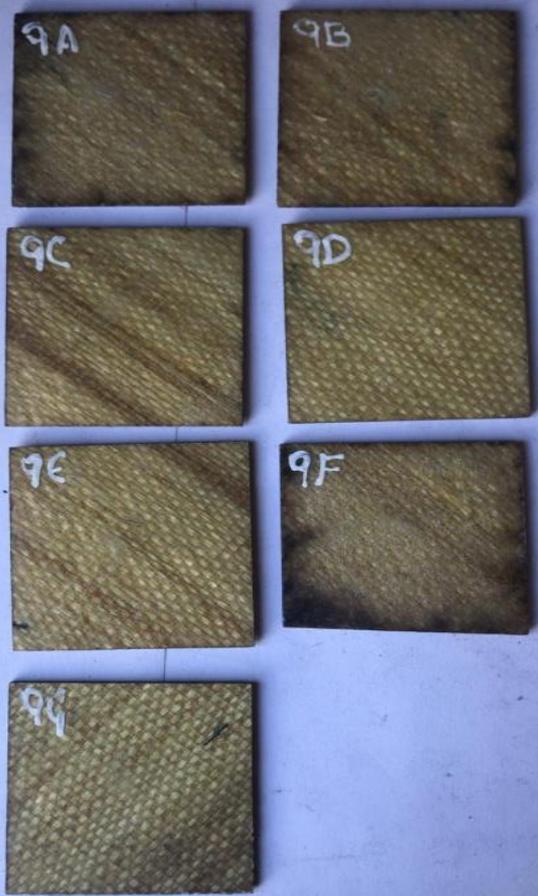


RESULTADOS

Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	500	0.2198	0.00980665	1,08	A
2	800	0.2198	0.00980665	1,72	A
3	700	0.2198	0.00980665	1,51	A
4	740	0.2198	0.00980665	1,60	A
5	750	0.2198	0.00980665	1,62	A
Promedio	698	-	-	1.41	-
Evaluaciones:		Altura de falla: 750 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.62 J			
Observación:		La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura			
Elaborado por:		Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado	Ing. Mg. Juan Paredes	
			y validado por:		

Fuente: Autor

Tabla 3.39 Ficha técnica del material híbrido, caso 9 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.2	Orden de las capas:	Fv+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	50	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	7
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

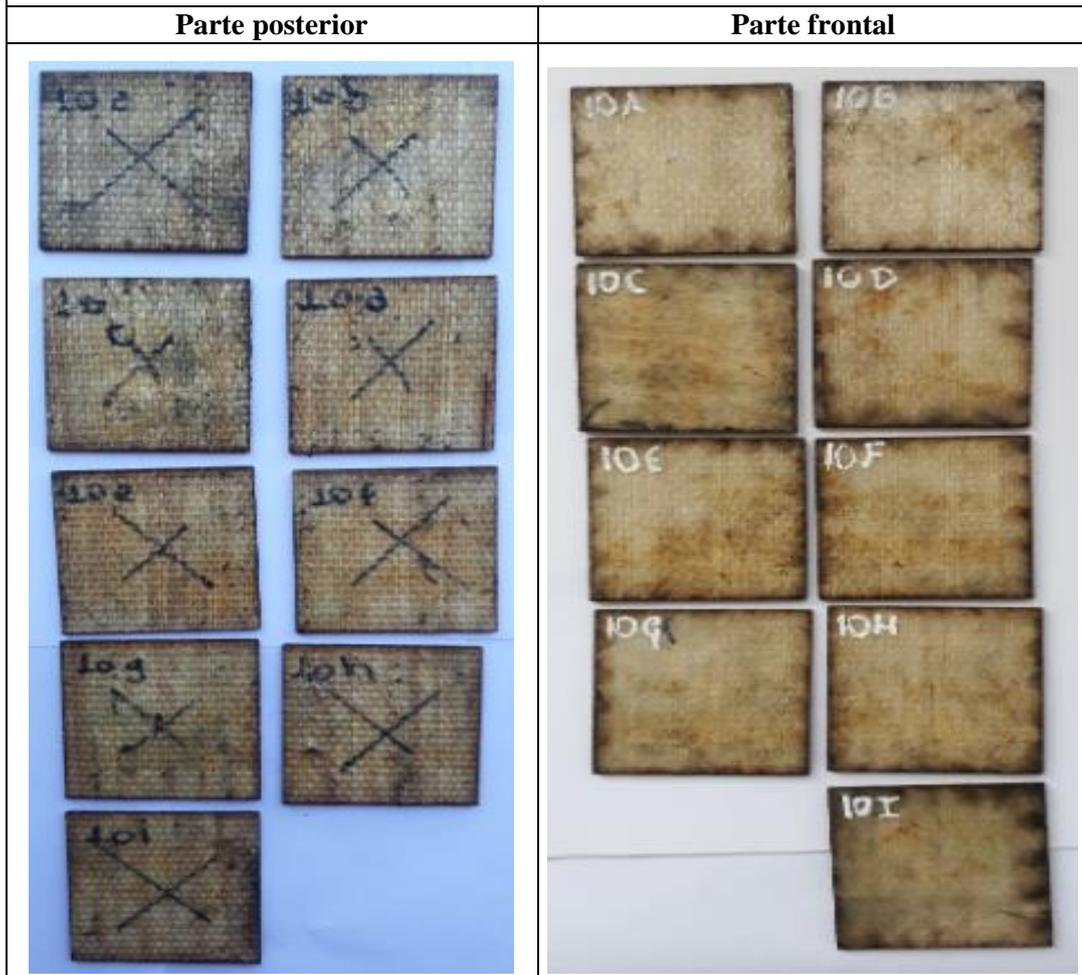
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	300	0.2198	0.00980665	0,65	A
2	450	0.2198	0.00980665	0,97	A
3	750	0.2198	0.00980665	1,62	A
4	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
5	500	0.2198	0.00980665	1,08	A
Promedio	520	-	-	1.12	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 500 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.08 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

Tabla 3.40 Ficha técnica del material híbrido, caso 10 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105
Orientación de la fibra:	90°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.5	Orden de las capas:	Fv+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	20	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9

PROBETAS ENSAYADAS

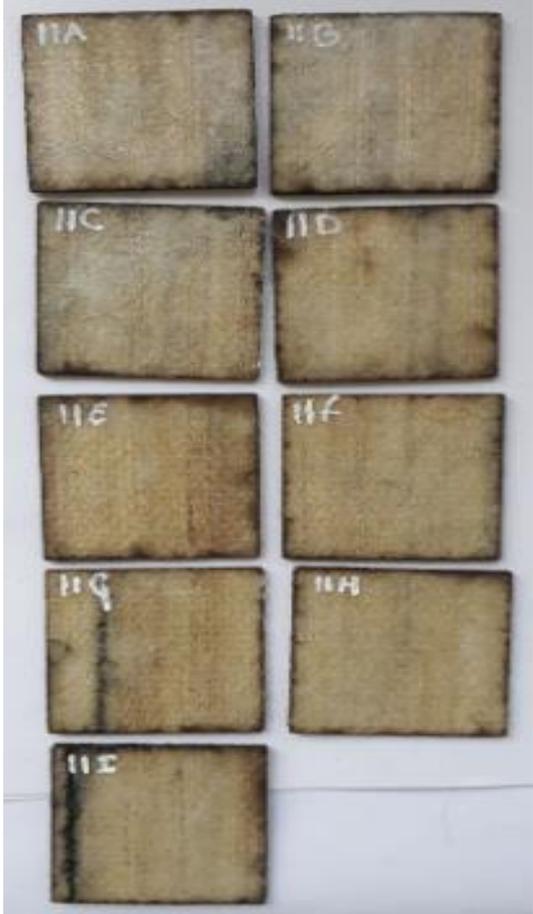


RESULTADOS

Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	300	0.2198	0.00980665	0,65	A
2	400	0.2198	0.00980665	0,86	A
3	800	0.2198	0.00980665	1,72	A
4	550	0.2198	0.00980665	1,19	A
5	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
Promedio	530	-	-	1.14	-
Evaluaciones:		Altura de falla: 600 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.29			
Observación:		La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura			
Elaborado por:		Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado	Ing. Mg. Juan Paredes	
			y validado por:		

Fuente: Autor

Tabla 3.41 Ficha técnica del material híbrido, caso 11 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	104
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.7	Orden de las capas:	Fv+Fab+Fab
Temperatura curado (°C):	80	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

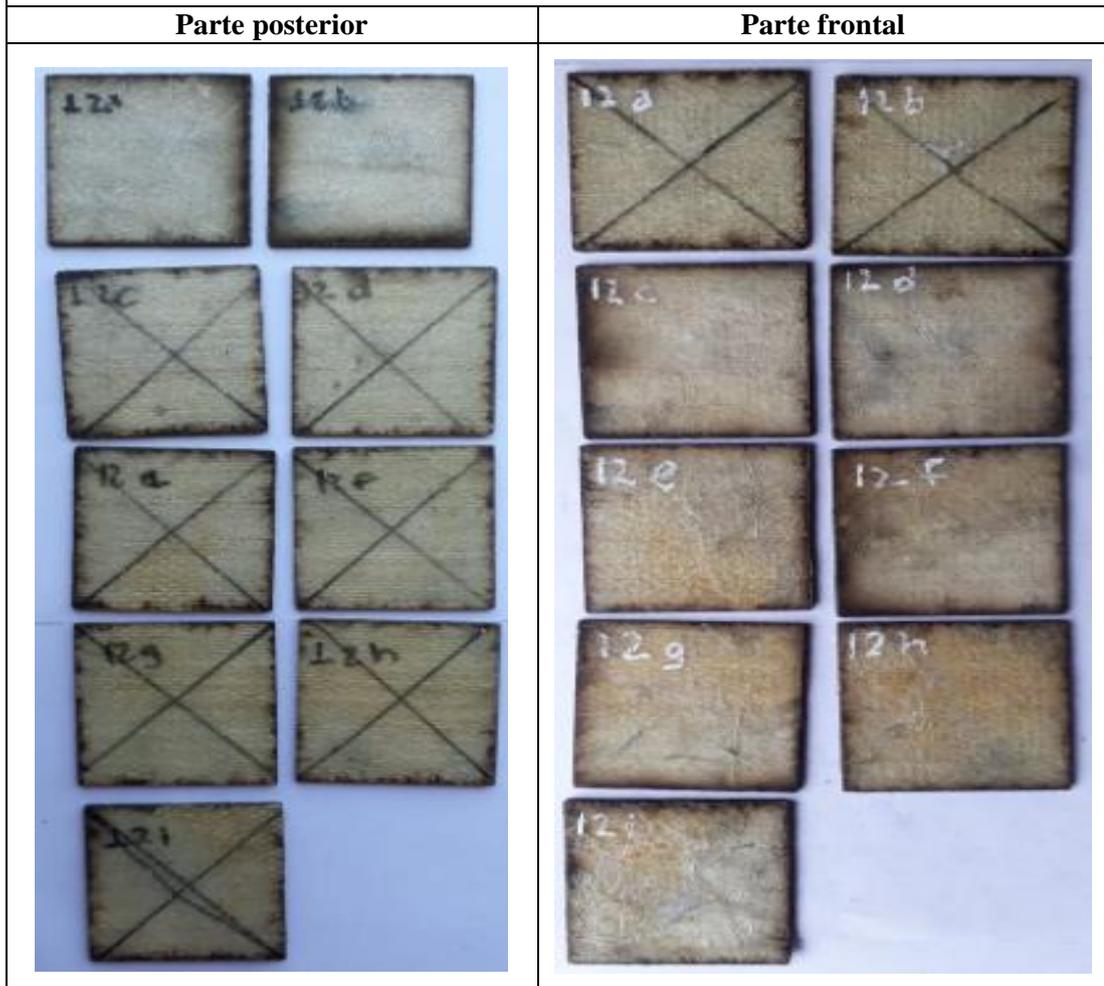
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	300	0.2198	0.00980665	0,65	A
2	400	0.2198	0.00980665	0,86	A
3	550	0.2198	0.00980665	1.19	A
4	800	0.2198	0.00980665	1,72	A
5	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
Promedio	530	-	-	1.14	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 600 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.29 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

Tabla 3.42 Ficha técnica del material híbrido, caso 12 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	03/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105
Orientación de la fibra:	0°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.5	Orden de las capas:	Fv+Fv+Fab
Temperatura curado (°C):	50	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9

PROBETAS ENSAYADAS



RESULTADOS

Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
2	700	0.2198	0.00980665	1,51	A
3	900	0.2198	0.00980665	1,94	A
4	1000	0.2198	0.00980665	2,16	A
5	850	0.2198	0.00980665	1,83	A
Promedio	810	-	-	1.75	-
Evaluaciones:		Altura de falla: 850 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.83			
Observación:		La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura			
Elaborado por:		Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado	Ing. Mg. Juan Paredes	
			y validado por:		

Fuente: Autor

Tabla 3.43 Ficha técnica del material híbrido, caso 13 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	106
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	106
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.2	Orden de las capas:	Fv+Fv+Fab
Temperatura curado (°C):	80	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

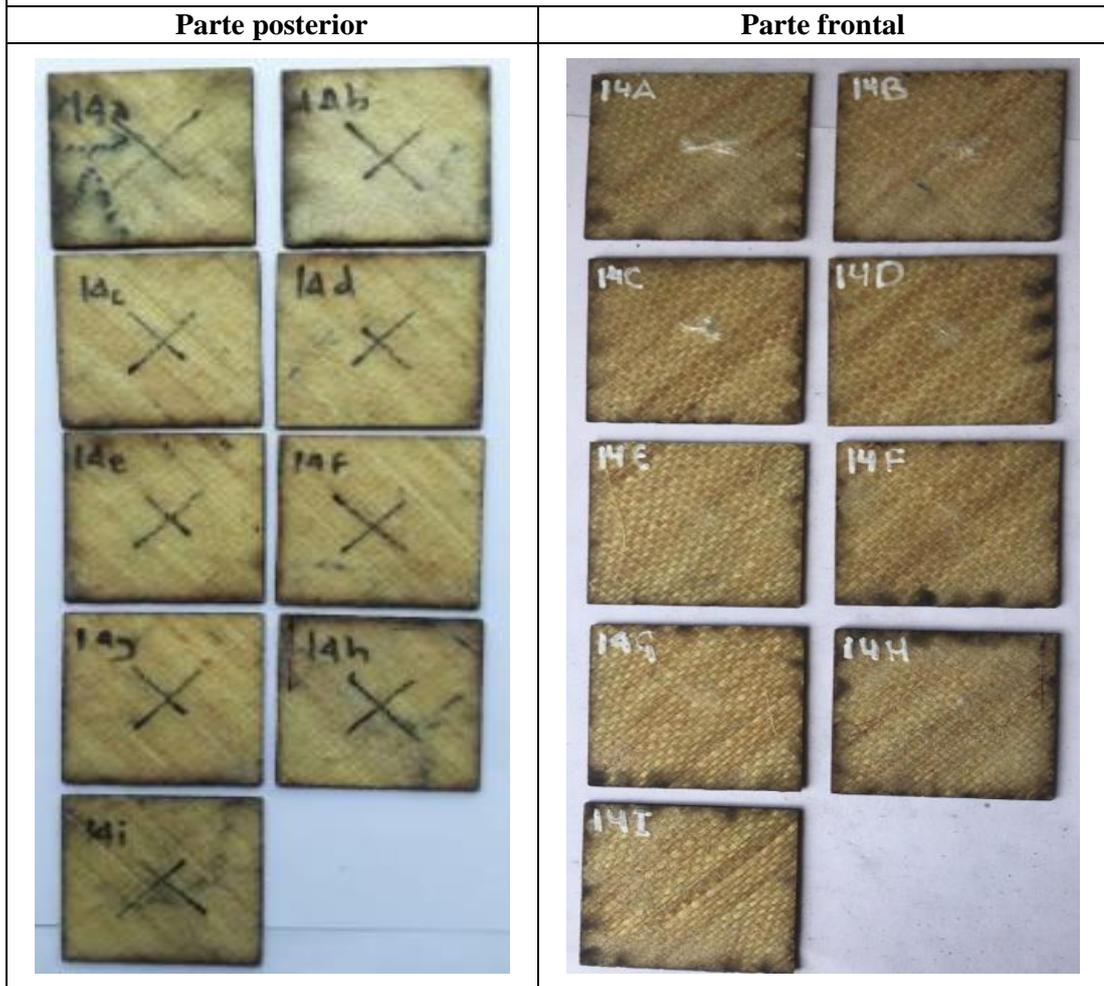
RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	400	0.2198	0.00980665	0,86	A
2	650	0.2198	0.00980665	1,40	A
3	900	0.2198	0.00980665	1,94	A
4	800	0.2198	0.00980665	1,72	A
5	750	0.2198	0.00980665	1,62	A
Promedio	750	-	-	1.51	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 750 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.62				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

Tabla 3.44 Ficha técnica del material híbrido, caso 14 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	104
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	104
Orientación de la fibra:	45°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.9	Orden de las capas:	Fv+Fv+Fab
Temperatura curado (°C):	20	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9

PROBETAS ENSAYADAS

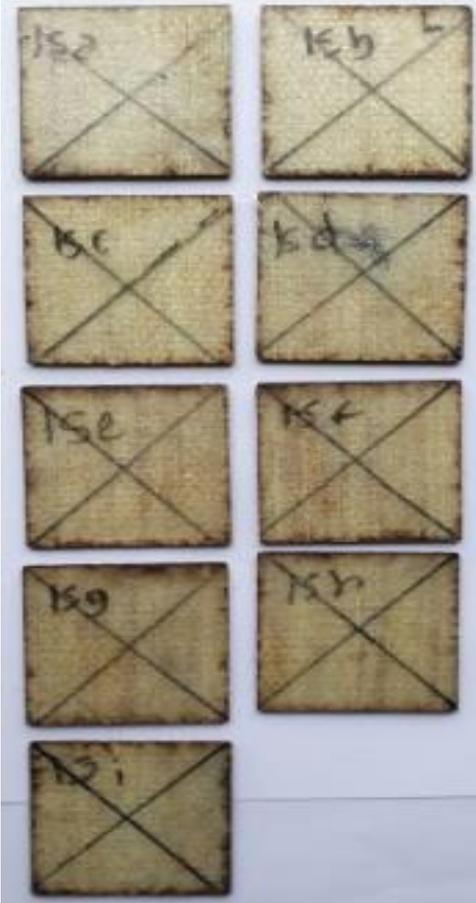
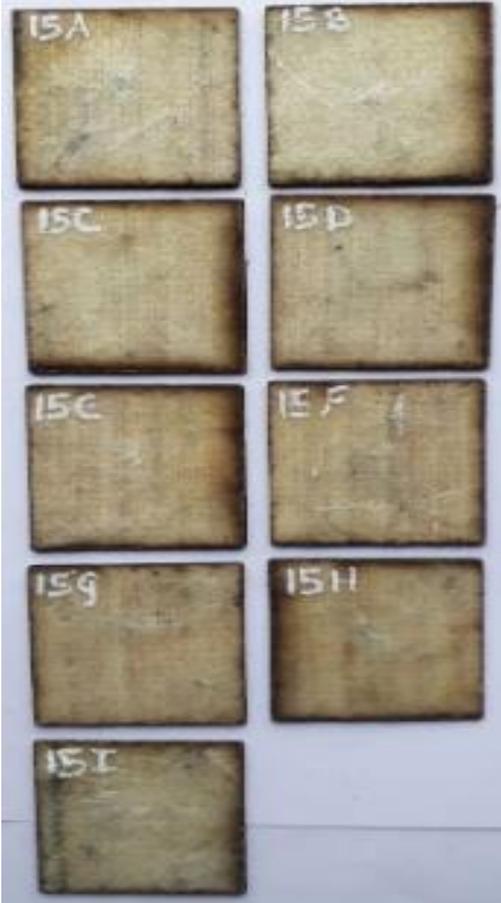


RESULTADOS

Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coeficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	200	0.2198	0.00980665	0,43	A
2	350	0.2198	0.00980665	0,75	A
3	700	0.2198	0.00980665	1,51	A
4	650	0.2198	0.00980665	1,40	A
5	500	0.2198	0.00980665	1,08	A
Promedio	480	-	-	1.03	-
Evaluaciones:		Altura de falla: 500 mm Peso: 02198 Kg Energía máxima al impacto: 1.08 J			
Observación:		La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura			
Elaborado por:		Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado	Ing. Mg. Juan Paredes	
			y validado por:		

Fuente: Autor

Tabla 3.45 Ficha técnica del material híbrido, caso 15 a impacto

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
FICHA DE TABULACIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS			
Fecha:	07/01/2020	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorio de materiales UTA-FICM		
Máquina:	Equipo de ensayo a impacto		
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Impacto	Norma:	ASTM D5628
Matriz:	Resina epoxi	Peso de las fibras (gr):	105
Refuerzo:	Fibras de abacá y fibra de vidrio	Peso de la matriz (gr):	105
Orientación de la fibra:	90°	Estratificación:	Al vacío
Dimensiones (mm):	58*58*2.2	Orden de las capas:	Fv+Fv+Fab
Temperatura curado (°C):	50 °C	Masa del dardo (gr):	219.8
Geometría del dardo:	FE	Probetas a ensayar:	9
PROBETAS ENSAYADAS			
Parte posterior		Parte frontal	
			

RESULTADOS					
Nº de Probeta	Altura (mm)	Peso (Kg)	Coefficiente	R. al impacto	Tipo de falla
1	600	0.2198	0.00980665	1,29	A
2	700	0.2198	0.00980665	1,51	A
3	1100	0.2198	0.00980665	2,37	A
4	900	0.2198	0.00980665	1,94	A
5	800	0.2198	0.00980665	1,72	A
Promedio	820	-	-	1.77	-
Evaluaciones:	Altura de falla: 800 mm Peso: 0.2198 Kg Energía máxima al impacto: 1.72 J				
Observación:	La falla producida es de tipo A, con fisuras y pequeñas grietas en la parte posterior de las probetas, ninguna presenta ruptura				
Elaborado por:	Sr. César Cunalata	Aprobado, revisado y validado por:		Ing. Mg. Juan Paredes	

