



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS CARRERA DE INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERIA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ

TEMA:

**ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FIBRAS DE
BAMBÚ CON RESINA EPOXICA PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS
MECÁNICAS**

**AUTORES: ANGÉLICA MARIBEL SANIPATÍN SILVA
DIEGO LEONARDO TÚQUEREZ VALLEJOS**

DIRECTOR: ING. CARLOS SEGOVIA MSc.

IBARRA – ECUADOR

2022

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

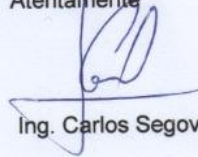
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FIBRAS DE BAMBÚ CON RESINA EPÓXICA PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS". presentado por el señor: SANIPATÍN SILVA ANGÉLICA MARIBEL con número de cédula 1003564430, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 18 días del mes noviembre de 2022.

Atentamente



Ing. Carlos Segovia, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

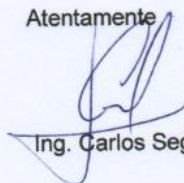
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es "ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FIBRAS DE BAMBÚ CON RESINA EPÓXICA PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS". presentado por el señor: TÚQUEREZ VALLEJOS DIEGO LEONARDO con número de cédula 1003261540, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 18 días del mes noviembre de 2022.

Atentamente



Ing. Carlos Segovia, MSc

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	1003564430	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Sanipatín Silva Angélica Maribel	
DIRECCIÓN:		Natabuela – Flores Vásquez y 16 Julio	
EMAIL:		amsanipatins@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:	2535149	TELÉFONO MÓVIL:	0997071697

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FIBRAS DE BAMBÚ CON RESINA EPÓXICA PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS"
AUTOR (ES):	Sanipatín Silva Angélica Maribel y Túquerez Vallejos Diego Leonardo
FECHA: DD/MM/AAAA	18/11/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Segovia, MSc

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de noviembre de 2022

EL AUTOR:



 Sanipatín Angélica



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

3. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA IDENTIDAD:	DE	1003261540	
APELLIDOS NOMBRES:	Y	Túquerez Vallejos Diego Leonardo	
DIRECCIÓN:		Atuntaqui – Gonzales Suarez y Avenida San Vicente	
EMAIL:		dltuquerezv@utn.edu.ec	
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0981996193


DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LAS FIBRAS DE BAMBÚ CON RESINA EPÓXICA PARA LA FABRICACIÓN DE PIEZAS MECÁNICAS”
AUTOR (ES):	Sanipatín Silva Angélica Maribel y Túquerez Vallejos Diego Leonardo
FECHA: DD/MM/AAAA	18/11/2022
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. Carlos Segovia, MSc

4. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 18 días del mes de noviembre de 2022

EL AUTOR:



 Diego Túquerez

DEDICATORIA

A Dios quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mi compañero de vida y gran amor Alex Dávila por ser mi mayor fuente de inspiración quien a través de sus consejos, amor, respaldo y paciencia me ayudo a concluir este sueño anhelado.

A mis padres Miguel Sanipatín y Silvia Silva quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mi hermano Alan Sanipatín por ser mi compañía, apoyo incondicional y mi fuerza para seguir adelante.

A todos ustedes con mucho amor.

Angélica Maribel Sanipatín Silva

Quiero dedicar este logro y todos los que vengan primeramente a Dios por darme la fuerza, salud y sabiduría para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

A mis padres Martha Vallejos y Diego Túquerez quienes han sido las personas que me han acompañado durante todo mi pregrado y apoyando en mis alegrías y tristezas, quienes me han enseñado a luchar inalcanzablemente por mis sueños.

A mis hermanos, por aspirar ser un ejemplo para ellos y también por siempre brindarme su apoyo.

Diego Leonardo Túquerez Vallejos

AGRADECIMIENTO

A mis abuelitos Manuel Sanipatín y Hugo Silva cuyo amor por mí no conocía límites: quienes desde el cielo me acompañaron e intercedieron por mí en cada paso dado y me enseñaron el valor del trabajo duro. Infinitas Gracias, nunca los olvidaré y siempre estarán en mi corazón a donde quiera que vaya.