Fuente: Autor

3.2. Análisis y discusión de los resultados

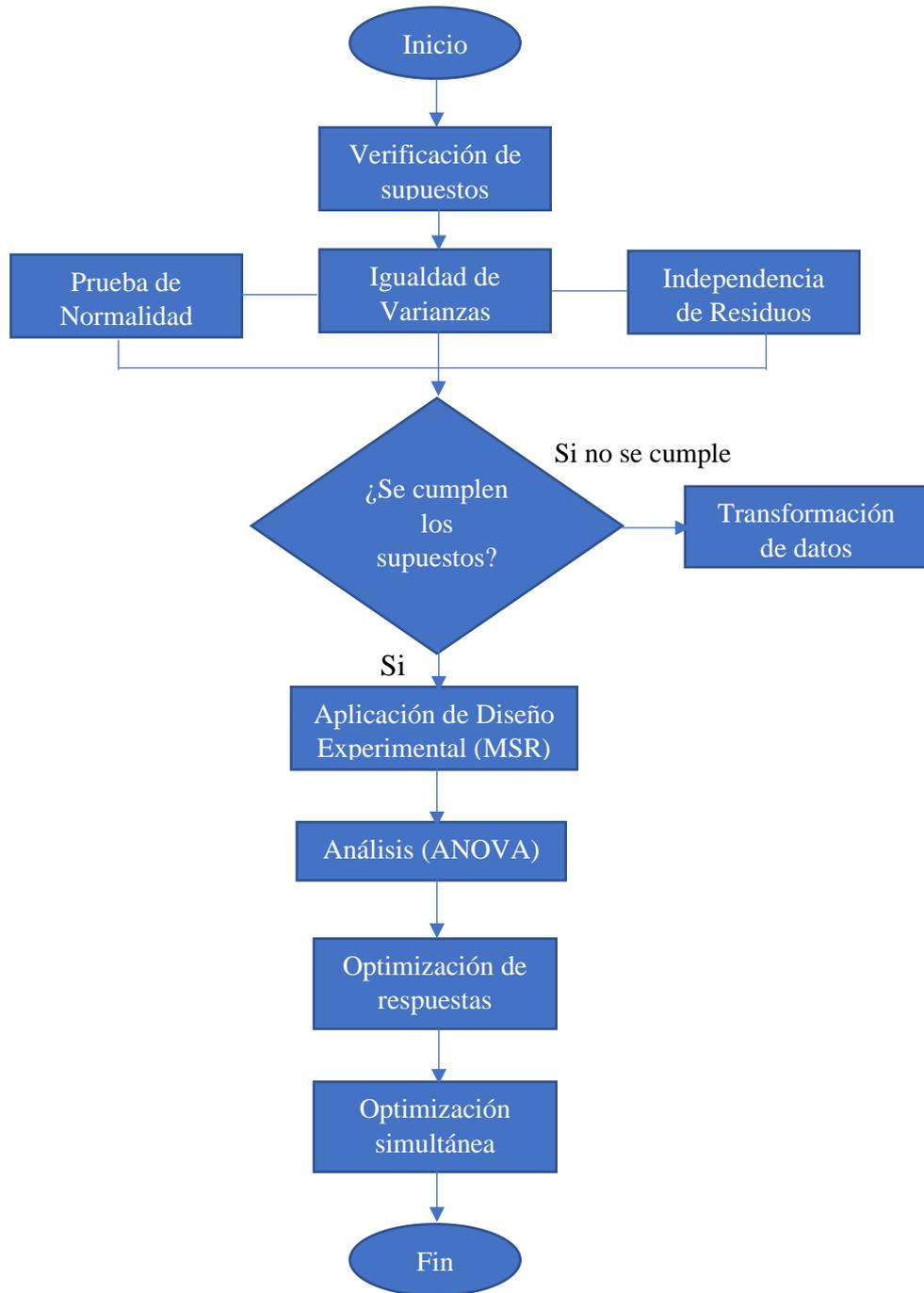


Figura 3.1 Diagrama de flujo análisis de resultados

Fuente: Autor

El arreglo de las combinaciones del diseño de Box-Behnken con sus resultados de los ensayos ejecutados se detallan en la tabla 3.46, para cada propiedad de tracción, flexión e impacto a analizar.

Tabla 3.46 Resultado de ensayos de tracción, flexión e impacto

Factores	Propiedades mecánicas a tracción.			Propiedades mecánicas a flexión.			Impacto.
	Esf. Máx. (Mpa)	Mód. de Elasticidad (Mpa)	Elongación (%)	Esf. Máx. (Mpa)	Mód. de Elasticidad (Mpa)	Deflexión (mm)	Energía Media de Fallo
Caso 1	154,46	9828,67	2,041	104,06	7785,58	10,08	1,29
	150,76	10084,66	1,882	108,65	7585,05	13,26	
	166,27	10122,42	2,199	111,25	8550,60	11,67	
	139,85	10318,12	1,761	106,67	7517,16	11,24	
	152,44	10223,86	2,055	97,19	6527,10	11,35	
Caso 2	11,17	1496,49	1,436	19,65	1078,14	14,20	1,62
	11,47	1347,59	2,271	24,03	895,06	12,06	
	11,26	1430,44	1,943	20,78	541,84	18,55	
	10,48	1499,22	1,275	21,43	865,75	12,33	
	11,75	1166,09	2,247	23,38	1035,50	14,48	
Caso 3	17,65	1889,1	1,332	22,45	241,76	17,27	0,86
	17,55	1893,39	1,445	27,66	463,75	15,73	
	17,27	2023,2	1,554	27,66	584,59	17,84	
	16,16	1702,9	1,237	21,63	362,64	14,76	
	15,56	1930,22	1,200	29,66	397,22	19,15	
Caso 4	59,34	3736,81	2,236	30,35	686,90	15,83	0,86
	54,74	4048,21	1,945	28,59	424,98	17,71	
	55,67	4293,21	2,078	32,12	865,46	16,94	
	55,09	4036,91	2,014	30,58	749,74	16,27	
	54,35	5058,77	1,821	34,94	826,94	15,28	
Caso 5	132,49	10717,67	1,894	121,94	2980,93	7,39	2,05
	125,83	9783,63	1,886	123,33	2567,70	8,46	
	127,28	9851,66	1,803	103,03	4029,65	7,23	
	131,16	10136,29	1,879	96,27	4656,30	7,30	

	159,19	11987,73	2,019	83,10	4306,96	7,35	
Caso 6	126,78	11259,82	1,724	125,80	4040,51	9,80	1,94
	108,28	10684,64	1,584	123,20	2779,67	10,82	
	117,49	10369,97	1,789	109,37	2195,82	9,22	
	125,4	10491,04	1,790	126,23	2595,27	10,16	
	130,71	10591,04	1,842	144,35	2695,85	10,48	
Caso 7	56,43	4458,53	2,396	44,42	1265,56	15,45	1,94
	59,93	4508,32	2,242	46,76	1807,30	17,39	
	54,78	4806,57	2,211	43,95	1936,63	17,78	
	52,77	4548,38	1,984	38,81	1248,10	15,54	
	58,1	4719,18	2,272	41,15	1466,85	18,89	
Caso 8	63,25	4484,95	2,504	40,37	1160,45	16,61	1,62
	47,46	3899,76	2,005	49,39	1688,53	14,69	
	59,22	4789,66	1,932	45,18	1487,14	15,05	
	68,12	5036,13	2,235	49,39	1489,88	17,67	
	52,12	4233,61	2,137	47,97	1637,36	19,57	
Caso 9	46,94	4958,07	1,761	38,94	1069,31	17,74	1,08
	53,18	4321,68	2,113	44,45	1323,04	15,13	
	58,5	4467,57	2,175	46,13	1420,04	17,50	
	61,19	5224,53	2,053	47,93	2792,78	17,39	
	53,63	4196,22	2,065	55,72	2495,25	15,51	
Caso 10	44,6	3573,4	2,235	22,33	401,63	13,49	1,29
	43,55	3236,5	2,321	21,89	466,16	14,95	
	48,19	3729,48	2,162	19,94	432,63	16,02	
	41,8	3442,33	2,187	25,41	458,94	15,08	
	41,83	3556,38	2,065	20,43	706,39	17,03	
Caso 11	40,53	2807,12	2,418	24,43	424,29	13,16	1,29
	44,95	2778,61	2,430	35,02	799,64	17,87	
	41,04	2644,39	2,434	33,39	708,09	15,32	
	40,62	2452,32	2,260	32,17	727,65	12,81	
	39,17	2253,54	2,377	29,72	641,73	16,62	
Caso 12	135,19	9350,77	1,870	163,72	2619,36	13,75	1,83
	135,97	8481,22	2,053	140,74	1369,62	10,88	
	157,84	8659,79	2,407	100,99	1936,62	9,40	
	135,05	9299,63	1,937	126,71	2649,13	10,95	

	114,96	8661,33	1,732	72,94	1631,36	7,98	
Caso 13	84,69	5676,96	2,236	118,03	2320,80	13,50	1,62
	75,14	5800,97	2,033	125,22	2820,47	10,78	
	76,01	5591,1	2,037	113,84	2471,58	13,36	
	86,45	5671,18	2,440	91,07	4907,65	10,53	
	80,72	6247,41	2,090	118,63	4888,84	10,70	
Caso 14	79,33	5776,68	2,332	55,41	1613,77	12,72	1,08
	96,16	6293,34	2,720	60,00	749,01	14,66	
	69,76	6022,12	1,889	62,83	1312,89	12,04	
	82,59	6130,3	2,260	56,12	1283,79	10,39	
	77,31	5986,93	2,299	57,53	772,87	12,42	
Caso 15	62,52	4107,25	2,274	113,51	5554,35	8,63	1,72
	57,22	4511,11	1,998	96,02	4175,66	10,88	
	58,67	4052,67	2,036	88,15	1351,76	7,69	
	61,67	4437,5	2,157	110,49	2545,29	9,74	
	56,71	3904,58	2,231	130,42	1785,12	9,24	

Fuente: Autor

3.2.1. Verificación de Supuestos

Normalidad de los residuos

Para verificar este supuesto en los residuos, se aplica la prueba de bondad de ajuste de Anderson-Darling, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Igualdad de varianza de tratamientos

La prueba aplicada para confirmar que los tratamientos de los residuos de esta respuesta experimental tengan igual varianza, es la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

Independencia de residuos

Una forma efectiva para corroborar la independencia en los datos, es efectuar un análisis visual de la información ofrecida por la gráfica de los residuos contra el orden de observación.

Tabla 3.47 Resumen de los valores p de las propiedades mecánicas del material híbrido

Verificación de supuestos	
Tracción	
Supuestos paramétricos	Valor p
Esfuerzo Máximo de Tracción	
Normalidad (Anderson-Darling)	0,118 > 0,05 Cumple
Igualdad de varianzas (Levene)	0,620 > 0,05 Cumple
Independencia de residuos	No existe patrón definido
Módulo de Elasticidad a la Tracción	
Normalidad (Anderson-Darling)	0,319 > 0,05 Cumple
Igualdad de varianzas (Levene)	0,619 > 0,05 Cumple
Independencia de residuos	No existe patrón definido
Elongación	
Normalidad (Anderson-Darling)	0,081 > 0,05 Cumple
Igualdad de varianzas (Levene)	0,071 > 0,05 Cumple
Independencia de residuos	No existe patrón definido
Flexión	
Supuestos paramétricos	Valor p
Esfuerzo Máximo de Flexión	
Normalidad (Anderson-Darling)	0,563 > 0,05 Cumple
Igualdad de varianzas (Levene)	0,372 > 0,05 Cumple
Independencia de residuos	No existe patrón definido
Módulo de Elasticidad a la Flexión	
Normalidad (Anderson-Darling)	0,805 > 0,05 Cumple
Igualdad de varianzas (Levene)	0,372 > 0,05 Cumple
Independencia de residuos	No existe patrón definido

Deflexión	
Normalidad (Anderson-Darling)	0,215 > 0,05 Cumple
Igualdad de varianzas (Levene)	0,383 > 0,05 Cumple
Independencia de residuos	No existe patrón definido
Impacto	
Supuestos paramétricos	Valor p
Energía Media de Fallo	
Normalidad (Anderson-Darling)	0,329 > 0,05 Cumple
Igualdad de varianzas (Levene)	0,079 > 0,05 Cumple
Independencia de residuos	No existe patrón definido

Fuente: Autor

3.2.2. Análisis del esfuerzo Máximo de Tracción

3.2.2.1. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta

Se realiza el análisis de la respuesta experimental Esfuerzo Máximo a la Tracción mediante la Metodología de Superficie de Respuesta, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interrelaciones de hasta tercer grado.

Involucrando todos los términos que se pueden analizar al considerar los tres factores planteados, se generan al inicio un modelo completo de segundo grado con interacciones de hasta tercer grado; con este modelo se revisa la significancia de cada término y a la par el cumplimiento de los supuestos.

Análisis de la varianza

Con el modelo que cumple con los supuestos y que se compone de términos que aportan significativamente a la respuesta experimental analizada, se efectúa el análisis de la varianza, este se describe en la Tabla 3.48; en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre las medias globales poblacionales de cada tratamiento, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.48 ANOVA del Esfuerzo Máximo a la Tracción.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor- <i>p</i>
Modelo	12	37,7005	3,1417	491,46	0,000
ORIENT	1	6,0552	6,0552	947,23	0,000
ESP FV	1	15,6408	15,6408	2446,73	0,000
TEMP	1	0,2036	0,2036	31,85	0,000
ORIENT*ORIENT	1	7,5507	7,5507	1181,17	0,000
ESP FV*ESP FV	1	0,4561	0,4561	71,35	0,000
TEMP*TEMP	1	2,4697	2,4697	386,34	0,000
ORIENT*ESP FV	1	0,0414	0,0414	6,48	0,013
ORIENT*TEMP	1	0,0019	0,0019	0,30	0,583
ESP FV*TEMP	1	0,2063	0,2063	32,27	0,000
ORIENT*ORIENT*ESP FV	1	8,0891	8,0891	1265,40	0,000
ORIENT*ORIENT*TEMP	1	0,2035	0,2035	31,84	0,000
ORIENT*ESP FV*ESP FV	1	0,0866	0,0866	13,54	0,000
Error	62	0,3963	0,0064		
Total	74	38,0968			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 98.96% de la variabilidad del esfuerzo máximo a la tracción.

Para entender de manera más puntual el análisis en la tabla anterior, se presenta la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.2, esta indica que los efectos de los tres factores son significativos sobre el Esfuerzo Máximo a la Tracción, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que esta representa.

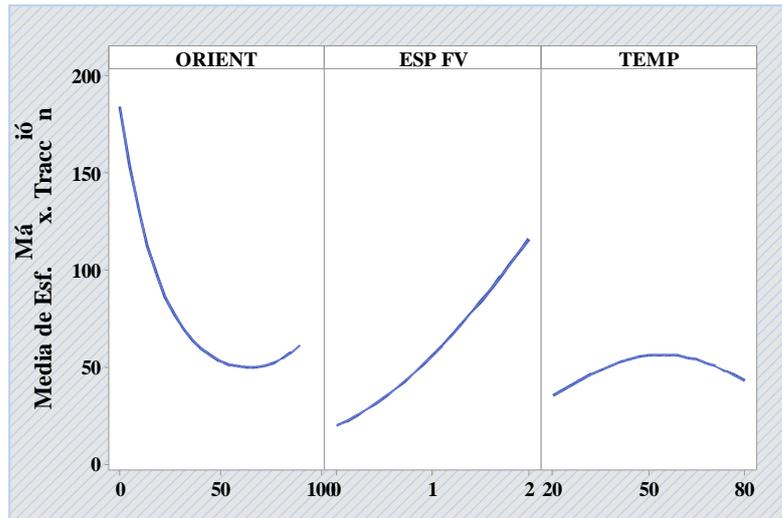


Figura 3.2 Gráfica de efectos principales del Esfuerzo Máximo a la Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de interacción se presentan en la Figura 3.3, en la que se muestran todas las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la orientación versus el espesor de la fibra y el espesor de la fibra versus la temperatura; tienen efecto de interacción sobre del Esfuerzo Máximo a la Tracción.

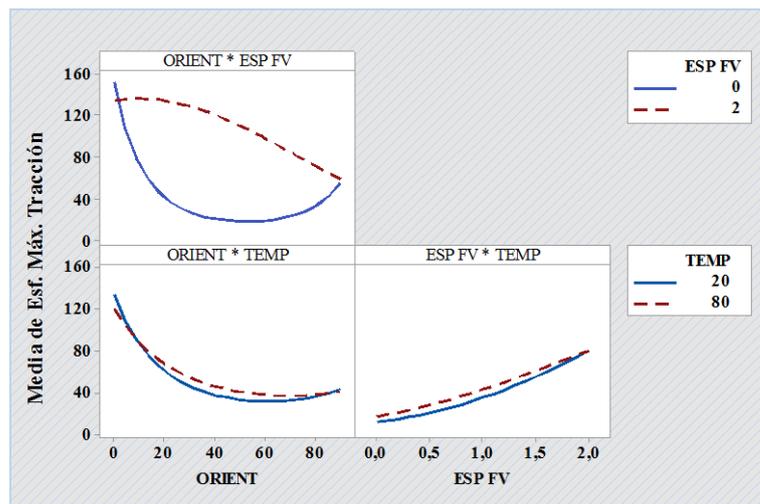


Figura 3.3 Gráfica de interacción del Esfuerzo Máximo a la Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de la varianza, se obtienen las superficies representadas en la Figura 3.4, en esta gráfica se visualiza el comportamiento del Esfuerzo Máximo a la Tracción respecto a cada par de factores de entrada empleados en el análisis.

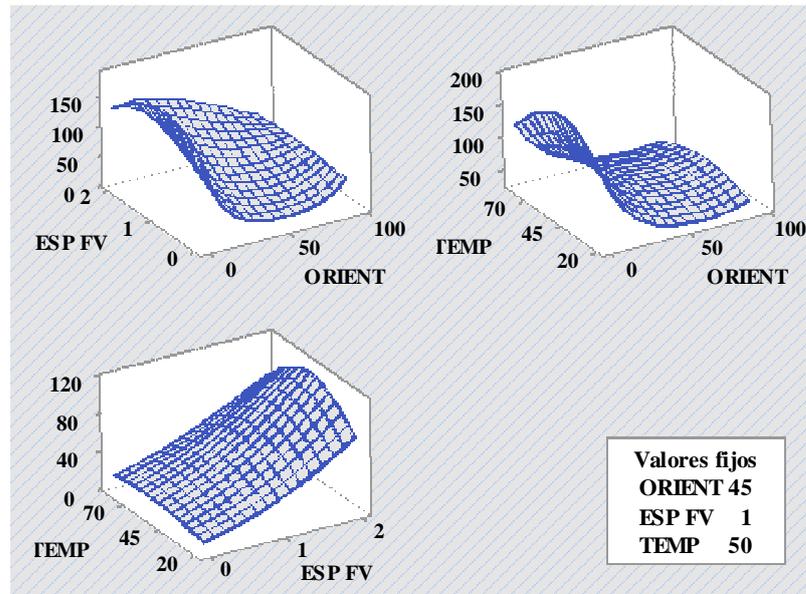


Figura 3.4 Gráfica de superficie del Esfuerzo Máximo a la Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.2.2. Optimización de la propiedad esfuerzo máximo de tracción

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada factor, se detalla en la Tabla 3.49. Los parámetros optimizados son: Orientación, Espesor de fibra de vidrio y Temperatura.

Tabla 3.49 Valores predichos del punto del óptimo Esfuerzo Máximo a la Tracción.

Variable	Configuración
ORIENT	0
ESP FV	0,888889
TEMP	48,4848
Respuesta	Ajuste
Esf. Máx. Tracción	185,255 MPa

Fuente: Autor

3.2.3. Análisis del Módulo de Elasticidad a la Tracción

3.2.3.1. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta

Se realiza el análisis de la respuesta experimental del Módulo de Elasticidad a la Tracción mediante la Metodología de Superficie de Respuesta, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interrelaciones de hasta tercer grado.

Involucrando todos los términos que se pueden analizar al considerar los tres factores planteados, se generan al inicio un modelo completo de segundo grado con interacciones de hasta tercer grado; con este modelo se revisa la significancia de cada término y a la par el cumplimiento de los supuestos.

Análisis de la varianza

Con el modelo que cumple con los supuestos y que se compone de términos que aportan significativamente a la respuesta experimental analizada, se efectúa el análisis de la varianza, este se describe en la Tabla 3.50; en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre las medias globales poblacionales de cada tratamiento, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.50 ANOVA del Módulo de Elasticidad a la Tracción.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Modelo	12	30314,4	2526,2	451,71	0,000
ORIENT	1	11441,3	11441,3	2045,82	0,000
ESP FV	1	6697,8	6697,8	1197,64	0,000
TEMP	1	26,7	26,7	4,77	0,033
ORIENT*ORIENT	1	5292,0	5292,0	946,27	0,000
ESP FV*ESP FV	1	210,7	210,7	37,68	0,000
TEMP*TEMP	1	579,7	579,7	103,66	0,000
ORIENT*ESP FV	1	46,8	46,8	8,36	0,005
ORIENT*TEMP	1	109,1	109,1	19,52	0,000
ESP FV*TEMP	1	76,3	76,3	13,63	0,000
ORIENT*ORIENT*ESP FV	1	3968,8	3968,8	709,66	0,000
ORIENT*ORIENT*TEMP	1	90,7	90,7	16,22	0,000

ORIENT*ESP FV*ESP FV	1	586,0	586,0	104,77	0,000
Error	62	346,7	5,6		
Total	74	30661,1			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 98,87% de la variabilidad del Módulo de Elasticidad a la Tracción.

Para entender de manera más puntual el análisis en la tabla anterior, se presenta la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.5, esta indica que los efectos de los tres factores son significativos sobre el Módulo de Elasticidad a la Tracción, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que esta representa.

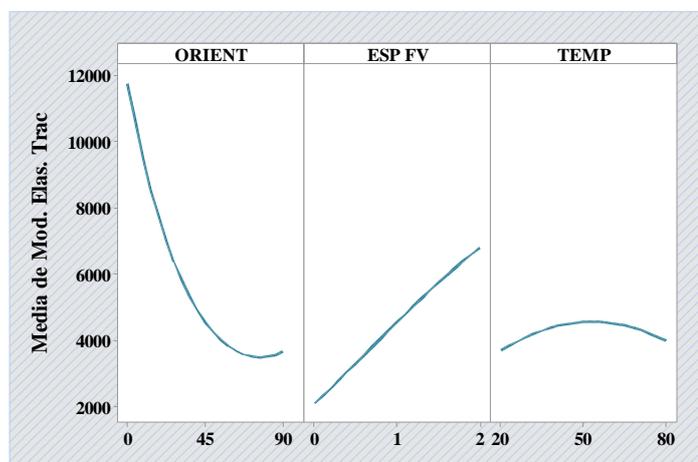


Figura 3.5 Gráfica de efectos principales del Módulo de Elasticidad a la Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de interacción se presentan en la Figura 3.6, en la que se muestran todas las interacciones; de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. Es así que, la orientación versus el espesor de la fibra, la orientación versus la temperatura y el espesor de la fibra versus la temperatura; tienen efectos significativos de interacción sobre el Módulo de Elasticidad a la Tracción.

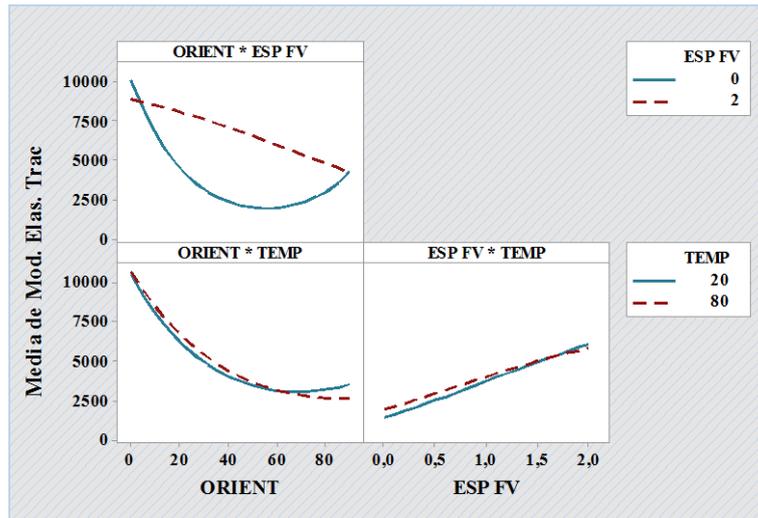


Figura 3.6 Gráfica de interacción del Módulo de Elasticidad a la Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de la varianza, se obtienen las superficies representadas en la Figura 3.7 en esta gráfica se visualiza el comportamiento del Módulo de Elasticidad a la Tracción respecto a cada par de factores de entrada empleados en el análisis.

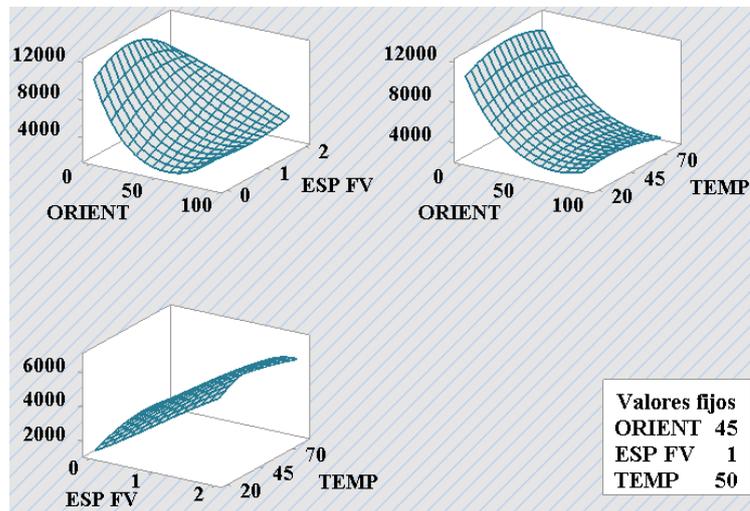


Figura 3.7 Gráfica de superficie del Módulo de Elasticidad a la Tracción.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.3.2. Optimización de la propiedad Módulo de Elasticidad a la Tracción

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada factor, se detalla en la Tabla 3.51. Los parámetros optimizados son: Orientación, Espesor de fibra de vidrio y Temperatura.

Tabla 3.51 Valores predichos del punto del Módulo de Elasticidad a la Tracción.

Variable	Configuración
ORIENT	0
ESP FV	0,848485
TEMP	52,1212
Respuesta	Ajuste
Mod. Elast. Tracción	11816,94 MPa

Fuente: Autor

3.2.4. Análisis de la Elongación

3.2.4.1. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta

Se realiza el análisis de la respuesta experimental de la Elongación mediante la Metodología de Superficie de Respuesta, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interrelaciones de hasta tercer grado.

Involucrando todos los términos que se pueden analizar al considerar los tres factores planteados, se generan al inicio un modelo completo de segundo grado con interacciones de hasta tercer grado; con este modelo se revisa la significancia de cada término y a la par el cumplimiento de los supuestos.

Análisis de la varianza

Con el modelo que cumple con los supuestos y que se compone de términos que aportan significativamente a la respuesta experimental analizada, se efectúa el análisis de la varianza, este se describe en la Tabla 3.52; en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre las medias globales poblacionales

de cada tratamiento, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.52 ANOVA de la Elongación.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Regresión	10	59,719	5,9719	8,63	0,000
ORIENT	1	18,541	18,5407	26,78	0,000
ESP FV	1	27,577	27,5774	39,83	0,000
TEMP	1	6,747	6,7468	9,74	0,003
ORIENT*ORIENT	1	0,008	0,0084	0,01	0,913
ESP FV*ESP FV	1	3,028	3,0277	4,37	0,040
ORIENT*ESP FV	1	0,215	0,2154	0,31	0,579
ORIENT*TEMP	1	2,487	2,4874	3,59	0,063
ORIENT*ORIENT*ESP FV	1	10,640	10,6398	15,37	0,000
ORIENT*ORIENT*TEMP	1	4,371	4,3712	6,31	0,015
ORIENT*ESP FV*ESP FV	1	6,376	6,3757	9,21	0,003
Error	64	44,312	0,6924		
Falta de ajuste	2	3,184	1,5922	2,40	0,099
Error puro	62	41,128	0,6634		
Total	74	104,031			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 57.40% de la variabilidad de la Elongación.

Para entender de manera más puntual el análisis en la tabla anterior, se presenta la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.8, esta indica que los efectos de los tres factores son significativos sobre la Elongación, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que esta representa.

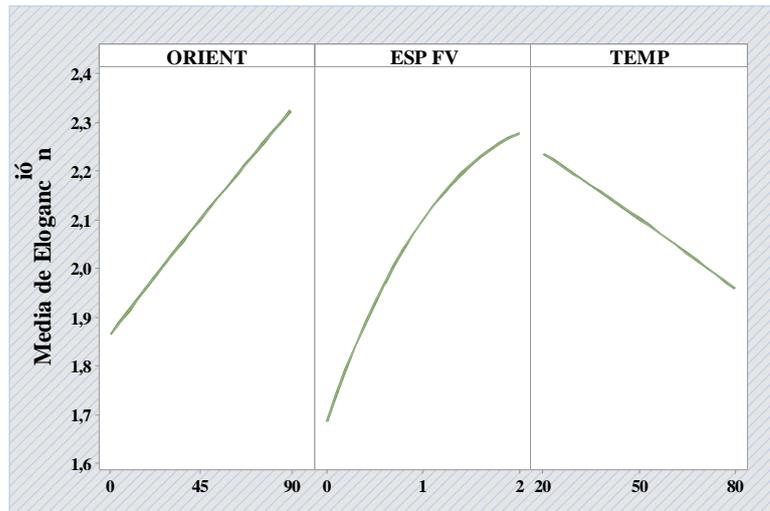


Figura 3.8 Gráfica de efectos principales de la Elongación.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de interacción se presentan en la Figura 3.9, en la que se muestran todas las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la orientación versus el espesor de la fibra y la orientación versus la temperatura tienen efecto de interacción sobre de la Elongación.

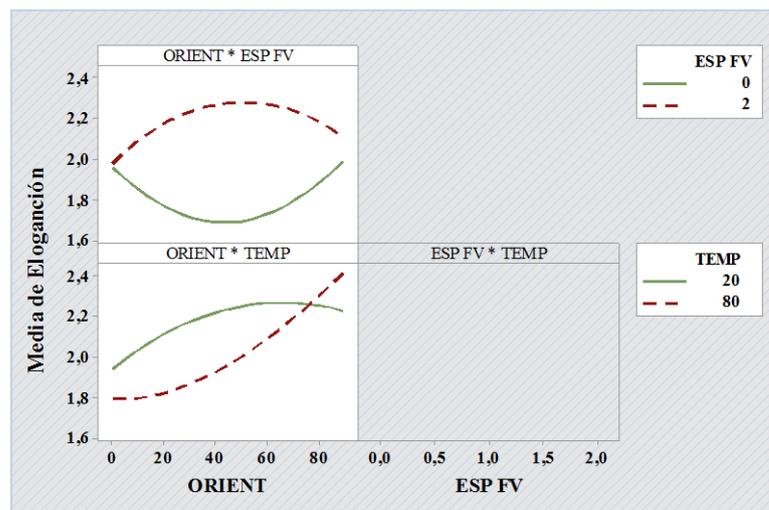


Figura 3.9 Gráfica de interacción de la Elongación.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de la varianza, se obtienen las superficies representadas en la Figura 3.10, en esta gráfica se visualiza el comportamiento de la Elongación respecto a cada par de factores de entrada empleados en el análisis.

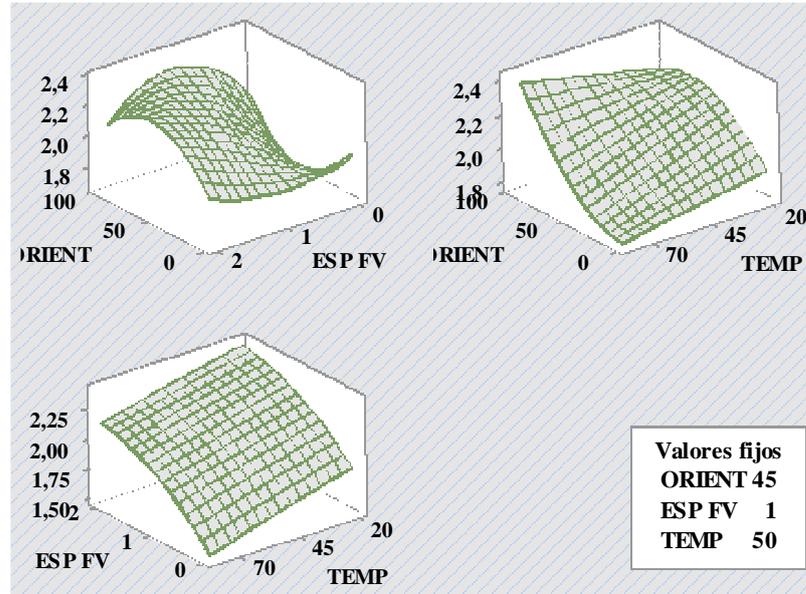


Figura 3.10 Gráfica de superficie de la Elongación.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.4.2. Optimización de la propiedad Elongación

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada factor, se detalla en la Tabla 3.53. Los parámetros optimizados son: Orientación, Espesor de fibra de vidrio y Temperatura.

Tabla 3.53 Valores predichos del punto de la Elongación.

Variable	Configuración
ORIENT	40
ESP FV	0
TEMP	80
Respuesta	Ajuste
Elongación	1,49363 %

Fuente: Autor

3.2.5. Análisis del Esfuerzo Máximo a la Flexión

3.2.5.1. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta

Se realiza el análisis de la respuesta experimental de la elongación mediante la Metodología de Superficie de Respuesta, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interrelaciones de hasta tercer grado.

Involucrando todos los términos que se pueden analizar al considerar los tres factores planteados, se generan al inicio un modelo completo de segundo grado con interacciones de hasta tercer grado; con este modelo se revisa la significancia de cada término y a la par el cumplimiento de los supuestos.

Análisis de la varianza

Con el modelo que cumple con los supuestos y que se compone de términos que aportan significativamente a la respuesta experimental analizada, se efectúa el análisis de la varianza, este se describe en la Tabla 3.54; en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre las medias globales poblacionales de cada tratamiento, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.54 ANOVA del Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Regresión	11	0,14981	0,01362	174,25	0,000
ORIENT	1	0,05358	0,05358	685,49	0,000
ESP FV	1	0,04372	0,04372	559,33	0,000
TEMP	1	0,00560	0,00560	71,69	0,000
ORIENT*ORIENT	1	0,00981	0,00981	125,47	0,000
ESP FV*ESP FV	1	0,00155	0,00155	19,87	0,000
TEMP*TEMP	1	0,00711	0,00711	90,93	0,000
ORIENT*ESP FV	1	0,00763	0,00763	97,66	0,000
ORIENT*TEMP	1	0,00073	0,00073	9,39	0,003
ESP FV*TEMP	1	0,00051	0,00051	6,57	0,013

ORIENT*ORIENT*ESP FV	1	0,00640	0,00640	81,90	0,000
ORIENT*ESP FV*ESP FV	1	0,00930	0,00930	119,01	0,000
Error	63	0,00492	0,00008		
Falta de ajuste	1	0,00008	0,00008	1,02	0,315
Error puro	62	0,00484	0,00008		
Total	74	0,15474			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 96,82% del Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Para entender de manera más puntual el análisis en la tabla anterior, se presenta la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.11, esta indica que los efectos de los tres factores son significativos sobre el Esfuerzo Máximo a la Flexión, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que esta representa.

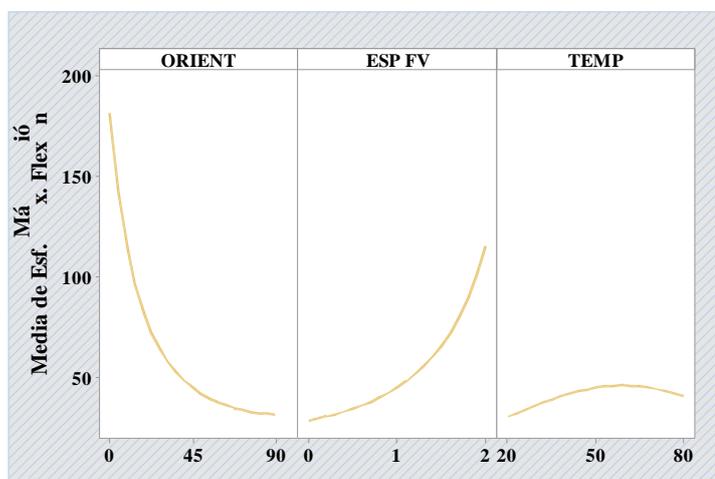


Figura 3.11 Gráfica de efectos principales del Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de interacción se presentan en la Figura 3.12, en la que se muestran todas las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, las tres interacciones; tienen efectos significativos sobre el Esfuerzo Máximo a la Flexión.

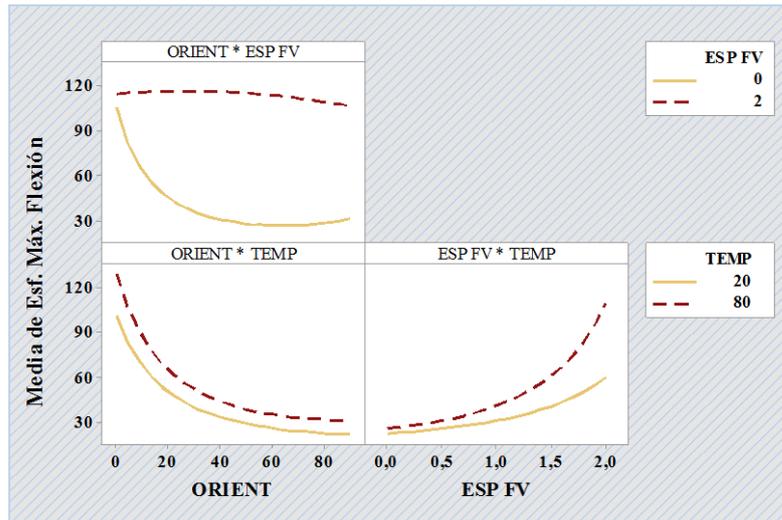


Figura 3.12 Gráfica de interacción del Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de región generada mediante el análisis de la varianza, se obtienen las superficies representadas en la Figura 3.13, en esta gráfica se visualiza el comportamiento del Esfuerzo Máximo a la Flexión respecto a cada par de factores de entrada empleados en el análisis.

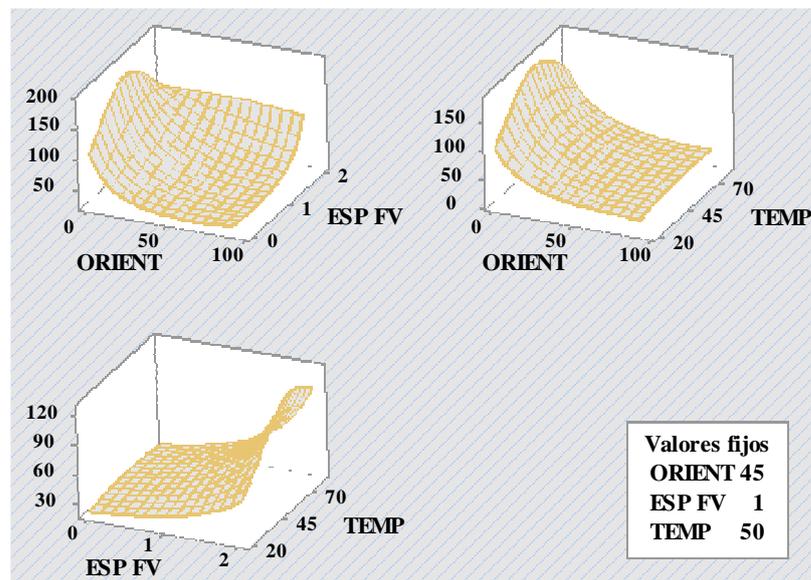


Figura 3.13 Gráfica de superficie del Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.5.2. Optimización de la propiedad Esfuerzo Máximo a la Flexión

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada factor, se detalla en la Tabla 3-55. Los parámetros optimizados son: Orientación, Espesor de fibra de vidrio y Temperatura.

Tabla 3.55 Valores predichos del punto del Esfuerzo Máximo a la Flexión.

Variable	Configuración
ORIENT	0
ESP FV	0,626263
TEMP	57,5758
Respuesta	Ajuste
Esf. Máx. Flexión	163,818 MPa

Fuente: Autor

3.2.6. Análisis del Módulo de Elasticidad a la Flexión

3.2.6.1. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta

Se realiza el análisis de la respuesta experimental del Módulo de Elasticidad a la Flexión mediante la Metodología de Superficie de Respuesta, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interrelaciones de hasta tercer grado.

Involucrando todos los términos que se pueden analizar al considerar los tres factores planteados, se generan al inicio un modelo completo de segundo grado con interacciones de hasta tercer grado; con este modelo se revisa la significancia de cada término y a la par el cumplimiento de los supuestos.

Análisis de la varianza

Con el modelo que cumple con los supuestos y que se compone de términos que aportan significativamente a la respuesta experimental analizada, se efectúa el análisis de la varianza, este se describe en la Tabla 3.56; en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre las medias globales poblacionales de cada tratamiento, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.56 ANOVA del Módulo de Elasticidad a la Flexión.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Modelo	11	48,0650	4,3695	47,73	0,000
ORIENT	1	15,1474	15,1474	165,46	0,000
ESP FV	1	7,0043	7,0043	76,51	0,000
TEMP	1	0,0790	0,0790	0,86	0,356
ORIENT*ORIENT	1	1,7902	1,7902	19,56	0,000
ESP FV*ESP FV	1	0,1001	0,1001	1,09	0,300
TEMP*TEMP	1	4,0797	4,0797	44,56	0,000
ORIENT*ESP FV	1	9,1508	9,1508	99,96	0,000
ORIENT*TEMP	1	0,3723	0,3723	4,07	0,048
ESP FV*TEMP	1	4,4297	4,4297	48,39	0,000
ORIENT*ORIENT*ESP FV	1	3,4448	3,4448	37,63	0,000
ORIENT*ESP FV*ESP FV	1	1,2218	1,2218	13,35	0,001
Error	63	5,7674	0,0915		
Total	74	53,8324			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 89,29% de la variabilidad del Módulo de Elasticidad a la Flexión.

Para entender de manera más puntual el análisis en la tabla anterior, se presenta la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3-14, esta indica que los efectos de los tres factores son significativos sobre el módulo de elasticidad a la flexión transformado, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que esta representa.