A mis abuelitas María Esther Montalvo y Marina Ruiz quienes con la sabiduría de Dios me han enseñado a ser quien soy hoy, gracias por su paciencia, por enseñarme el camino de la vida, por el amor y el apoyo incondicional en mi vida. Gracias por llevarme en sus oraciones porque estoy segura de que siempre lo hacen.

A mi familia quienes con su esfuerzo, amor y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible.

A mi tutor de tesis Ing. Carlos Segovia MSc, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A todos ellos les expreso mi cariño.

Angélica Maribel Sanipatín Silva

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco siempre a mis padres por sus valores recibidos y por permitirme tener mis estudios, en especial gracias a mi madre Martha Vallejos por su eterno amor, consejos y dedicación para poder seguir adelante y cumplir todos mis objetivos y enseñarme a nunca rendirme ante las adversidades de la vida.

Agradezco a mis hermanos y amigos por las palabras de apoyo recibidos en los momentos precisos.

De igual manera agradecerle al Ing. Carlos Segovia, por su constante guía y brindarnos sus conocimientos para poder culminar con éxito la titulación.

Diego Leonardo Túqueréz Vallejos

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	xviii
CAPÍTULO I	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	1
1.1 Objetivos	1
1.1.1 Objetivo general	1
1.1.2 Objetivos específicos	1
1.2 Justificación	1
1.3 Alcance	2
1.4 Antecedentes	3
1.5 Ingeniería de los materiales	4
1.6 Materiales compuestos	4
1.7 Clasificación de los materiales compuestos	5
1.8 Componentes los materiales compuestos	5
1.8.1 Matriz	6
1.8.2 Tipos de matriz	7
1.8.2.1 Compuestos de matriz metálica (cmm)	7
1.8.2.2 Compuestos de matriz cerámica (cmc)	7
1.9 Resina epoxi	7
1.10 Fibras	8
1.11 Clasificación de las fibras	9
1.12 Fibras naturales	9
1.12.1 Fibras de bambú	10
1.12.2 Propiedades mecánicas y químicas de la fibra de bambú	11
1.12.3 Obtención de la fibra de bambu	11
1.13 Refuerzo con fibras	12
1.13.1 Orientación de las fibras en materiales compuestos	12
1.13.2 Influencia de la longitud de la fibra	13
1.13.3 Aplicación de la fibra de bambu en una matriz polimérica	14
1.14 Ensayos	14
1.14.1 Ensayo de flexión	14
1.14.2 Ensayo de tracción	15
1.14.3 Ensayo de impacto	16
1.15 Elaboración de un material compuesto	17
1.16 Procesos utilizados para la obtención de materiales compuestos	17
1.16.1 Estratificación manual	18
1.16.2 Moldeo por compresión	18
1.17 Etapas para la elaboración de un material compuesto	18
1.17.1 Impregnación	19
1.17.2 Laminado	19
1.17.3 Solidificación	19
1.18 Statgraphics 19-xg64	19
1.18.1 Trabajar con datos en statgraphics	20
1.18.2 Resumen estadístico	20

1.18.3 Tabla de frecuencias	20
1.18.4 Histograma y percentiles	20
1.18.5 Diagrama de caja	21
1.18.6 Diagrama de dispersión o scatterplots	21
CAPÍTULO II	22
2. MATERIALES Y METODOS	22
2.1 Materiales	22
2.1.1 Fibra de bambú	22
2.1.2 Resina epoxi	23
2.1.3 Cera desmoldante	24
2.1.4 Catalizador	24
2.1.5 Acelerador	25
2.2 Diseño de las probetas	25
2.2.1 Probeta de tracción	25
2.2.2 Probeta de flexión	26
2.2.3 Probetas de impacto izod	26
2.3 Cálculos	28
2.3.1 Cálculos para las probetas de tracción	28
2.3.1.1 La masa de la fibra de bambú al 75% para las 10 probetas	29
2.3.1.2 La masa de la fibra de bambú al 60% para las 10 probetas	29
2.3.2 Cálculos para las probetas de flexión	30
2.3.2.1 La masa de la fibra de bambú al 75% para las 10 probetas	30
2.3.2.2 La masa de la fibra de bambú al 60% para las 10 probetas	30
2.3.3 Cálculos para las probetas de impacto	31
2.3.3.1 La masa de la fibra de bambú al 75% para las 10 probetas	31
2.3.3.2 La masa de la fibra de bambú al 60% para las 10 probetas	32
2.4 Obtención de la fibra de bambú	32
2.4.1 Fibra de bambú	32
2.4.2 Extracción de la fibra de bambú	33
2.5 Curado de la resina epóxica	34
2.6 Fabricación de las probetas	35
2.6.1 Construcción de los planos de los moldes	35
2.6.2 Elaboración de los moldes	37
2.6.3 Perforación en los tableros	38
2.6.4 Aplicación de la cera desmoldante	39
2.6.5 Tiempo de curado	40
2.6.6 Desmolde	40
2.6.7 Obtención de las probetas	41
2.7 Caracterización del material compuesto	42
2.7.1 Ensayo de las probetas de tracción	42
2.7.1.1 Esfuerzo máximo de tracción	42
2.7.2.1 Porcentaje de elongación	43
2.7.1.3 Módulo de elasticidad	43
2.7.2 Ensayo de las probetas de flexión	44
2.7.2.1 Esfuerzo máximo a flexión	44
2.7.2.2 Deformación máxima	45
2.7.2.3 Módulo de elasticidad	45
2.7.3 Ensayo de las probetas de impacto	45

2.7.3.1 Energía media de fallo	46
2.8 Elaboración del prototipo	46
2.8.1 Cantidad de resina epóxica y fibra de bambú	46
2.8.2 Molde del prototipo guardabarros	47
2.8.3 Aplicación de la cera desmoldante	47
2.8.4 Aplicación de la resina epóxica	48
2.8.5 Aplicación de la fibra de bambú	49
2.8.6 Secado de la pieza	50
2.8.7 Desmolde de la pieza	50
2.8.8 Pulido de la pieza	51
2.8.9 Pintado de la pieza	51
CAPITULO III	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
3.1 Recolección de datos	53
3.1.2 Fichas de las probetas de ensayo a flexión	53
3.1.2.1 Tipo de falla	53
3.1.2 Fichas de las probetas de ensayo a flexión	63
3.1.2.1 Tipo de falla	63
4.1.3 Fichas de las probetas de ensayo a impacto	73
4.1.3.1 Tipo de falla	73
3.2 Análisis de resultados	80
3.2.1 Resultados de las probetas de tracción	80
3.2.2 Resultados de las probetas de flexión	81
3.2.3 Resultados de las probetas de impacto	82
3.3 Comparación con distintos materiales	83
3.4 Pruebas de comparación de esfuerzo a tracción con distintos materiales	87
3.4.1 Elongación	88
3.4.2. Esfuerzo máximo	96
3.4.3. Elaticidad	106
3.5 Análisis del prototipo	117
3.4.1 Características del guardabarros de la camioneta mazda bt-50	117
3.4.2 Análisis de las propiedades mecánicas del guardabarros fabricado	117
3.4.3 Comparación del guardabarros original en el mercado	119
3.5 Análisis de los costos	120
3.5.1 Costo del prototipo	120
3.5.2 Costos del proyecto	122
CAPÍTULO IV	123
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
Conclusiones	123
Recomendaciones	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	130