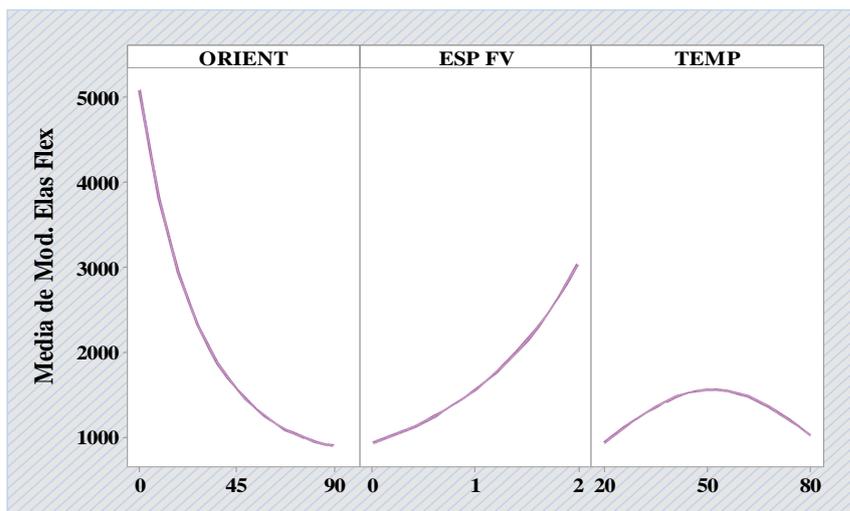


Figura 3.14 Gráfica de efectos principales Módulo de Elasticidad a la Flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de interacción se presentan en la Figura 3.15, en la que se muestran todas las interacciones; de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. Es así que, la orientación versus el espesor de la fibra, la orientación versus la temperatura y el espesor de la fibra versus la temperatura; tienen efectos significativos de interacción sobre el Módulo de elasticidad a la Flexión.

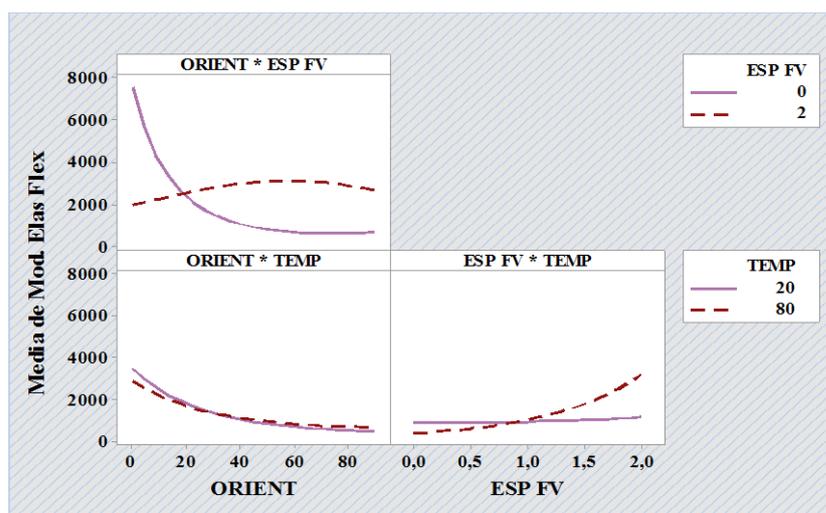


Figura 3.15 Gráfica de interacción del Módulo de Elasticidad a la Flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de la varianza, se obtienen las superficies representadas en la figura 3.16, en esta gráfica se visualiza el comportamiento de Módulo de Elasticidad a la Flexión respecto a cada par de factores de entrada empleados en el análisis.

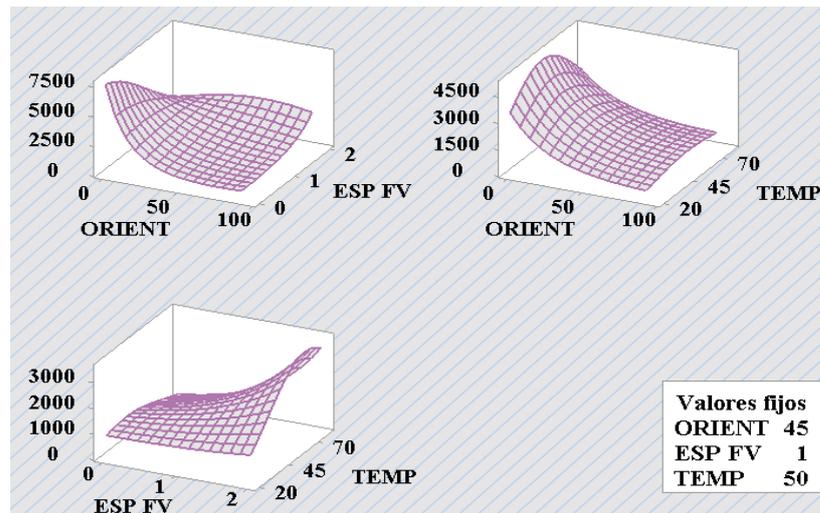


Figura 3.16 Gráfica de superficie del Módulo de Elasticidad a la Flexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.6.2. Optimización de la propiedad Módulo de Elasticidad a la Flexión

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada factor, se detalla en la Tabla 3.57. Los parámetros optimizados son: Orientación, Espesor de fibra de vidrio y Temperatura.

Tabla 3.57 Valores predichos del punto del Módulo de Elasticidad a la Flexión.

Variable	Configuración
ORIENT	0
ESP FV	0
TEMP	32,1212
Respuesta	Ajuste
Mod. Elast. Flexión	8951,82 MPa

Fuente: Autor

3.2.7. Análisis de la Deflexión

3.2.7.1. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta

Se realiza el análisis de la respuesta experimental de la Deflexión mediante la Metodología de Superficie de Respuesta, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interrelaciones de hasta tercer grado.

Involucrando todos los términos que se pueden analizar al considerar los tres factores planteados, se generan al inicio un modelo completo de segundo grado con interacciones de hasta tercer grado; con este modelo se revisa la significancia de cada término y a la par el cumplimiento de los supuestos.

Análisis de la varianza

Con el modelo que cumple con los supuestos y que se compone de términos que aportan significativamente a la respuesta experimental analizada, se efectúa el análisis de la varianza, este se describe en la Tabla 3.58; en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre las medias globales poblacionales de cada tratamiento, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.58 ANOVA de la Deflexión.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Regresión	9	762,662	84,740	33,76	0,000
ORIENT	1	205,614	205,614	81,92	0,000
ESP FV	1	195,585	195,585	77,93	0,000
TEMP	1	2,034	2,034	0,81	0,371
ORIENT*ORIENT	1	169,804	169,804	67,65	0,000
ESP FV*ESP FV	1	61,339	61,339	24,44	0,000
TEMP*TEMP	1	55,444	55,444	22,09	0,000
ORIENT*ESP FV	1	48,731	48,731	19,42	0,000
ESP FV*TEMP	1	42,582	42,582	16,97	0,000
ORIENT*ESP FV*ESP FV	1	54,070	54,070	21,54	0,000
Error	65	163,141	2,510		

Total	74	925,803			
-------	----	---------	--	--	--

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 82,38% de la variabilidad de la Deflexión.

Para entender de manera más puntual el análisis en la tabla anterior, se presenta la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.17, esta indica que los efectos de los dos factores, la orientación y el espesor de la fibra, son significativos sobre la Deflexión, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que esta representa.

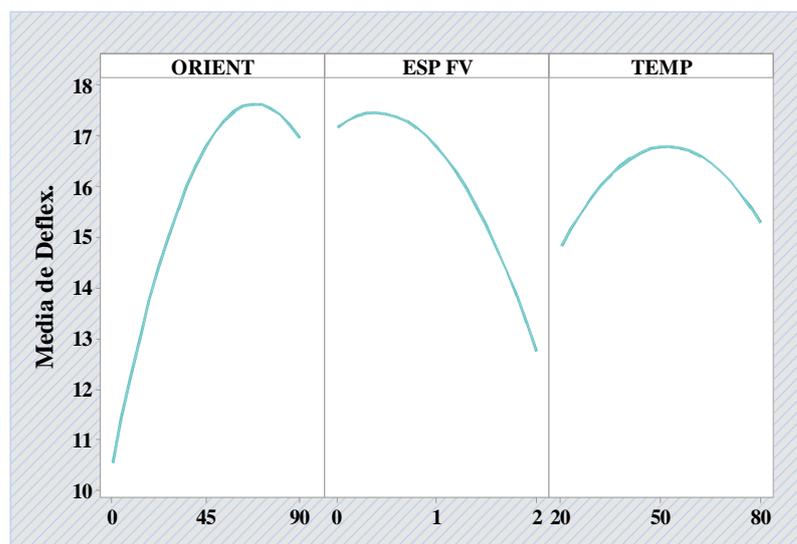


Figura 3.17 Gráfica de efectos principales de la Deflexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de interacción se presentan en la Figura 3.18, en la que se muestran las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, la orientación versus el espesor de la fibra y el espesor de la fibra versus la temperatura; tienen efecto de interacción sobre de la Deflexión.

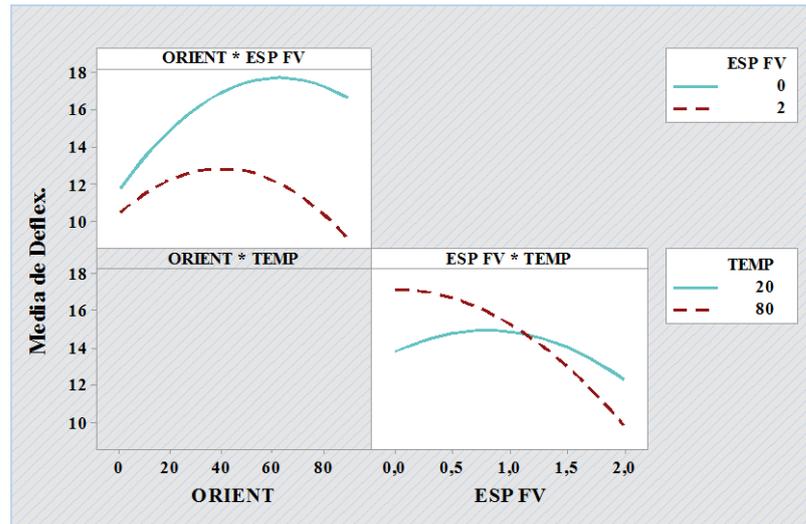


Figura 3.18 Gráfica de interacción de la Deflexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo con la ecuación de regresión generada mediante el análisis de la varianza, se obtienen las superficies representadas en la Figura 3.19, en esta gráfica se visualiza el comportamiento de la Deflexión respecto a cada par de factores de entrada empleados en el análisis.

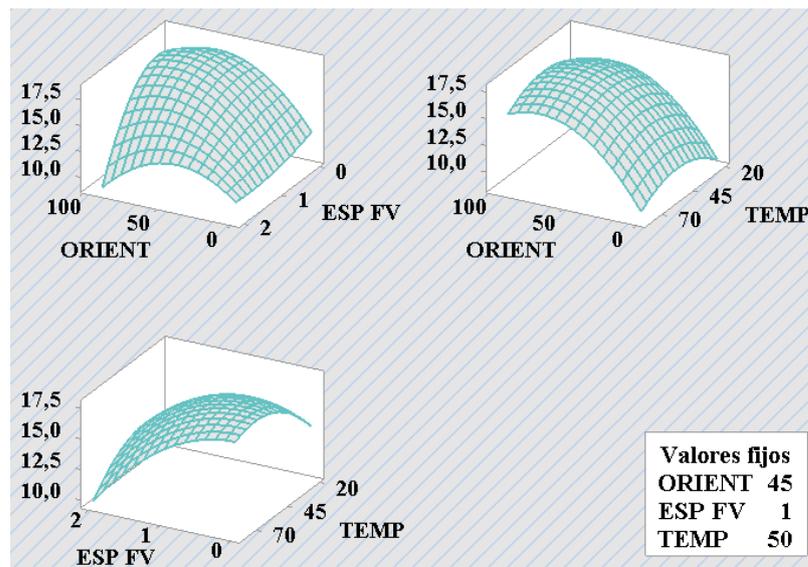


Figura 3.19 Gráfica de superficie de la Deflexión.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.7.2. Optimización de la propiedad Deflexión

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada factor, se detalla en la Tabla 3.59. Los parámetros optimizados son: Orientación, Espesor de fibra de vidrio y Temperatura.

Tabla 3.59 Valores predichos del punto de la Deflexión.

Variable	Configuración
ORIENT	90
ESP FV	2
TEMP	80
Respuesta	Ajuste
Deflexión	6,080 mm

Fuente: Autor

3.2.8. Análisis de la Energía Media de Fallo

Para el análisis estadístico de esta propiedad se generaron 5 valores aleatorios cuya media resulta en el valor de energía medio de fallo real obtenida de los ensayos del material, la razón de generación de estos valores aleatorios obedece a la naturaleza del ensayo ya que se debe variar la altura de fallo para la caída del dardo descartando cada probeta por cada vez que se varia la altura de caída. Es así que para obtener únicamente un valor de energía media de fallo se deben ensayar numerosas probetas incurriendo en altos costos de fabricación y ensayo del material.

3.2.8.1. Aplicación de la Metodología de Superficie de Respuesta

Se realiza el análisis de la respuesta experimental de la Energía Media de Fallo mediante la Metodología de Superficie de Respuesta, para el análisis se emplea un modelo con términos cuadráticos e interrelaciones de hasta tercer grado.

Involucrando todos los términos que se pueden analizar al considerar los tres factores planteados, se generan al inicio un modelo completo de segundo grado con interacciones de hasta tercer grado; con este modelo se revisa la significancia de cada término y a la par el cumplimiento de los supuestos.

Análisis de la varianza

Con el modelo que cumple con los supuestos y que se compone de términos que aportan significativamente a la respuesta experimental analizada, se efectúa el análisis de la varianza, este se describe en la Tabla 3.60; en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre las medias globales poblacionales de cada tratamiento, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.60 ANOVA de la Energía Media de Fallo.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Regresión	8	4,76470	0,59559	17,74	0,000
ORIENT	1	1,16116	1,16116	34,59	0,000
ESP FV	1	0,05693	0,05693	1,70	0,197
TEMP	1	0,04950	0,04950	1,47	0,229
ORIENT*ORIENT	1	0,11379	0,11379	3,39	0,070
ESP FV*ESP FV	1	0,57564	0,57564	17,15	0,000
ORIENT*ESP FV	1	0,13052	0,13052	3,89	0,053
ESP FV*TEMP	1	1,35594	1,35594	40,39	0,000
ORIENT*ORIENT*ESP FV	1	0,39890	0,39890	11,88	0,001
Error	66	2,21550	0,03357		
Falta de ajuste	4	0,11314	0,02828	0,83	0,509
Error puro	62	2,10237	0,03391		
Total	74	6,98020			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 68,26% de la variabilidad de la Energía Media de Fallo.

Para entender de manera más puntual el análisis en la tabla anterior, se presenta la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la Figura 3.20, esta indica que los efectos de la orientación son significativos sobre la Energía Media de Fallo, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus

líneas, ya que mientras más pronunciada sea la línea, mayor será el efecto del factor que esta representa.

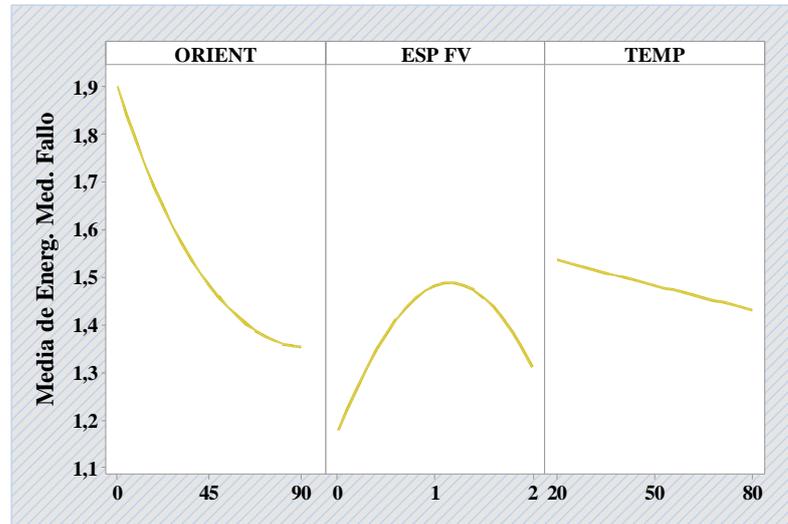


Figura 3.20 Gráfica de efectos principales de la Energía Media de Fallo.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de interacción se presentan en la Figura 3.21, en la que se muestran todas las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. En este caso, el espesor de la fibra versus la temperatura; tienen efecto de interacción sobre de la Energía Media de Fallo.

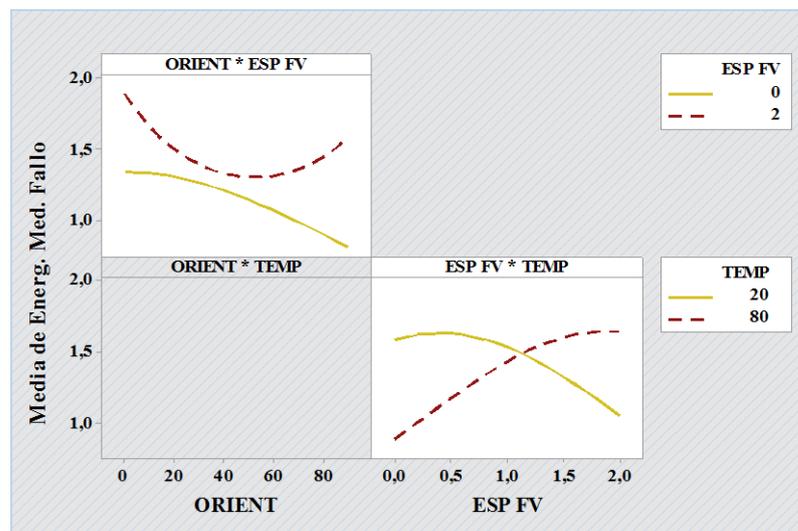


Figura 3.21 Gráfica de interacción de la Energía Media de Fallo.

Fuente: Minitab® Statistical Software

De acuerdo a la ecuación de regresión generada mediante el análisis de la varianza, se obtienen las superficies representadas en la Figura 3.22, en esta gráfica se visualiza el comportamiento de la energía media de fallo respecto a cada par de factores de entrada empleados en el análisis.

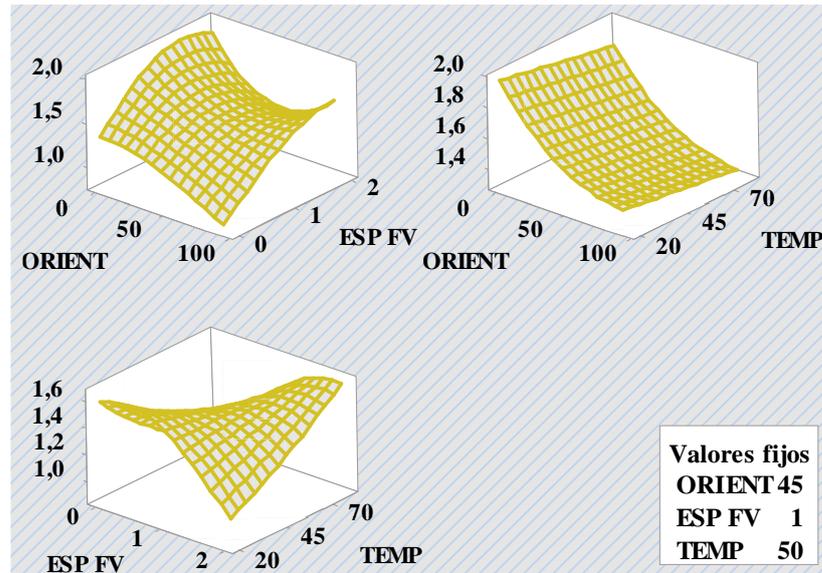


Figura 3.22 Gráfica de superficie de la Energía Media de Fallo.

Fuente: Minitab® Statistical Software

3.2.8.2. Optimización de la propiedad Energía Media de Fallo

El punto óptimo, con los respectivos niveles de cada factor, se detalla en la Tabla 3.61. Los parámetros optimizados son: Orientación, Espesor de fibra de vidrio y Temperatura.

Tabla 3.61 Valores predichos del punto de la Energía Media de Fallo.

Variable	Configuración
ORIENT	0
ESP FV	2
TEMP	80
Respuesta	Ajuste
Energ. Med. Fallo	2,3729 J

Fuente: Autor

3.2.9. Optimización simultánea

Para abarcar los valores de las deseabilidades individuales evaluadas se utiliza un único valor analizable global, este valor es la deseabilidad compuesta, cuyo valor se puede visualizar en la Figura 3.23.

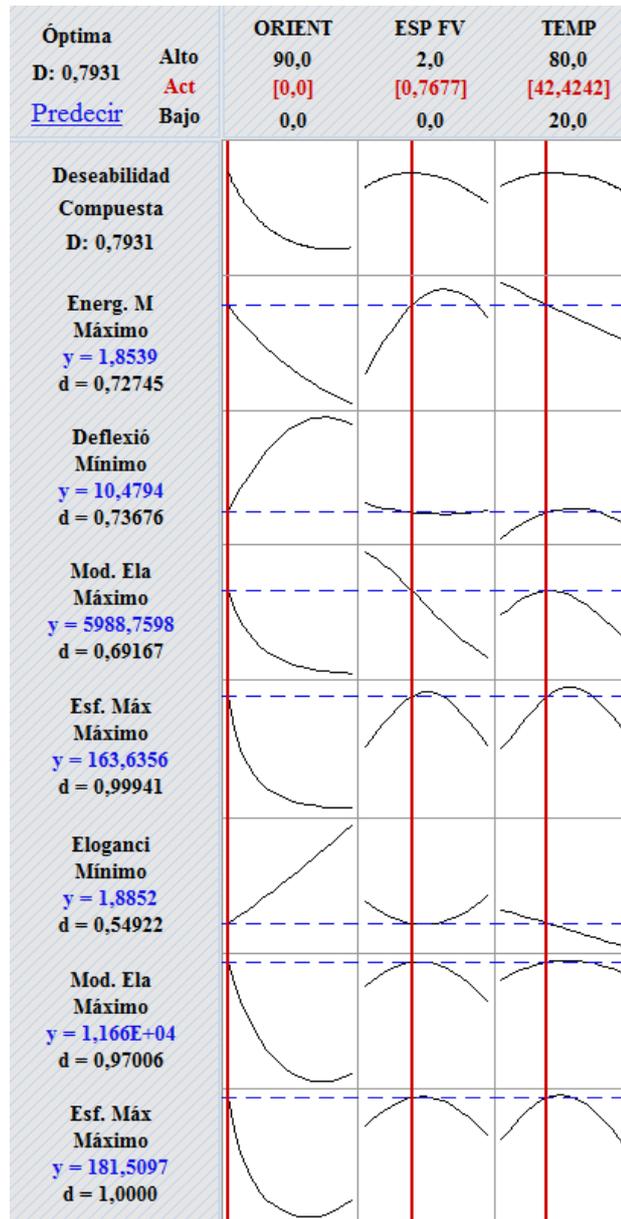


Figura 3.23 Gráfica de optimización simultánea.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la Tabla 3.62, se visualiza la configuración óptima del material híbrido para obtener el máximo rendimiento en sus propiedades mecánicas.

Tabla 3.62 Configuración óptima del material Híbrido.

Variable	Valor de configuración
ORIENT	0
ESP FV	0,76
TEMP	42,42

Fuente: Autor

Mediante la ecuación de regresión que se genera en el análisis de varianzas de cada respuesta experimental se obtienen las siguientes respuestas predichas, que se pueden visualizar en la Tabla 3.63.

Tabla 3.63 Valores predichos de punto óptimo simultáneo

Respuesta	Ajuste
Esf. Máx. Tracción	181,51 [Mpa]
Mod. Elast. Tracción	11663,70 [Mpa]
Elongación	1,89 %
Esf. Máx. Flexión	163,64 [Mpa]
Mod. Elast. Flexión	5988,76 [Mpa]
Deflexión	10,48 [mm]
Energía Media Fallo	1,85 [J]

Fuente: Autor

3.3. Verificación de la hipótesis

Para verificar la hipótesis “El análisis estadístico con la Metodología de Superficies de Respuesta permitirá la optimización de propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epoxi, reforzada con fibra de vidrio y abacá”, se propone realizar el análisis ANOVA de los valores de Deseabilidad Global, ya que esta contempla todas las propiedades mecánicas analizadas en la investigación.

Análisis de la varianza de la deseabilidad

Se efectúa el análisis de la varianza con los valores de la deseabilidad, este se describe en la Tabla 3.64, en el que se concluye de manera general que existen diferencias significativas entre los tratamientos, mediante el contraste en el modelo de las significancias calculada y predefinida teniendo valores de 0,000 y 0,05, respectivamente.

Tabla 3.64 ANOVA de la Deseabilidad.

Fuente de Variación	G.L.	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p
Modelo	10	1,54189	0,154189	55,42	0,000
ORIENT	1	0,63158	0,631584	227,03	0,000
ESP FV	1	0,23078	0,230782	82,96	0,000
TEMP	1	0,01725	0,017250	6,20	0,022
ORIENT*ORIENT	1	0,27227	0,272270	97,87	0,000
ESP FV*ESP FV	1	0,00046	0,000465	0,17	0,687
TEMP*TEMP	1	0,01745	0,017448	6,27	0,022
ORIENT*ESP FV	1	0,07321	0,073212	26,32	0,000
ESP FV*TEMP	1	0,02465	0,024653	8,86	0,008
ORIENT*ORIENT*ESP FV	1	0,05401	0,054015	19,42	0,000
ORIENT*ESP FV*ESP FV	1	0,04670	0,046696	16,79	0,001
Error	19	0,05286	0,002782		
Falta de ajuste	2	0,01091	0,005456	2,21	0,140
Error puro	17	0,04195	0,002467		
Total	29	1,59475			

Fuente: Autor

Se entiende que el modelo explica el 96,69% de la variabilidad de la deseabilidad, por lo que se puede entender que el modelo ocupado, engloba la variabilidad eficientemente para todas las propiedades mecánicas analizadas, siendo así, el valor-p de este análisis se emplea para concluir la hipótesis planteada.

Es así que la hipótesis a demostrar se plantea como:

H₀: El análisis estadístico con la Metodología de Superficies de Respuesta no permitirá la optimización de propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epoxi, reforzada con fibra de vidrio y abacá.

H₁: El análisis estadístico con la Metodología de Superficies de Respuesta permitirá la optimización de propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epoxi, reforzada con fibra de vidrio y abacá.

Con el valor-p de 0.000, se rechaza la hipótesis nula. Por lo que, al presentarse diferencias significativas entre los tratamientos, se puede entender que existe un caso óptimo, con lo que se concluye que el análisis estadístico con la Metodología de Superficie de Respuesta, permitió optimizar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido de matriz epoxi, reforzada con fibra de vidrio y abacá.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se utilizó el diseño de Box-Benhken basado Metodología de Superficies de Respuesta que permitió optimizar las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido.
- La estratificación al vacío del material híbrido brinda buena adherencia entre matriz y refuerzo además de la eliminación de porosidades en la interfaz ayuda también a la eliminación del excedente de resina necesaria para la formación del material, cualidades que repercuten directamente en su rendimiento.
- La orientación de las fibras es un factor predominante al momento de obtener las mejores propiedades de un material compuesto seguido por el espesor de la fibra de vidrio mientras que con la variación de la temperatura de curado no se muestran variaciones significantes en el rendimiento.
- El **Esfuerzo Máximo de Tracción**, ofrece su mejor desempeño cuando la Orientación de la fibra: 0°, Espesor de la fibra de vidrio: 0,88 mm, Temperatura de curado de 48,48°C, con una respuesta predicha de 185,26 [MPa].
- El **Módulo de Elasticidad de Tracción**, ofrece su mejor desempeño cuando la Orientación de la fibra: 0°, Espesor de la fibra de vidrio: 0,84 mm, Temperatura de curado de 52,12°C, con una respuesta predicha de 11816,94 [MPa].

- La **Elongación**, ofrece su mejor desempeño de este, cuando la Orientación de la fibra: 40°, Espesor de la fibra de vidrio: 0 mm, Temperatura de curado de 80°C, con una respuesta predicha de 1,49 %.
- El **Esfuerzo Máximo de Flexión**, brinda su mejor desempeño cuando la Orientación de la fibra: 0°, Espesor de la fibra de vidrio: 0,62 mm, Temperatura de curado de 57,57°C, con una respuesta predicha de 163,82 [MPa].
- El **Módulo de Elasticidad de Flexión**, ofrece su mejor desempeño cuando la Orientación de la fibra: 0°, Espesor de la fibra de vidrio: 0 mm, Temperatura de curado de 32,12°C, con una respuesta predicha de 8551,51 [MPa].
- La **Deflexión**, brinda su mejor desempeño cuando la Orientación de la fibra: 90°, Espesor de la fibra de vidrio: 2[mm], Temperatura de curado de 80°C, con una respuesta predicha de 6,08 [mm].
- La **Energía Media de Fallo**, ofrece su mejor desempeño cuando la Orientación de la fibra: 0°, Espesor de la fibra de vidrio: 2 mm, Temperatura de curado de 80°C, con una respuesta predicha de 2,37 [J].

Las respuestas predichas son los puntos óptimos para cada propiedad y son los valores máximos que se pueden obtener con cada configuración de factores.

- Del análisis realizado a las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto, se establece que el modelo de regresión factorial de la MSR con el diseño de Box-Behnken explica hasta el 96,96% la variabilidad de las propiedades.

- La configuración óptima simultánea en la que se aprovechan las propiedades mecánicas del material híbrido es: orientación de fibras de abacá 0°, espesor de fibra de vidrio de 1,2 mm y una temperatura de curado de 55,8 °C, valores provenientes de la función de deseabilidad con un valor de global de 0,7931 con dicha configuración se obtienen los siguientes resultados.

Esfuerzo Máximo de Tracción: 181,51 [MPa]

Módulo de Elasticidad a la Tracción: 11663,70 [MPa]

Elongación: 1,89 %

Esfuerzo Máximo de Flexión: 163,64 [MPa]

Módulo de Elasticidad a la Flexión: 5988,76 [MPa]

Deflexión: 10,48 [mm]

Energía Media de Fallo: 1,85 [J]

4.2. Recomendaciones

- Utilizar las prendas de protección personal al manipular los componentes del material a fabricar, especialmente de las fibras sintéticas de las cuales se desprenden partículas minúsculas que son nocivas para la salud.
- Al momento de fabricar la plancha de material sobreestimar 2cm al perímetro de corte de las fibras ya que en los bordes pueden existir defectos indeseados que pueden incidir en el rendimiento mecánico del material.
- Realizar el enfundado al vacío del material impregnado de resina en una superficie plana y libre de impurezas para evitar la fuga de la depresión de vacío.
- El suministro de depresión de vacío debe ser por al menos 3 horas mientras se solidifica la resina, posterior a este tiempo se deben desconectar las bombas, pero dejando actuar la depresión por al menos 24 horas para asegurar una excelente interfaz entre matriz y refuerzo.

- Al momento de cortar las planchas de material se recomienda un número mínimo de pasadas del láser para evitar la pérdida de espesor y la afectación térmica que puede repercutir en el rendimiento del material.
- Para el curado de las planchas de material es necesario colocar las probetas en una base rígida para evitar el pandeo del material provocado por la temperatura dentro del secador infrarrojo.
- Establecer una codificación adecuada para que al momento de la ejecución de los ensayos se eviten confusiones en la toma de datos de las diferentes probetas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. K. Bledzki, A. A. Mamun, and O. Faruk, "Abaca fibre reinforced PP composites and comparison with jute and flax fibre PP composites," *Express Polym. Lett.*, vol. 1, no. 11, pp. 755–762, 2007, doi: 10.3144/expresspolymlett.2007.104.
- [2] J. Paredes, C. Pérez, and C. Castro, "Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz," *Enfoque UTE*, vol. 8, p. 1, 2017, doi: 10.29019/enfoqueute.v8n3.163.
- [3] F. I. Romli, A. N. Alias, A. S. M. Rafie, and D. L. A. A. Majid, "Factorial Study on the Tensile Strength of a Coir Fiber-Reinforced Epoxy Composite," *AASRI Procedia*, vol. 3, pp. 242–247, 2013, doi: 10.1016/j.aasri.2012.11.040.
- [4] H. Erazo, "Análisis estadístico de las propiedades mecánicas a tracción, flexión e impacto del material híbrido con fibra de vidrio y abaca en matriz polimérica de resina poliéster, para determinar la mejor configuración," Tesis de Ingeniería, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador, 2019. [En línea]. Disponible: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/5301/Mg.DCEv.Ed.1859.pdf?sequence=3>.
- [5] A. Aggarwal, H. Singh, P. Kumar, and M. Singh, "Optimizing power consumption for CNC turned parts using response Surface Methodology and Taguchi's technique-A comparative analysis," *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 200, no. 1–3, pp. 373–384, 2008, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.09.041.
- [6] R. Ramanujam, R. Raju, and N. Muthukrishnan, "Taguchi Multi-machining Characteristics Optimization in Turning of Al-15%SiC p Composites using Desirability Function Analysis," *J. Stud. Manuf.*, no. January, pp. 120–125, 2010.
- [7] E. H. Agung, S. M. Sapuan, M. M. Hamdan, H. M. D. K. Zaman, and U. Mustofa, "Optimization of the mechanical properties of abaca fibre-reinforced high impact polystyrene (HIPS) composites using box-behnken design of experiments," *Polym. Polym. Compos.*, vol. 19, no. 8, pp. 697–710, 2011, doi: 10.1177/096739111101900811.

- [8] J. Smith, William & Hashemi, "Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales," Cuarta Ed, 2014.
- [9] G. Kikelbick, "Hybrid Materials: Synthesis, Characterization, and Applications," Wiley, 2007.
- [10] P. D. Calvert, "Polymers for new materials," Polymer (Guildf)., vol. 35, no. 21, pp. 4484–4488, 1994, doi: [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(94\)90792-7](https://doi.org/10.1016/0032-3861(94)90792-7).
- [11] A. Besednjak, Materiales Compuestos, Primera Ed. Catalunya, 2009.
- [12] R. Askeland, "Ciencia e Ingeniería de los Materiales," Tercera Ed. 1998.
- [13] F. Stupenengo, "Materiales Compuestos," Materiales y Materias primas, pp. 7–11, 2011, [En línea]. Disponible: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>.
- [14] J. William D. Callister, "Fundamentals of Materials Science and Engineering," 2001.
- [15] J. F. Shackelford, "Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros," Pearson Prentice Hall, vol. 6, pp. 1–838, 2007, doi: m-14.896-2008.
- [16] M. P. Groover, "Fundamentos de la Manufactura Moderna," 2007.
- [17] D. Elizondo, "Aspectos físicos y factores que determinan la calidad superficial en el maquinado de composites de matriz polimerica reforzados con fibras," Tesis de Ingeniería, Universidad Autonoma de Nuevo Leon 2014. [En línea]. Disponible: <http://eprints.uanl.mx/4141/>
- [18] J. Daniel, T. Taborda, " Propiedades mecánicas de una matriz de poliéster reforzada con fibra de coco comparadas con la misma matriz reforzada con fibra de vidrio " Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia, 2014. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/4466>
- [19] L. Romero, "Transformación de materiales termoplásticos" Quito 209. IC Editorial, 2014. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/2yDvSoZ>
- [20] Mariano, "Tecnología de los Plásticos," Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y

- reciclado, 2011. <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/08/resina-epoxi.html>.
- [21] A. Besendnjak, “Los Materiales Compuestos,” Catalunya. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3apvKqw>
- [22] H. Guerrero, “Nuevos Materiales,” 1st ed., Imprefepp, Ed. 2011, pp. 47-48,103-105.
- [23] P. K. Mallick, Fiber-Reinforced Composites. CRC Press, 2007.
- [24] M. Héctor, V. Salazar, “Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzados con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación”, Tesis de Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional,” Quito. [En línea]. Disponible: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4036>
- [25] A. Miravete, J. Cuartero, Asociacion Española de Materiales Compuestos, Materiales Compuestos 03, no. v. 1., 2003.
- [26] J. Dávila, Nuevos Materiales: Aplicaciones Estructurales E Industriales, May 2014. [En línea].Disponible: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4532>
- [27] A. A. Mamun, H. P. Heim, O. Faruk, and A. K. Bledzki, The use of banana and abaca fibres as reinforcements in composites. 2014.
- [28] H. Nguyen, W. Zatar, and H. Mutsuyoshi, 4. Mechanical properties of hybrid polymer composite. Elsevier Ltd, 2017.
- [32] H. Gutiérrez and R. Salazar, Elementos de Inferencia Estadística: Experimentos con uno y dos tratamientos. 2012.
- [33] R. Mead, The Desing of Experiments. England, 1988.
- [34] Minitab Support, “¿Qué son los diseños de superficie de respuesta, los diseños centrales compuestos y los diseños de Box-Behnken?,” 2019. [En línea]. Disponible: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/modeling-statistics/doe/supporting-topics/response-surface-designs/response-surface-central-composite-and-box-behnken-designs/>.

- [35] G. González, B. Felpeto, Tratamiento de datos, 2006. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/2x0Ac1f>
- [36] D.C. Montgomery, Análisis y diseño de Experimentos. 2004.
- [37] G. Perez, La interpretación de datos. Una introducción a la Estadística Aplicada. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3eKdDw>
- [38] S. I. Rudnykh, “Uso de las Funciones de Deseabilidad para Obtener Diseños D -Óptimos Bayesianos Penalizados 2 . Diseños D -óptimos bayesianos penalizados para modelos no lineales,” pp. 1–5, 2018.
- [36] “ASTM D3039 / D3039M-00, "Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials",” ASTM Int., 2017, doi: 10.1520/D3039_D3039M-17.
- [37] “ASTM D7264 / D7264M-07, "Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials”,” ASTM Int., 2015, [Online]. Available: www.astm.org.
- [38] ASTM, “ASTM D5628-10, "Standard Test Method for Impact Resistance of Flat, Rigid Plastic Specimens by Means of a Falling Dart (Tup or Falling Mass)",” ASTM Int., 2010.

ANEXOS

ANEXO 1: Ficha técnica de la resina Epoxi.

ANEXO 2: Factura de adquisición del software estadístico Minitab.

ANEXO 3: Informe de ensayos. Escuela Politécnica del Ejército

ANEXO 4: Norma para ensayo de tracción ASTM D3039

ANEXO 5: Norma para ensayo de tracción ASTM D7264

ANEXO 6: Norma para ensayo de tracción ASTM D5628

ANEXO 1



★ ★ ★

NEW HARDENER

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts

★

DESCRIPTION

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

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

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

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

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

PRODUCT SPECIFICATIONS

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

HANDLING and CURING

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

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

PR2032 Laminating Resin For Composite Parts, Page 2

TYPICAL MECHANICAL PROPERTIES



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

ANEXO 2

Numero del pedido: 100689378542	Nombre: César Cunalata
Fecha del pedido: 2020-08-14 14:14	Correo electrónico: iory86863@gmail.com
Hora del verano del este	Tarjeta de credito: Visa ***** 9922
	Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en su estado de su cuenta

Dirección de facturación

César Cunalata
Yuqui y Base Sur
Cotopaxi
Latacunga 050106
Ecuador

Ítems (Todos los precios están en Dolares estadounidenses)

Vea los detalles para recuperar los artículos de su pedido.	Cantidad	Precio unitario	Importe
1. Minitab 19 for windows (Multilenguaje) (06-Month Rental)	1	\$29.99	\$29.99
2. Extended Access Guarantee (24 months)	1	\$5.95	\$5.95
		Subtotal:	\$35.94
		Impuestos :	..
		Total:	\$35.94

ANEXO 3



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS O TRABAJO

DATOS INFORMATIVOS DEL SOLICITANTE

Fecha:	02/01/2020	Ciudad:	Sangolquí
Lugar:	Laboratorio de mecánica de materiales		
Máquinas o equipos a utilizar:	Máquina de ensayos universales INSTRON		
	Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002		
Solicitado por:	Cesar Marcelo Cunalata Caiza	Telefono:	0998785066
Correo electrónico:	ior786863@gmail.com	Dirección:	Latacunga
Designación del material	Material híbrido (Resina epoxi reforzado con fibras de abacá y fibra de vidrio)		

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de ensayo:	Tracción	Numero de probetas:	75
Norma:	ASTM D 3039/D 3039 M-17 Método de prueba estándar para propiedades de tracción de los materiales compuestos de matriz polimérica		
Tipo de ensayo:	Flexión	Numero de probetas:	75
Norma:	ASTM D 7264/D 7264 M-15 Método de prueba estándar para propiedades de flexión de los materiales compuestos de matriz polimérica		

RECEPCIÓN Y CODIFICACIÓN DE PROBETAS

Grupo	Características	Probetas a tracción	Probetas a flexión	Total
1	Orientación: 0°, T.Curado: 50 °C, Fab+Fab+Fab	5	5	10
2	Orientación: 45°, T.Curado: 20 °C, Fab+Fab+Fab	5	5	10
3	Orientación: 45°, T.Curado: 80 °C, Fab+Fab+Fab	5	5	10
4	Orientación: 90°, T.Curado: 50 °C, Fab+Fab+Fab	5	5	10
5	Orientación: 0°, T.Curado: 20 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
6	Orientación: 0°, T.Curado: 80 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
7	Orientación: 45°, T.Curado: 50 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
8	Orientación: 45°, T.Curado: 50 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
9	Orientación: 45°, T.Curado: 50 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
10	Orientación: 90°, T.Curado: 20 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
11	Orientación: 90°, T.Curado: 80 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
12	Orientación: 0°, T.Curado: 50 °C, Fv+Fab+Fab	5	5	10
13	Orientación: 45°, T.Curado: 80 °C, Fv+Fv+Fab	5	5	10
14	Orientación: 45°, T.Curado: 20 °C, Fv+Fv+Fab	5	5	10
15	Orientación: 90°, T.Curado: 50 °C, Fv+Fv+Fab	5	5	10
Las características de las muestras son declaradas por el cliente		Total		150

El solicitante entregó las muestras que van a ser sometidas a tracción con las siguientes dimensiones 250mm*25mm*e y con sobremontas de lija de 58 mm de longitud por el ancho de la probeta, mientras que las muestras sometidas a flexión poseen las siguientes dimensiones 160mm*13*e, ambos tipos de muestras codificadas, como lo indica el apartado de recepción y codificación de muestras.





Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavas7@yahoo.com
Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador



Metodología:

- ✓ Se procedió a realizar el ensayo en las muestras tal cual fueron entregadas por el cliente, sin que se haya sometido a ningún proceso preparativo o de limpieza
- ✓ Se siguió el procedimiento estipulado en las normas ASTM D 3039/D 3039 M-17 y ASTM D 7264/D 7264 M-15, para ensayos de tracción y flexión de materiales poliméricos respectivamente, con las siguientes condiciones
- ✓ Se realizó evaluación visual de las muestras para evaluar el tipo fallo según lo estipulado en las normas

Tracción

- Velocidad de ensayo: 10mm/min
- Longitud calibrada: 137 mm
- Humedad relativa: 55±5 %
- Temperatura: 20±5 °C
- Precarga: 0.01 N

Flexión

- Velocidad de ensayo: 10mm/min
- Distancia entre apoyos: 80 mm
- Humedad relativa: 55±5 %
- Temperatura: 20±5 °C
- Precarga: 0.314 N

Equipos:

- ✓ Máquina de Ensayos Universales INSTRON



Fotografía No. 1: Máquina de ensayos universales INSTRON





Escuela Politécnica del Ejercito-ESPE
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com
Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador



Fotografía No. 2: Probeta antes de ser ensayada

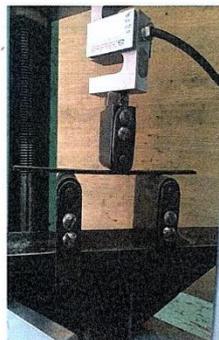


Fotografía No. 3: Probeta ensayada a tracción

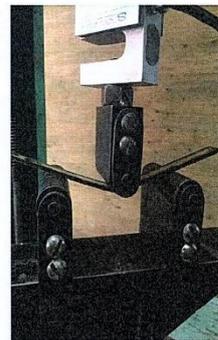
✓ Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002



Fotografía No. 4: Máquina de ensayos universales MTS TK/T5002



Fotografía No. 5: Probeta antes de ser ensayada



Fotografía No. 6: Probeta ensayada a flexión



Resultados:

Tracción

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
1A	24,5	3,0	139,80	11.353,1	154,46	2,04	9828.67
1B	24,5	3,0	139,58	11.080,7	150,76	1,88	10084.66
1C	24,5	3,0	140,01	12.220,8	166,27	2,19	10122.42
1D	24,5	3,0	139,41	10.278,9	139,85	1,76	10318.12
1E	24,5	3,0	139,82	11.204,4	152,44	2,05	10223.86
Promedio			139,72	11.227,6	152,76	1,98	10115,55

Fotografía	Tipo de falla
	1A: LGM
	1B: LGM
	1C: LGM
	1D: LGM
	1E: LGM

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
2A	24,9	3,0	138,97	834,5	11,17	1,436	1496.49
2B	24,9	3,0	140,11	856,8	11,47	2,271	1347.59
2C	24,9	3,0	139,66	841,3	11,26	1,943	1430.44
2D	24,9	3,0	138,75	783,0	10,48	1,275	1499.22
2E	24,9	3,0	140,08	877,9	11,75	2,247	1166.09
Promedio			139,51	838,7	11,22	1,83	1387.97

Fotografía	Tipo de falla
	2A: AGM (1)
	2B: AGM (1)
	2C: AGM (1)
	2D: AGM (1)
	2E: AGM (1)



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
3A	24,85	2,70	138,81	1.184,4	17,65	1,32	1889.10
3B	24,85	2,70	138,98	1.177,5	17,55	1,44	1893.39
3C	24,85	2,70	139,13	1.158,9	17,27	1,55	2023.20
3D	24,85	2,70	138,70	1.084,5	16,16	1,23	1702.90
3E	24,85	2,70	138,65	1.044,0	15,56	1,20	1930.22
Promedio			138,85	1.129,9	16,84	1,35	1887,76
Fotografía							Tipo de falla
							3A: AGM (1)
							3B: AGM (1)
							3C: AGM (1)
							3D: AGM (1)
							3E: AGM (1)

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
4A	24,40	2,60	140,06	3.764,6	59,34	2,24	3736.81
4B	24,40	2,60	139,67	3.472,7	54,74	1,95	4048.21
4C	24,40	2,60	139,85	3.531,6	55,67	2,08	4293.21
4D	24,40	2,60	139,76	3.494,9	55,09	2,01	4036.91
4E	24,40	2,60	139,50	3.447,8	54,35	1,82	5058.91
Promedio			139,77	3.542,3	55,84	2,02	4234,78
Fotografía							Tipo de falla
							4A: AGM (1)
							4B: AGM (1)
							4C: AGM (1)
							4D: AGM (1)
							4E: AGM (1)



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com

Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
5A	24,60	2,40	139,60	7.822,46	132,49	1,89	10717.67
5B	24,60	2,40	139,58	7.429,21	125,83	1,88	9783.63
5C	24,60	2,40	139,47	7.514,87	127,28	1,80	9851.66
5D	24,60	2,40	139,57	7.743,97	131,16	1,87	10136.29
5E	24,60	2,40	139,77	9.398,33	159,19	2,01	11987.73
Promedio			139,60	7.981,77	135,19	1,89	10495,40

Fotografía	Tipo de falla
	5A: LGM
	5B: LGM
	5C: LGM
	5D: LGM
	5E: LGM

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
6A	25,30	2,40	139,36	7698,3	126,78	1,72	11259.82
6B	25,30	2,40	139,17	6574,6	108,28	1,58	10684.64
6C	25,30	2,40	139,45	7133,8	117,49	1,78	10369.97
6D	25,30	2,40	139,45	7614,1	125,40	1,79	10491.04
6E	25,30	2,40	139,52	7936,4	130,71	1,84	10591.04
Promedio			139,39	7.391,4	121,73	1,75	10679,30

Fotografía	Tipo de falla
	6A: LGM
	6B: LGM
	6C: LGM
	6D: LGM
	6E: LGM



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jnavas@espe.edu.ec /
jnavas7@yahoo.com

Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
7A	24,70	2,50	140,28	3.484,8	56,43	2,39	4458.53
7B	24,70	2,50	140,07	3.700,9	59,93	2,24	4508.32
7C	24,70	2,50	140,03	3.382,7	54,78	2,21	4806.57
7D	24,70	2,50	139,72	3.258,8	52,77	1,98	4548.38
7E	24,70	2,50	140,11	3.587,7	58,10	2,27	4719.18
Promedio			140,04	3.483.0	56,40	2,22	4608,20
Fotografía							Tipo de falla
							7A: LGM
							7B: LGM
							7C: AGM (1)
							7D: LGM
							7E: AGM (1)

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
8A	24,50	2,20	140,43	3.408,93	63,25	2,50	4484.95
8B	24,50	2,20	139,75	2.558,09	47,46	2,01	3899.76
8C	24,50	2,20	139,65	3.191,92	59,22	1,93	4789.66
8D	24,50	2,20	140,06	3.671,42	68,12	2,24	5036.13
8E	24,50	2,20	139,93	2.809,22	52,12	2,14	4233.61
Promedio			139,96	3.127,91	58,03	2,16	4488,82
Fotografía							Tipo de falla
							8A: AGM (1)
							8A: AGM (1)
							8A: AGM (1)
							8A: AGM (1)
							8A: AGM (1)



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
9A	24,80	2,20	139,41	2560,96	46,94	2,50	4958,07
9B	24,80	2,20	139,89	2901,72	53,18	2,01	4321,68
9C	24,80	2,20	139,98	3191,50	58,50	1,93	4467,57
9D	24,80	2,20	139,81	3338,55	61,19	2,24	5224,53
9E	24,80	2,20	139,83	2926,25	53,63	2,14	4196,22
Promedio			139,78	2983,80	54,69	2,03	4633,61
Fotografía							Tipo de falla
							9A: LGM
							9B: LGM
							9C: LAT
							9D: AGM (1)
							9E: AGM (1)

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
10A	23,70	2,50	140,06	2.642,80	44,60	2,24	3573,40
10B	23,70	2,50	140,18	2.580,59	43,55	2,32	3236,50
10C	23,70	2,50	139,96	2.855,48	48,19	2,16	3729,48
10D	23,70	2,50	140,00	2.476,39	41,80	2,19	3442,33
10E	23,70	2,50	139,83	2.478,33	41,83	2,07	3556,38
Promedio			140,00	2.606,72	44,00	2,19	3507,61
Fotografía							Tipo de falla
							10A: LGM
							10B: LGM
							10C: LGM
							10D: LGM
							10E: LGM



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jfnavasf7@yahoo.com

Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
11A	24,60	2,80	140,06	2.791,79	40,53	2,42	2807.12
11B	24,60	2,80	140,18	3.096,50	44,95	2,43	2778.61
11C	24,60	2,80	139,96	2.826,51	41,04	2,43	2644.39
11D	24,60	2,80	140,00	2.797,76	40,62	2,26	2452.32
11E	24,60	2,80	139,83	2.698,33	39,17	2,38	2253.54
Promedio			140,00	2.842,18	41,26	2,38	2587,20
Fotografía							Tipo de falla
							11A: LGM
							11B: LGM
							11C: LGM
							11D: LGM
							11E: LGM

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
12A	24,50	2,02	139,56	6.690,57	135,19	1,87	9350.77
12B	24,50	2,02	139,81	6.728,94	135,97	2,05	8481.22
12C	24,50	2,02	140,30	7.811,58	157,84	2,41	8659.79
12D	24,50	2,02	139,65	6.683,49	135,05	1,	9299.63
12E	24,50	2,02	139,37	5.689,16	114,96	1,73	8661.33
Promedio			139,74	6.720,75	135,80	2,00	8890.54
Fotografía							Tipo de falla
							12A: LGM
							12B: LGM
							12C: LGM
							12D: LGM
							12E: LGM



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com

Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
13A	24,50	2,02	140,06	4.564,80	84,69	2,24	5676.96
13B	24,50	2,02	139,79	4.049,90	75,14	2,03	5800.97
13C	24,50	2,02	139,80	4.096,95	76,01	2,04	5591.10
13D	24,50	2,02	140,34	4.659,77	86,45	2,44	5671.18
13E	24,50	2,02	139,86	4.351,06	80,72	2,09	6247.41
Promedio			139,97	4.344,50	80,60	2,17	5797.52
Fotografía							Tipo de falla
							13A: LGM
							13B: LGM
							13C: LGM
							13D: LGM
							13E: LGM

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
14A	24,50	2,40	140,20	4.664,62	79,33	2,332	5776.68
14B	24,50	2,40	140,73	5.654,43	96,16	2,720	6293.34
14C	24,50	2,40	139,59	4.101,68	69,76	1,889	6022.12
14D	24,50	2,40	140,10	4.856,01	82,59	2,260	6130.30
14E	24,50	2,40	140,15	4.545,91	77,31	2,299	5986.93
Promedio			140,15	4.764,53	81,03	2,30	6041.87
Fotografía							Tipo de falla
							14A: LGM
							14B: AGM (1)
							14C: LGM
							14D: LGM
							14E: LGM

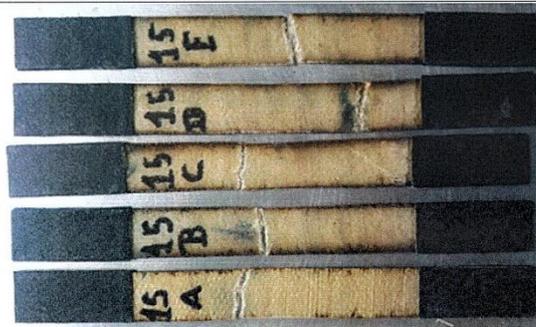




Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	L. final (mm)	Carga última (N)	Esfuerzo máx. de tracción (Mpa)	Elongación (%)	Módulo de elasticidad (Mpa)
15A	24,90	2,60	140,12	4.047,46	62,52	2,27	4107.25
15B	24,90	2,60	139,74	3.704,48	57,22	2,00	4511.11
15C	24,90	2,60	139,79	3.798,52	58,67	2,04	4052.67
15D	24,90	2,60	139,96	3.992,34	61,67	2,16	4437.50
15E	24,90	2,60	140,06	3.671,55	56,71	2,23	3904.58
Promedio			140,15	3.842,87	59,36	2,14	4202.62

Fotografía



Tipo de falla

- 15A: LGM
- 15B: LGM
- 15C: LGM
- 15D: LGM
- 15E: LGM

Flexión

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
1A	12,80	3,00	99,90	10,08	104,06	7785.58	0,028
1B	12,80	3,00	104,30	13,26	108,65	7585.05	0,037
1C	12,80	3,00	106,80	11,67	111,25	8550.60	0,033
1D	12,80	3,00	102,40	11,24	106,67	7517.16	0,032
1E	12,80	3,00	93,30	11,35	97,19	6527.10	0,032
Promedio			101,34	11,52	105,56	7593.10	0,032

Fotografía



Tipo de falla

- 1A: OAU
- 1B: OAU
- 1C: OAU
- 1D: OAU
- 1E: OAU



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavas7@yahoo.com

Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
2A	13,00	3,00	19,16	14,20	19,65	1078.14	0,040
2B	13,00	3,00	23,25	12,06	23,84	895.06	0,034
2C	13,00	3,00	20,11	18,55	20,62	541.84	0,052
2D	13,00	3,00	20,73	12,33	21,27	865.75	0,035
2E	13,00	3,00	22,62	14,48	23,20	1035.50	0,041
Promedio			21,17	14,32	21,72	883.26	0,040

Fotografía	Tipo de falla
	2A: OAU
	2B: OAU
	2C: OAU
	2D: OAU
	2E: OAU

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
3A	12,90	3,00	17,59	17,27	22,45	241,76	0,044
3B	12,90	3,00	21,68	15,73	27,66	463,75	0,040
3C	12,90	3,00	21,68	17,84	27,66	584,59	0,045
3D	12,90	3,00	16,95	14,76	21,63	362,64	0,037
3E	12,90	3,00	23,25	19,15	29,66	397,22	0,048
Promedio			20,23	16,95	25,85	409,99	0,043

Fotografía	Tipo de falla
	3A: OAU
	3B: OAU
	3C: OAU
	3D: OAU
	3E: OAU

B



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec / jnavasf7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
4A	12,70	2,90	27,02	15,83	30,35	686,90	0,043
4B	12,70	2,90	25,45	17,71	28,59	424,98	0,048
4C	12,70	2,90	28,59	16,94	32,12	865,46	0,046
4D	12,70	2,90	27,22	16,27	30,58	749,74	0,044
4E	12,70	2,90	31,10	15,28	34,94	826,94	0,042
Promedio			27,87	16,40	31,32	710,80	0,045
Fotografía							Tipo de falla
							4A: OAU
							4B: OAU
							4C: OAU
							4D: OAU
							4E: OAU

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
5A	12,40	3,00	113,40	7,39	121,94	2980,93	0,021
5B	12,40	3,00	114,70	8,46	123,33	2567,70	0,024
5C	12,40	3,00	95,82	7,23	103,03	4029,65	0,020
5D	12,40	3,00	89,53	7,30	96,27	4656,30	0,021
5E	12,40	3,00	77,28	7,35	83,10	4306,96	0,021
Promedio			98,15	7,55	105,53	3708,31	0,021
Fotografía							Tipo de falla
							5A: OAT
							5B: OAT
							5C: OAT
							5D: OAT
							5E: OAT



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
6A	12,90	2,60	91,42	9,80	125,80	4040,51	0,024
6B	12,90	2,60	89,53	10,82	123,20	2779,67	0,026
6C	12,90	2,60	79,48	9,22	109,37	2195,82	0,022
6D	12,90	2,60	91,73	10,16	126,23	2595,27	0,025
6E	12,90	2,60	104,90	10,48	144,35	2695,85	0,026
Promedio			91,41	10,09	125,79	2861,42	0,025

Fotografía	Tipo de falla
	6A: OAT
	6B: OAT
	6C: OAT
	6D: OAT
	6E: OAT

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
7A	12,90	2,50	29,84	15,45	44,42	1265,56	0,036
7B	12,90	2,50	31,42	17,39	46,76	1807,30	0,041
7C	12,90	2,50	29,53	17,78	43,95	1936,63	0,042
7D	12,90	2,50	26,07	15,54	38,81	1248,10	0,036
7E	12,90	2,50	27,65	18,89	41,15	1466,85	0,044
Promedio			28,90	17,01	43,02	1544,89	0,040

Fotografía	Tipo de falla
	7A: OAU
	7B: OAU
	7C: OAU
	7D: OAU
	7E: OAU





Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com

Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
8A	12,70	2,50	26,70	16,61	40,37	1160,45	0,039
8B	12,70	2,50	32,67	14,69	49,39	1688,53	0,034
8C	12,70	2,50	29,88	15,05	45,18	1487,14	0,035
8D	12,70	2,50	32,67	17,67	49,39	1489,88	0,041
8E	12,70	2,50	31,73	19,57	47,97	1637,36	0,046
Promedio			30,73	16,72	46,46	1492,67	0,039

Fotografía	Tipo de falla
	8A: OAU
	8B: OAU
	8C: OAU
	8D: OAU
	8E: OAU

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
9A	13,00	2,20	20,42	17,74	38,94	1069,31	0,037
9B	13,00	2,20	23,31	15,13	44,45	1323,04	0,031
9C	13,00	2,20	24,19	17,50	46,13	1420,04	0,036
9D	13,00	2,20	25,13	17,39	47,93	2792,78	0,036
9E	13,00	2,20	29,22	15,51	55,72	2495,25	0,032
Promedio			24,45	16,65	46,64	1820,08	0,034

Fotografía	Tipo de falla
	9A: OAT
	9B: OAT
	9C: OAT
	9D: OAT
	9E: OAT



Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com

Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
10A	12,40	2,50	14,42	13,49	22,33	401,63	0,032
10B	12,40	2,50	14,14	14,95	21,89	466,16	0,035
10C	12,40	2,50	12,88	16,02	19,94	432,63	0,038
10D	12,40	2,50	16,41	15,08	25,41	458,94	0,035
10E	12,40	2,50	13,19	17,03	20,43	706,39	0,040
Promedio			14,21	15,31	22,00	493,15	0,036
Fotografía							Tipo de falla
							10A: OAU
							10B: OAU
							10C: OAU
							10D: OAU
							10E: OAU

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
11A	12,70	2,70	18,85	13,16	24,43	424,29	0,033
11B	12,70	2,70	27,02	17,87	35,02	799,64	0,045
11C	12,70	2,70	25,76	15,32	33,39	708,09	0,039
11D	12,70	2,70	24,82	12,81	32,17	727,65	0,032
11E	12,70	2,70	22,93	16,62	29,72	641,73	0,042
Promedio			23,88	15,16	30,95	660,28	0,038
Fotografía							Tipo de falla
							11A: OAT
							11B: OAT
							11C: OAT
							11D: OAT
							11E: OAT





Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavas7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
12A	12,90	2,50	110,00	13,75	163,72	2619,36	0,032
12B	12,90	2,50	94,56	10,88	140,74	1369,62	0,026
12C	12,90	2,50	67,86	9,40	100,99	1936,62	0,022
12D	12,90	2,50	85,13	10,95	126,71	2649,13	0,026
12E	12,90	2,50	49,01	7,98	72,94	1631,36	0,019
Promedio			81,31	10,59	121,02	2041,22	0,025
Fotografía							Tipo de falla
							12A: OAT
							12B: OAT
							12C: OAT
							12D: OAT
							12E: OAT

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
13A	13,00	2,20	61,89	13,50	118,03	2320,80	0,028
13B	13,00	2,20	65,66	10,78	125,22	2820,47	0,022
13C	13,00	2,20	59,69	13,36	113,84	2471,58	0,028
13D	13,00	2,20	47,75	10,53	91,07	4907,65	0,022
13E	13,00	2,20	62,20	10,70	118,63	4888,84	0,022
Promedio			11,77	80,00	113,36	3481,87	0,024
Fotografía							Tipo de falla
							13A: OAT
							13B: OAT
							13C: OAT
							13D: OAT
							13E: OAT





Escuela Politécnica del Ejército-ESPE
 Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
 Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavasf7@yahoo.com
 Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
14A	12,70	2,90	49,32	12,72	55,41	1613,77	0,035
14B	12,70	2,90	53,41	14,66	60,00	749,01	0,040
14C	12,70	2,90	55,92	12,04	62,83	1312,89	0,033
14D	12,70	2,90	49,95	10,39	56,12	1283,79	0,028
14E	12,70	2,90	51,21	12,42	57,53	772,87	0,034
Promedio			51,96	12,45	58,38	1146,47	0,034
Fotografía							Tipo de falla
							14A: OAT
							14B: OAT
							14C: OAT
							14D: OAT
							14E: OAT

Ident.	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máx. de flexión (Mpa)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Deformación (mm/mm)
15A	12,90	2,20	59,06	8,63	113,51	5554,35	0,018
15B	12,90	2,20	49,96	10,88	96,02	4175,66	0,022
15C	12,90	2,20	45,87	7,69	88,15	1351,76	0,016
15D	12,90	2,20	57,49	9,74	110,49	2545,29	0,020
15E	12,90	2,20	67,86	9,24	130,42	1785,12	0,019
Promedio			56,05	9,23	107,72	3082,44	0,019
Fotografía							Tipo de falla
							15A: OAT
							15B: OAT
							15C: OAT
							15D: OAT
							15E: OAT





ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Escuela Politécnica del Ejercito-ESPE
Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica
Laboratorio de Mecánica de Materiales. E-mail: jfnavas@espe.edu.ec /
jnavas7@yahoo.com
Sangolquí (Campus Matriz) – Ecuador



El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo antes realizado por el solicitante antes de la entrega de las probetas, pero sí de las muestras de las probetas entregadas en las condiciones que se mencionan en el apartado de recepción y codificación de probetas

Los resultados que constan en el presente informe conciernen a las muestras entregadas al laboratorio, la reproducción total o parcial de este informe se hará previo a autorización

Dentro del reporte de resultados que se entregan al solicitante constan gráficas y coordenadas de cada ensayo en archivo digital ya que son de interés del solicitante



Ing. Francisco Navas
TÉCNICO LABORATORISTA DEL LMM

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE

ANEXO 4



Designation: D 3039/D 3039M – 00^{e1}

Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 3039/D 3039M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

^{e1} NOTE—Eq 5 was revised editorially in December 2002.

1. Scope

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 792 Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement²
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 2584 Test Method for Ignition Loss of Cured Reinforced Resins³
- D 2734 Test Method for Void Content of Reinforced Plastics³
- D 3171 Test Methods for Constituent Content of Composites Materials³
- D 3878 Terminology for Composite Materials⁴
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption

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 April 10, 2000. Published July 2000. Originally published as D 3039 – 71T. Last previous edition D 3039 – 95a.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 15.03.

Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials⁴

- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵
- E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵
- E 111 Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus⁵
- E 122 Practice for Choice of Sample Size to Estimate a Measure of Quality for a Lot or Process⁶
- E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature⁵
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁶
- E 251 Test Methods for Performance Characteristics of Metallic Bonded Resistance Strain Gages⁵
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics⁶
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶
- E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵
- E 1237 Guide for Installing Bonded Resistance Strain Gages⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology D 883 defines terms relating to plastics. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other standards.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

NOTE—If the term represents a physical quantity, its analytical dimensions are stated immediately following the term (or letter symbol) in fundamental dimension form, using the following ASTM standard symbology for fundamental

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

dimensions, shown within square brackets: [M] for mass, [L] for length, [T] for time, [Θ] for thermodynamic temperature, and [nd] for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *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.

3.2.2 *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.

3.2.3 *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.

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

3.3 *Symbols:*

3.3.1 *A*—minimum cross-sectional area of a coupon.

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

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

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

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

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

3.3.7 *F^{su}*—ultimate shear strength in the test direction.

3.3.8 *h*—coupon thickness.

3.3.9 *L_g*—extensometer gage length.

3.3.10 *L_{min}*—minimum required bonded tab length.

3.3.11 *n*—number of coupons per sample population.

3.3.12 *P*—load carried by test coupon.

3.3.13 *P^f*—load carried by test coupon at failure.

3.3.14 *P^{max}*—maximum load carried by test coupon before failure.

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

3.3.16 *w*—coupon width.

3.3.17 *x_i*—test result for an individual coupon from the sample population for a given property.

3.3.18 *x̄*—mean or average (estimate of mean) of a sample population for a given property.

3.3.19 *δ*—extensional displacement.

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

3.3.21 *ε*—indicated normal strain from strain transducer or extensometer.

3.3.22 *σ*—normal stress.

3.3.23 *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 load. The ultimate strength of the material can be determined from the maximum load 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*—A micrometer with a 4- to 5-mm [0.16- to 0.20-in] nominal diameter double-ball interface shall be

used to measure the thickness of the specimen. A micrometer 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 width and thickness. For typical specimen geometries, an instrument with an accuracy of $\pm 2.5 \mu\text{m}$ [$\pm 0.0001 \text{ in.}$] is adequate for thickness measurement, while an instrument with an accuracy of $\pm 25 \mu\text{m}$ [$\pm 0.001 \text{ in.}$] is adequate for width measurement.

7.2 Testing Machine—The testing machine shall be in conformance with Practices E 4 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 Load Indicator—The testing machine load-sensing device shall be capable of indicating the total load 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 load with an accuracy over the load range(s) of interest of within $\pm 1 \%$ of the indicated value. The load range(s) of interest may be fairly low for modulus evaluation, much higher for strength evaluation, or both, as required.

NOTE 1—Obtaining precision load data over a large range of interest in the same test, such as when both elastic modulus and ultimate load 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 load 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 E 1012 describes bending evaluation guidelines and describes potential sources of misalignment during tensile testing. In addition to Practice E 1012, 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 1-3 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 and the total percent bending, B_{total} . 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 in the location near the grip. Concern over modulus data scatter would be reason to evaluate bending strains over the modulus evaluation load 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

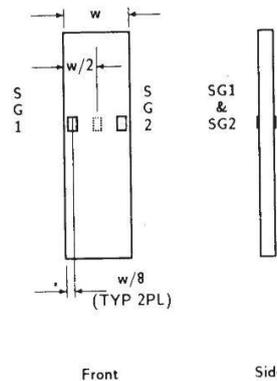


FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon

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.

$$B_y = \frac{\epsilon_{ave} - \epsilon_3}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (1)$$

$$B_z = \frac{4/3 (\epsilon_2 - \epsilon_1)}{\epsilon_{ave}} \times 100 \quad (2)$$

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} = $(|\epsilon_1 + |\epsilon_2|)/2 + |\epsilon_3|/2$.

The total bending component is:

$$B_{total} = |B_y| + |B_z| \quad (3)$$

7.3 Strain-Indicating Device—Load-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.].⁷ Gage calibration certification shall comply with Test Methods E 251. 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.⁸

7.3.1.1 Surface preparation of fiber-reinforced composites in accordance with Practice E 1237 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.

⁷ 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.

⁸ 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.

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 11.

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 E 83, Class B-1 requirements for the strain range of interest and shall be calibrated over that strain range in accordance with Practice E 83. 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 3—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 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 E 122 should be consulted. Report the method of sampling.

NOTE 4—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 <i>General Requirements</i>	Mandatory Shape and Tolerances
8.2.2 <i>Specific Recommendations</i>	Nonmandatory Suggested Dimensions
8.2.3 <i>Detailed Examples</i>	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 load 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	±1 % of width
specimen thickness	as needed
specimen thickness tolerance	±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	±1 % tab thickness
tabs	
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 (see 11.10).

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.

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 load 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

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, ^a
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.

must be able to withstand significant compressive loads. Some types of emery cloth have been found ineffective in this application because of disintegration of the abrasive.⁹

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 loading direction to provide a soft interface. Other configurations that have reportedly been successfully used have incorporated steel tabs or tabs made of the same material as is being tested.

8.2.2.6 *Bonded Tab Length*—When using bonded tabs, estimate the minimum suggested tab length for bonded tabs by the following simple equation. As this equation does not account for the peaking stresses that are known to exist at the ends of bonded joints. The tab length calculated by this equation should normally be increased by some factor to reduce the chances of joint failure:

$$L_{\min} = F^{su}h/2F^{tu} \quad (4)$$

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 insufficient 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 from them 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 *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 *Standard Conditioning Procedure*—Unless a different environment is specified as part of the experiment, condition the test specimens in accordance with Procedure C of Test Method D 5229/D 5229M and store and test at standard laboratory atmosphere (23 ± 3°C [73 ± 5°F] and 50 ± 10 % relative humidity).

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 5—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.

⁹ E-Z Flex Metalite K224 cloth, Grit 120-J, available from Norton Company, Troy, NY 12181, has been found satisfactory in this application. Other equivalent types of emery cloth should also be suitable.

D 3039/D 3039M – 00¹

- 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
+9 | ± 1 | ± 2
 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.

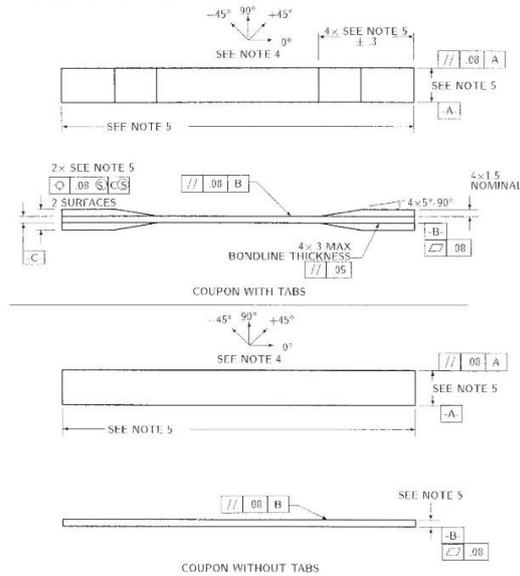


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

11.2.2 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 D 792. Volume percent of the constituents may be evaluated by one of the matrix digestion procedures of Test Method D 3171, or, for certain reinforcement materials such as glass and ceramics, by the matrix burn-off technique of Test Method D 2584. The void content equations of Test Methods D 2734 are applicable to both Test Method D 2584 and the matrix digestion procedures.

11.2.3 Following final specimen machining and any conditioning, but before the tension testing, determine the specimen area as $A = w \times h$, at three places in the gage section, and report the area as the average of these three determinations to the accuracy in 7.1. Record the average area in units of mm^2 (in^2).

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 load application to maintain a nearly constant strain rate, as mea-

sured 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 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 6—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

D 3039/D 3039M – 00^{e1}

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 $\pm 5^\circ$.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [A] WITHIN $\pm 5^\circ$.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $64\sqrt{\text{ }}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICRONS.)
5. 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.
6. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

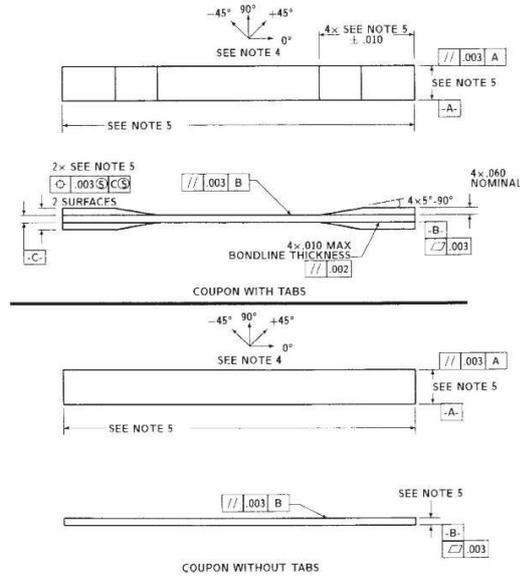


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (inch-pound)

elevated temperature testing of a moist specimen place unrealistic 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.

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 7—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 medium grade (80 to 150 grit) emery cloth 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 5, 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

TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	
$\mu\epsilon^A$	$\mu\epsilon$	$\mu\epsilon$
1000 ^B	3000	2000

^A 1000 $\mu\epsilon = 0.001$ absolute strain.
^B This strain range is to be contained in the lower half of the stress/strain curve. For materials that fail below 6000 $\mu\epsilon$, a strain range of 25 to 50 % of ultimate is recommended.

percent bending is no more than 3 %. When bending is greater than 3 % averaged strains from back-to-back transducers of like kind are recommended.

$$B_y = \frac{|\epsilon_f - \epsilon_b|}{|\epsilon_f + \epsilon_b|} \quad (5)$$

where:

- ϵ_f = indicated strain from front transducer, $\mu\epsilon$;
- ϵ_b = indicated strain from back transducer, $\mu\epsilon$; and
- B_y = percent bending in specimen.

11.7 *Loading*—Apply the load to the specimen at the specified rate until failure, while recording data.

11.8 *Data Recording*—Record load versus strain (or transducer displacement) continuously or at frequent regular intervals. If a transition region or initial ply failures are noted, record the load, strain, and mode of damage at such points. If the specimen is to be failed, record the maximum load, the failure load, and the strain (or transducer displacement) at, or as near as possible to, the moment of rupture.

NOTE 8—Other valuable data that can be useful in understanding testing anomalies and gripping or specimen slipping problems includes load versus head displacement data and load 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.

11.10 *Grip/Tab Failures*—Reexamine the means of load 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.

12. Calculation

12.1 *Tensile Stress/Tensile Strength*—Calculate the ultimate tensile strength using Eq 6 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 7.

$$F^{tu} = P^{max}/A \quad (6)$$

$$\sigma_i = P_i/A \quad (7)$$

where:

- F^{tu} = ultimate tensile strength, MPa [psi];
- P^{max} = maximum load before failure, N [lbf];
- σ_i = tensile stress at i th data point, MPa [psi];
- P_i = load at i th data point, N [lbf]; and
- A = average cross-sectional area from 11.2.3, mm² [in.²].

12.2 *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 8 and report the results to three significant figures.

$$\epsilon_i = \delta_i/L_g \quad (8)$$

where:

- ϵ_i = tensile strain at i th data point, $\mu\epsilon$;
- δ_i = extensometer displacement at i th data point, mm [in.]; and
- L_g = extensometer gage length, mm [in.].

12.3 *Tensile Modulus of Elasticity*:

NOTE 9—To minimize potential effects of bending it is recommended 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.

12.3.1 *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 9. 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.

12.3.1.1 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.

$$E^{chord} = \Delta\sigma/\Delta\epsilon \quad (9)$$

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
- $\Delta\epsilon$ = difference between the two strain points of Table 3 (nominally 0.002).

12.3.2 *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,

ASTM D 3039/D 3039M – 00e1

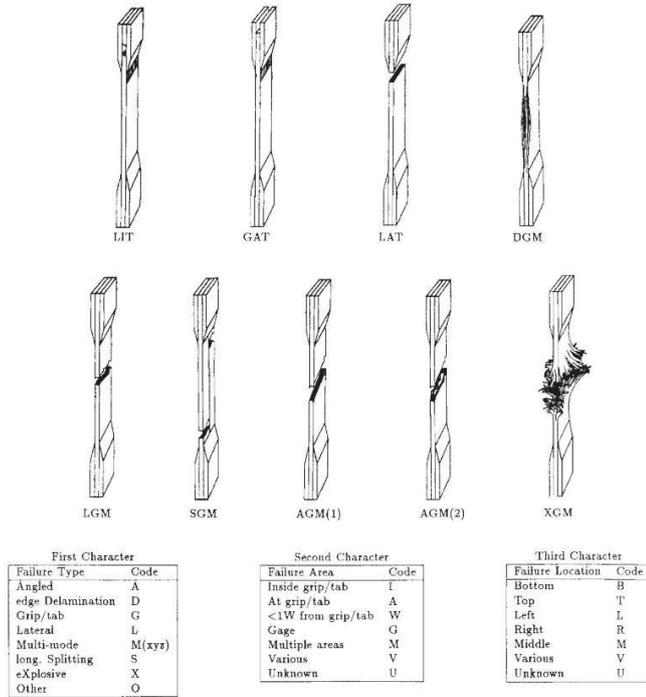


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

and the results to three significant figures. Test Method E 111 provides additional guidance in the determination of modulus of elasticity.

NOTE 10—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.

12.4 Poisson's Ratio:

NOTE 11—If bonded resistance strain gages are being used, the error 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.

12.4.1 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 load), ϵ_p , at each of the two longitudinal strains (measured parallel to the applied load), ϵ_b , strain range end points. If data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use

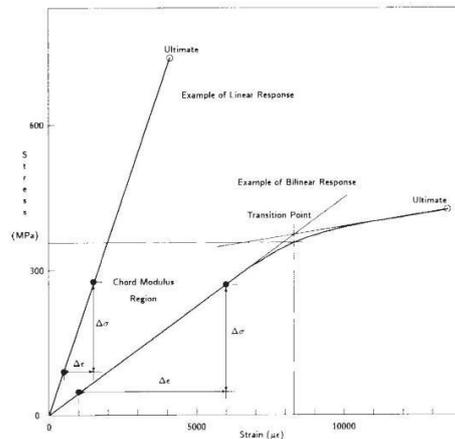


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

the closest available data point. Calculate Poisson's ratio by Eq 10 and report to three significant figures. Also report the strain range used.

$$\nu = -\Delta\epsilon_r/\Delta\epsilon_l \quad (10)$$

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_r$ = 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).

12.4.2 *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 E 132 provides additional guidance in the determination of Poisson's ratio.

12.5 *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 longitudinal 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.

12.6 *Statistics*—For each series of tests calculate the average value, standard deviation and coefficient of variation (in percent) for each property determined:

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i)/n \quad (11)$$

$$s_{n-1} = \sqrt{(\sum_{i=1}^n x_i^2 - nx^2)/(n-1)} \quad (12)$$

$$CV = 100 \times s_{n-1}/\bar{x} \quad (13)$$

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.

13. Report

13.1 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):

- 13.1.1 The revision level or date of issue of this test method.
- 13.1.2 The date(s) and location(s) of the test.
- 13.1.3 The name(s) of the test operator(s).

13.1.4 Any variations to this test method, anomalies noticed during testing, or equipment problems occurring during testing.

13.1.5 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.

13.1.6 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.

13.1.7 Ply orientation stacking sequence of the laminate.

13.1.8 If requested, report density, volume percent reinforcement, and void content test methods, specimen sampling method and geometries, test parameters, and test results.

13.1.9 Average ply thickness of the material.

13.1.10 Results of any nondestructive evaluation tests.

13.1.11 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.

13.1.12 Calibration dates and methods for all measurement and test equipment.

13.1.13 Type of test machine, grips, jaws, grip pressure, alignment results, and data acquisition sampling rate and equipment type.

13.1.14 Results of system alignment evaluations, if any such were done.

13.1.15 Dimensions of each test specimen.

13.1.16 Conditioning parameters and results, use of travelers and traveler geometry, and the procedure used if other than that specified in the test method.

13.1.17 Relative humidity and temperature of the testing laboratory.

13.1.18 Environment of the test machine environmental chamber (if used) and soak time at environment.

13.1.19 Number of specimens tested.

13.1.20 Speed of testing.

13.1.21 Transducer placement on the specimen and transducer type for each transducer used.

13.1.22 If strain gages were used, the type, resistance, size, gage factor, temperature compensation method, transverse sensitivity, lead-wire resistance, and any correction factors used.

13.1.23 Stress-strain curves and tabulated data of stress versus strain for each specimen.

13.1.24 Percent bending results for each specimen so evaluated.

13.1.25 Individual 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 before failure.

13.1.26 Individual strains at failure and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.27 Strain range used for chord modulus and Poisson's ratio determination.

13.1.28 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.

13.1.29 Individual values of modulus of elasticity, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.30 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.

13.1.31 Individual values of Poisson's ratio, and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.32 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.

13.1.33 Individual values of transition strain (if applicable), and the average value, standard deviation, and coefficient of variation (in percent) for the population.

13.1.34 Failure mode and location of failure for each specimen.

14. Precision and Bias

14.1 Precision:

14.1.1 The precision and bias of tension test strength and modulus measurements depend on strict adherence to the Test Method D 3039/D 3039M and are influenced by mechanical and material factors, specimen preparation, and measurement errors.

14.1.2 Mechanical factors that can affect the test results include: the physical characteristics of the testing machine (stiffness, damping, and mass), accuracy of loading and displacement/strain measurement, speed of loading, alignment of test specimen with applied load, parallelism of the grips, grip pressure, and type of load control (displacement, strain, or load).

14.1.3 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).

14.1.4 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 D 3039/D 3039M. 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.

14.1.5 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.

14.1.6 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.

14.1.7 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.¹⁰ Table 4 presents the precision statistics generated from this study as defined in Practice E 691 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 15 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

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	10.65	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	

14.1.8 The averages of the coefficients of variation are in Table 5. The values of S_r/\bar{X} and S_R/\bar{X} represent the repeatability and the reproducibility coefficients of variation, respectively. These averages permit a relative comparison of the repeatability (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.

¹⁰ International Harmonization of Composite Materials—Phase 1: Harmonization of ASTM D 3039/D 3039M and ISO 527-5, Final Report, ASTM Institute for Standards Research, April 1997.

TABLE 5 Averages of the Coefficients of Variation

Parameter	Average of S/X , %	Average of S_{rel}/X , %
Strength	5.11	6.00
Modulus	2.22	3.22
Failure strain	5.94	7.32

14.1.9 The consistency of agreement for repeated tests of the same material is dependent on lay-up configuration, mate-

rial and specimen preparation techniques, test conditions, and measurements of the tension test parameters.

14.2 *Bias*—Bias cannot be determined for this test method as no acceptable reference standard exists.

15. Keywords

15.1 composite materials; modulus of elasticity; Poisson's ratio; tensile properties; tensile strength

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).

ANEXO 5



Designation: D 7264/D 7264M – 07

Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 7264/D 7264M; 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 D 6272, 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 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.

1.4 *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 and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D 790 Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials
- D 2344/D 2344M Test Method for Short-Beam Strength of

Polymer Matrix Composite Materials and Their Laminates

- D 3878 Terminology for Composite Materials
- D 5229/D 5229M Test Method for Moisture Absorption Properties and Equilibrium Conditioning of Polymer Matrix Composite Materials
- D 5687/D 5687M Guide for Preparation of Flat Composite Panels with Processing Guidelines for Specimen Preparation
- D 6272 Test Method for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials by Four-Point Bending
- D 6856 Guide for Testing Fabric-Reinforced “Textile” Composite Materials
- E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines
- E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing
- E 18 Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials
- E 122 Practice for Calculating Sample Size to Estimate, With a Specified Tolerable Error, the Average for a Characteristic of a Lot or Process
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods
- E 456 Terminology Relating to Quality and Statistics
- E 1309 Guide for Identification of Fiber-Reinforced Polymer-Matrix Composite Materials in Databases
- E 1434 Guide for Recording Mechanical Test Data of Fiber-Reinforced Composite Materials in Databases

2.2 Other Documents:

- ANSI Y14.5-1999 Dimensioning and Tolerancing—Includes Inch and Metric³
- ANSI B46.1-1995 Surface Texture (Surface Roughness, Waviness and Lay)³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Terminology D 3878 defines the terms relating to high-modulus fibers and their composites. Terminology E 6 defines terms relating to mechanical testing. Terminology E 456 and Practice E 177 define terms relating to statistics. In the event of a conflict between terms, Terminology D 3878 shall have precedence over the other documents.

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 Laminated Test Methods.

Current edition approved April 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 2006. Last previous edition approved in 2006 as D 7264/D 7264M – 06.

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>.

3.2 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.2.1 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.

3.2.2 flexural modulus, n —the ratio of stress range to corresponding strain range for a test specimen loaded in flexure.

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).

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

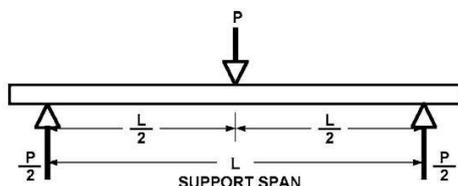


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

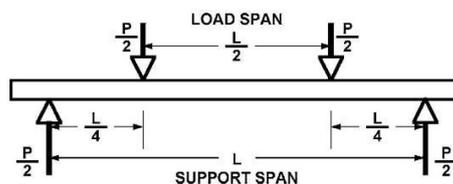


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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 D 2344/D 2344M.

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 D 790 (a plastics-focused method covering three-point flexure) and D 6272 (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 D 2344/D 2344M.

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 and/or testing environments, and rate of straining. When evaluating several datasets these parameters should 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 $\pm 45^\circ$ direction. The deviations from beam theory decrease with decreasing width.

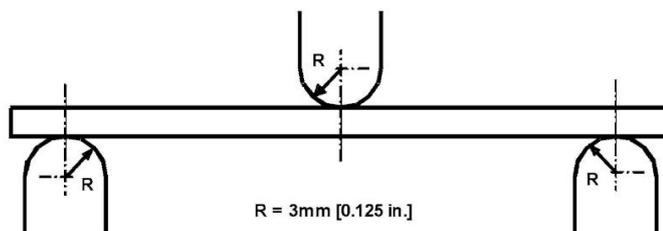
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces 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 should also 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.

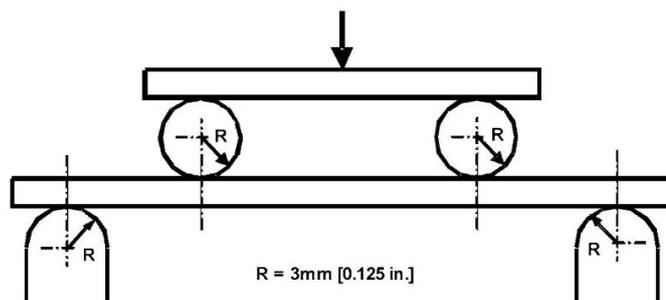
7. Apparatus

7.1 *Testing Machine*—Properly calibrated, which can be operated at a constant rate of crosshead motion, and in which the error in the force application system shall not exceed $\pm 1\%$ 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 E 4.

7.2 *Loading Noses and Supports*—The loading noses and supports shall have cylindrical contact surfaces of radius 3.00 mm [0.125 in.] as shown in Fig. 3, with a hardness of 60 to 62 HRC, as specified in Test Methods E 18, and shall have finely



Three-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Loading Nose



Four-Point Loading Configuration with Fixed Supports and Rolling Loading Noses

FIG. 3 Example Loading Nose and Supports for Procedures A (top) and B (bottom)

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Sep 6 14:00:16 EDT 2010 3
 Downloaded/printed by
 Escuela Politecnica Nacional pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

ground surfaces free of indentation and burrs with all sharp edges relieved. Loading noses and supports may be arranged in a fixed, rotatable or rolling arrangement. Typically, with composites, rotatable or fixed arrangements are used.

7.3 *Micrometers*—For width and thickness measurements the micrometers shall use a 4 to 7 mm [0.16 to 0.28 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 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 desirable 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 $\pm 1^\circ\text{C}$ [$\pm 2^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 3 % relative humidity, as outlined in Test Method D 5229/ D 5229M. Chamber conditions shall be monitored either on an automated continuous basis or on a manual basis at regular intervals.

7.6 *Environmental Test Chamber*—An environmental test chamber is required for test environments other than ambient testing laboratory conditions. This chamber shall be capable of maintaining the test specimen at the required temperature

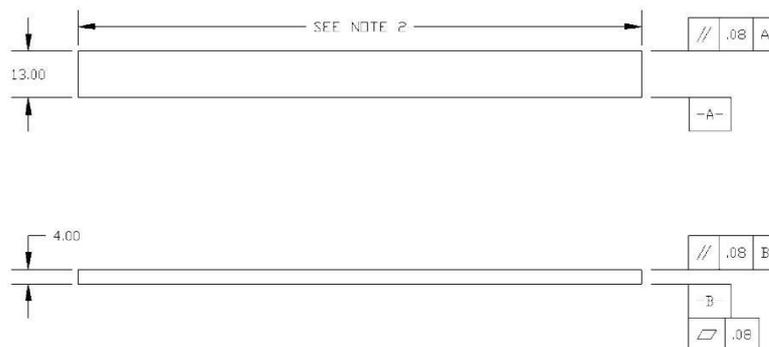
within $\pm 3^\circ\text{C}$ [$\pm 5^\circ\text{F}$] and the required vapor level to within ± 5 % relative humidity.

8. Test Specimens

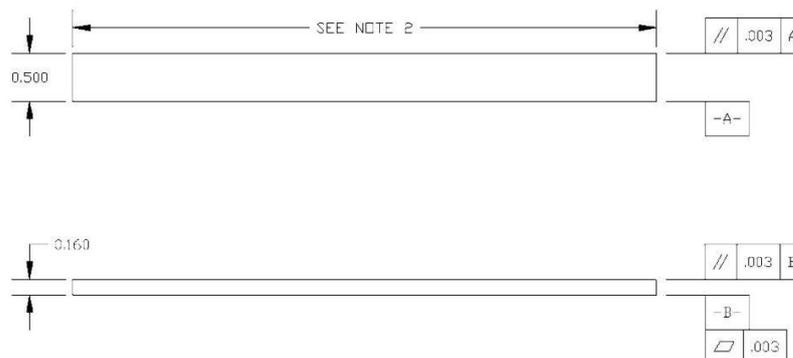
8.1 *Specimen Preparation*—Guide D 5687/D 5687M provides recommended specimen preparation practices and should be followed when practical.

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 D 6856. 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 may not 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 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.
 NOTE 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)



NOTE 1—Drawing interpretation per ANSI Y14.5-1999 and ANSI B46.1-1995.
 NOTE 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)

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.

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 E 122 should 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 D 5229/D5229M; however, if the test requester does not explicitly specify a pre-test conditioning environment, conditioning is not required and the test specimens may be tested as prepared.

NOTE 4—The term *moisture*, as used in Test Method D 5229/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 and thickness at the specimen mid-section, and the specimen length, to the specified accuracy.

11.3 Measure the span 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 D 790 for Procedure A and Test Method D 6272 for Procedure B.

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) should 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 may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 6):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1}$$

where:

- σ = stress at the outer surface at mid-span, MPa [psi],
- P = applied force, N [lbf],
- L = support span, mm [in.],
- b = width of beam, mm [in.], and
- h = thickness of beam, mm [in.].

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 2 % for specimens tested by the procedure herein described. It should be noted that the maximum ply stress may not occur at the outer surface of a multidirectional laminate.⁴ Laminated beam theory must be applied to determine the maximum tensile stress at failure. Thus, Eq 1 yields an apparent strength based on homogeneous beam theory. This apparent strength is highly dependent on the ply-stacking sequence for multidirectional laminates.

13.2 *Maximum Flexural Stress, Procedure B*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a beam simply supported at two outer points and loaded at two central points separated by a distance equal to 1/2 the support span and at equal distance from the adjacent support point, the maximum stress at the outer surface occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). The stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Note 7):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \tag{2}$$

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

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.

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

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 may 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 may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{6\delta h}{L^2} \quad (3)$$

where:

ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
 δ = mid-span deflection, mm [in.],
 L = support span, mm [in.], and
 h = thickness of beam, mm [in.].

13.6 *Maximum Strain, Procedure B*—The maximum strain at the outer surface also occurs at mid-span, and it may be calculated as follows:

$$\epsilon = \frac{4.36\delta h}{L^2} \quad (4)$$

where:

δ = mid-span deflection, mm [in.],
 ϵ = maximum strain at the outer surface, mm/mm [in./in.],
 L = support span, mm [in.], and
 h = thickness of beam, mm [in.].

13.7 *Flexural Modulus of Elasticity:*

13.7.1 *Flexural Chord Modulus of Elasticity*—The flexural chord modulus of elasticity is the ratio of stress range and corresponding strain range. For calculation of flexural chord modulus, the recommended strain range is 0.002 with a start point of 0.001 and an end point 0.003. If the data is not available at the exact strain range end points (as often occurs with digital data), use the closest available data point. Calculate the flexural chord modulus of elasticity from the stress-strain data using Eq 5 (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8).

$$E_f^{chord} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (5)$$

where:

E_f^{chord} = flexural chord modulus of elasticity, MPa [psi],
 $\Delta\sigma$ = difference in flexural stress between the two selected strain points, MPa [psi], and
 $\Delta\epsilon$ = difference between the two selected strain points (nominally 0.002).

13.7.1.1 Report the chord modulus of elasticity in MPa [psi] for the strain range 0.001 to 0.003. If a different strain range is used in the calculations, also report the strain range used.

NOTE 8—Shear deformation can seriously reduce the apparent flexural modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low span-to-thickness ratios.⁵ For this reason, a high span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets of specimens may have to be used for modulus and strength determination.

13.7.2 *Flexural Secant Modulus of Elasticity*—The flexural secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve. The flexural secant modulus is same as the flexural chord modulus in which the initial strain point is zero. It shall be expressed in MPa [psi]. It is calculated as follows (for multidirectional or highly orthotropic composites, see Note 8):

13.7.2.1 *For Procedure A:*

$$E_f^{secant} = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (6)$$

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:*

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^3 m}{bh^3} \quad (7)$$

where E_f^{secant} , m , L , b , and h are the same as 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 should 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:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \\ s_{n-1} &= \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}{n-1}} \\ CV &= 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}} \end{aligned} \quad (8)$$

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.

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.

14. Report

14.1 The information reported for this test method includes material identification and mechanical testing data. These data shall be reported in accordance with Guides E 1309 and E 1471. At a minimum, the following should be reported:

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

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.

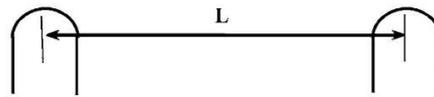


FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports

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).

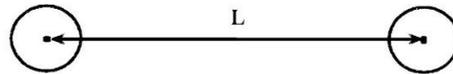


FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports

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.

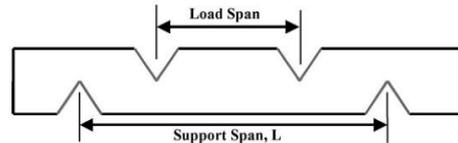


FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports

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').

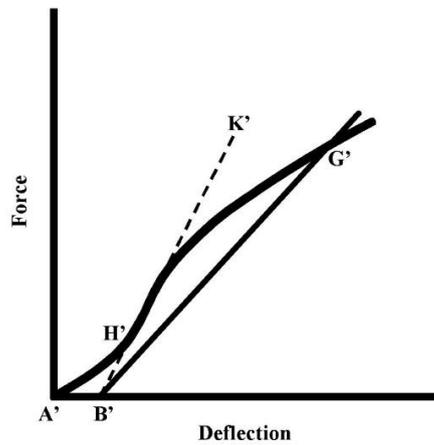


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

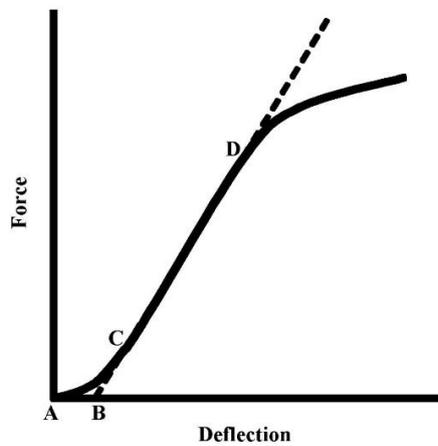


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

ANEXO 6



Designation: D5628 – 10

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 and health 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 Bruceon Staircase method of calculation are used.

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 Test Method 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

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties. Current edition approved July 1, 2010. Published July 2010. Originally approved in 1994. Last previous edition approved in 2007 as D5628 - 07. DOI: 10.1520/D5628-10.

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.

D4000 Classification System for Specifying Plastic Materials

D5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens

D6779 Classification System 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.

3.2.4 *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 Available from American National Standards Institute (ANSI), 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036, <http://www.ansi.org>.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbour Drive PO box C-700 West Conshohocken, Pennsylvania 19428-2959, United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Sep 6 14:00:53 EDT 2010
Downloaded/printed by

Escuela Politecnica Nacional pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

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. Equivalence of these methods should not be taken for granted. While both constant-mass and constant-height techniques are permitted by these methods, the constant-height method should 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 should 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 should be made to 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 should be 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 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.

⁴The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

D5628 – 10

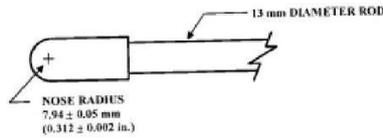


FIG. 1 (a)

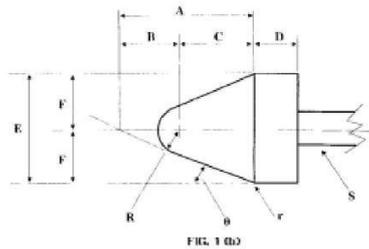


FIG. 1 (b)

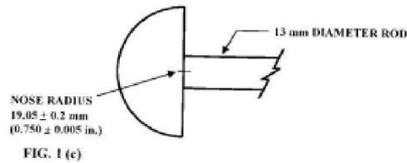


FIG. 1 (c)

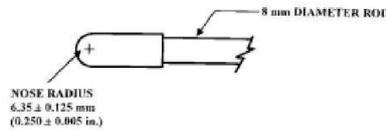


FIG. 1 (d)

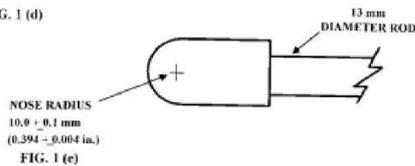


FIG. 1 (e)

Dimensions of Conical Dart (Not to scale.)—Fig. 1(b)

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be 62 %.

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 G 0.05	0.250 G 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) ⁴	6.4	0.25
u	25 G 1°	25 G 1°

⁴Larger diameter shafts shall be used.

FIG. 1 Top Geometries for Geometries FA (1a), FB (1b), FC (1c), FD (1d), and FE (1e)

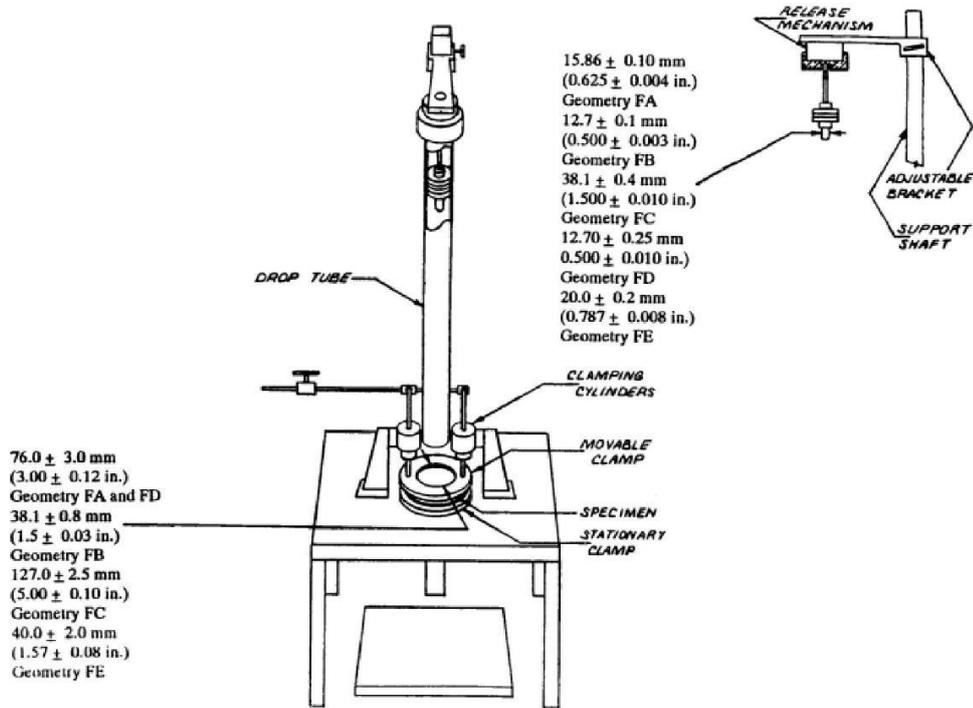


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 3 is recommended. For Geometries FA and FD, the inside diameter should be 76.0 ± 3.0 mm (3.00 ± 0.12 in.). For Geometry FB, the inside diameter should be 38.1 ± 0.8 mm (1.5 ± 0.03 in.). For Geometry FC, the inside diameter should be 127.0 ± 2.5 mm (5.00 ± 0.10 in.). For Geometry FE an annular specimen clamp similar to that shown in Fig. 4 is required. The inside diameter should 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 should be rounded slightly; a radius of 0.8 mm (0.03 in.) has been found to be satisfactory. For Geometry FE this radius should 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 impacting 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).

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

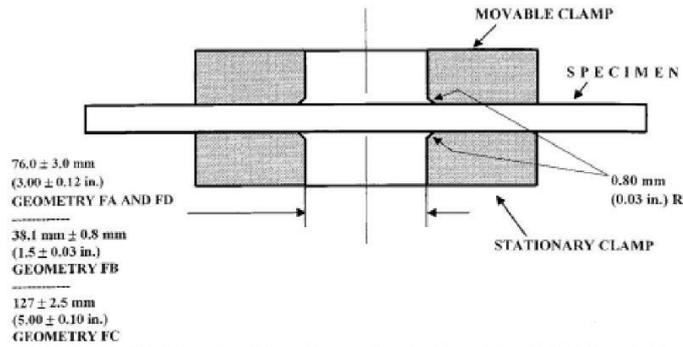


FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

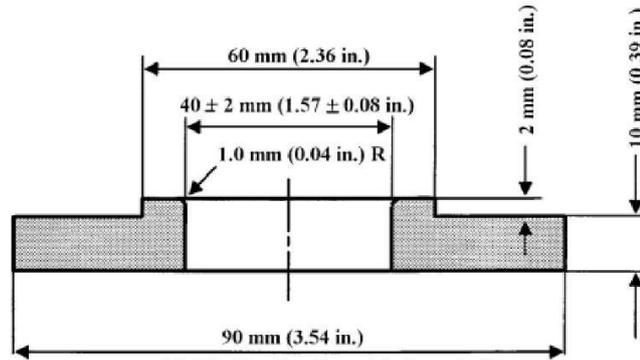


FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE

TABLE 1 Top and Support Ring Dimensions

Geometry	Dimensions, mm (in.)	
	Top Diameter	Inside Diameter Support Ring
FA	15.86 \pm 0.10 (0.625 \pm 0.004)	76.0 \pm 3.0 (3.00 \pm 0.12)
FB	12.7 \pm 0.1 (0.500 \pm 0.003)	38.1 \pm 0.8 (1.5 \pm 0.03)
FC	38.1 \pm 0.4 (1.5 \pm 0.010)	127.0 \pm 2.5 (5.00 \pm 0.10)
FD	12.70 \pm 0.25 (0.500 \pm 0.010)	76.0 \pm 3.0 (3.00 \pm 0.12)
FE	20.0 \pm 0.2 (0.787 \pm 0.008)	40.0 \pm 2.0 (1.57 \pm 0.08)

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 \pm 0.25-mm (0.500 \pm 0.010-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8

mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

7.2.5 The tup used in Geometry FE shall have a 20.0 \pm 0.2-mm (0.787 \pm 0.008-in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 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

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)

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*, for measurement of specimen thickness. It should be accurate to within 1 % of the average thickness of the specimens being tested. See Test Methods **D5947** for descriptions of suitable micrometers.

7.5 The mass of the tup head and shaft assembly and the additional mass required must be known to within an accuracy of 61 %.

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 $60 \leq 2 \text{ mm}$ ($2.4 \leq 0.08 \text{ in.}$) in diameter or $60 \leq 2 \text{ mm}$ ($2.4 \leq 0.08 \text{ in.}$) square with a thickness of $2 \leq 0.1 \text{ mm}$ ($0.08 \leq 0.004 \text{ in.}$). 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 should 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 should not be tested for specification purposes. Production parts, however, should 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 (**I**).

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 not necessary to measure each specimen. 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 should be the target each time (see 6.2). When clamping is employed, the force should 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 should be approximately 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 can be 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:

$$w \leq w_o + 1.62 d_w / N \geq 0.5! \quad (1)$$

13.2 *Mean-Failure Height*—If a constant-mass procedure was used, calculate the mean-failure height from the test data obtained, as follows:

$$h \leq h_o + 1.62 d_h / N \geq 0.5! \quad (2)$$

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.),
- $A = \sum_{i=0}^k n_i$,
 $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
 n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
 $w_i = w_o + i d_w$, and
 $h_i = h_o + i d_h$.

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:

$$s_w \leq 1.62 d_w / N \geq 1.047 d_w \quad (3)$$

$$s_h \leq 1.62 d_h / N \geq 1.047 d_h \quad (4)$$

where:

- s_w = estimated standard deviation, mass, kg
- s_h = estimated standard deviation, height, mm, and

$$B \leq C_4 S_0 i p_i \quad (5)$$

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:

$$S_w \leq G s_w / \sqrt{N} \quad (6)$$

or

$$S_h \leq G s_h / \sqrt{N} \quad (7)$$

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:

$$S_{MFE} \leq s_h w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} \leq S_w h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

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.

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.

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

^aData generated in three laboratories.

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.

r = 2.83 V_r .

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 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.

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. (**Warning**—The following explanations of r and R (15.2-15.2.3) are only intended to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data in Tables 3 and 4 should not be rigorously applied to acceptance or rejection of material, as those data are specific to the round robin and not necessarily representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E691 to generate data specific to their laboratory and materials, or between specific laboratories. The principles of 15.2-15.2.3 would then be valid for such data.)

15.2 *Concept of r and R* —If V_r and V_r have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were

⁵ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR-D20-1030.

TABLE 4 Precision, Method FC

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	1.33	4.13	11.7
Styrene-Butadiene (SB)	48.3	18.3	51.8

V_r = within-laboratory coefficient of variation of the mean.
 $r = 2.83 V_r$.

means from testing multiple individual specimens (Bruncton Staircase Procedure), the following applies:

15.2.1 *Repeatability, r*—In comparing two test results for the same material obtained by the same operator using the same equipment on the same day, the two test results should be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material.

15.2.2 *Reproducibility, R*—In comparing two test results for the same material obtained by different operators using differ-

ent equipment in different laboratories, reproducibility statistics were not calculated because data from only four and three laboratories do not justify making these calculations.

15.2.3 Any judgment in accordance with 15.2.1 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

15.3 *Bias*—There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

15.4 Efforts to form a task group to address between laboratory reproducibility of this test method has been unsuccessful. Persons interested in participating in such a task group should contact ASTM Headquarters.

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)

XI. SAMPLE CALCULATIONS

XI.1 See below.

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				n_x	n_o	f	n_i	ln_1	$f^2 n_1$
	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								
													(N_x)	(N_o)		(N)	(A)	(B)								

$w_o = 7.00; N = N_x = 9; d = 1.00$
 $w = w_o + d(A/N - 0.5)$
 $= 7.00 + 1.00 (6/9 - 0.5)$
 $= 7.17 \text{ kg}$
 $s = 1.620 d [((NB - A^2)/9^2) + 0.029]$
 $= 1.620 (1.00 [((9.8 - 6^2)/9^2) + 0.029])$
 $= 0.77 \text{ kg}$
 $s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$
 $s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035 (0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$