INDICE DE TABLAS

TABLA NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
1.1	Propiedades de las resinas	8
1.2	Propiedades mecánicas y químicas del bambú.	11
1.3	Especificaciones de los ensayos.	17
2.1	Datos de los ensayos y probetas.	27
2.2	Medida total de la fibra en gramos para la fabricación de probetas	32
2.3	Cantidades por utilizar para la fabricación del guardabarros.	46
3.1.	Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de tracción	53
3.2.	Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo	53
3.3.	Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo	56
3.4.	Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo	58
3.5.	Ficha de los ensayos de tracción del cuarto grupo	61
3.6.	Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de flexión	64
3.7.	Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo	64
3.8.	Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo.	66
3.9.	Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo	69
3.10.	Ficha de los ensayos de flexión del cuarto grupo.	71
3.11.	Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de impacto	73
3.12.	Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo.	73
3.13.	Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo.	75
3.14.	Ficha de los ensayos de impacto del tercer grupo.	77
3.15.	Ficha de los ensayos de impacto del cuarto grupo	78
3.16	Resultados de los esfuerzos máximos a tracción y módulos de elasticidad	80
3.17	Resultados de los esfuerzos máximos a flexión y módulos de elasticidad	81
3.18.	Energía media de fallos	82
3.19	Comparación de esfuerzo a tracción con distintos materiales.	83
3.20	Esfuerzos a flexión de varios materiales compuestos.	84
3.21.	Esfuerzos a impacto de varios materiales compuestos	86
3.22.	Resumen Estadístico para Col_1	88
3.23.	Tabla de Frecuencias para Col_1	90
3.24.	Percentiles para Col_1	91
3.25.	Diagrama de Tallo y Hoja para Col_1: unidad = 0,1 1 2 representa 1,2	92
3.26.	Resumen Estadístico para Col_1	97
3.27.	Tabla de Frecuencias para Col_1	99
3.28.	Percentiles para Col_1	100
3.29.	Diagrama de Tallo y Hoja para Col_1: unidad = 0,1 1 2 representa 1,2	101
3.30.	Resumen Estadístico para Col_1	107
3.31.	Tabla de Frecuencias para Col_1	109
3.32.	Percentiles para Col_1	110
3.33.	Diagrama de Tallo y Hoja para Col_1: unidad = 0,1 1 2 representa 1,2	111
3.34.	Propiedades mecánicas del polipropileno	117
3.35.	Comparación de las propiedades mecánicas a tracción	117
3.36.	Comparación de las propiedades mecánicas a flexión	118
3.37.	Comparación de las propiedades mecánicas a impacto	119
3.38.	Parámetros del guardabarros original y el fabricado.	120
3.39.	Costos directos	121

3.40.	Costos de la fabricación del prototipo	121
3.41.	Costos indirectos	122
3.42.	Costos del proyecto	122

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
1.1	Componentes de un material compuesto.	6
1.2	Clasificación de las fibras	9
1.3	Clasificación de las fibras vegetales.	10
1.4	Orientación de las fibras	12
1.5	Deformación de un material	13
1.6	Esquema del ensayo de flexión	14
1.7	Esquema del ensayo de tracción	15
1.8	Esquema del ensayo de impacto	16
2.1	Flujograma materiales y métodos	22
2.2	Flujograma materiales y métodos	23
2.2	Resina epoxi	23
2.3	Cera desmoldante	24
2.4	Catalizador	24
2.5	Dimensiones probeta de tracción	25
2.6	Dimensiones probeta de flexión	26
2.7	Dimensiones probeta de impacto izod	26
2.8	Fibra de Bambú	33
2.9	Curado de la resina epóxica	34
2.10	Plano de tablero de las probetas de tracción y flexión	35
2.11	Plano de tablero de las probetas de tracción, flexión e impacto	36
2.12	Plano completo de tablero de las probetas de tracción, flexión e impacto	36
2.13	Tablero de madera para elaboración de probetas	37
2.14	Distribución de cada una de las probetas	38
2.15	Perforación de tableros	38
2.16	Aplicación de cera desmoldante en los tableros	39
2.17	Desmolde del material compuesto	40
2.18	Probetas de tracción, flexión e impacto	41
2.19	Molde del guardabarros	47
2.20	Aplicación de la cera desmoldante.	48
2.22	Aplicación de la fibra de bambú.	49
2.23	Secado del prototipo	50
2.24	Desmolde del prototipo	50
2.25	Pulido de la pieza	51
2.26	Pintado del prototipo guardabarros	51
3.1.	Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo	55
3.2.	Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del segundo grupo	58
3.3.	Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo	60
3.4.	Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del cuarto grupo	63
3.5.	Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo	66
3.6.	Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del segundo grupo	68
3.7.	Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo	70
3.8.	Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo	72
3.10	Resultados del ensayo a flexión	81

3.11	Resultados de las probetas a impacto	82
3.12.	Resultados de comparaciones de ensayo a tracción	84
3.13	Resultados de comparaciones con distintos materiales	85
3.14.	Resultados de comparaciones con distintos materiales	87
3.15.	Gráfico de dispersión	88
3.16.	Gráfico de caja y bigotes	89
3.17.	Gráfico de caja y bigotes	90
3.18.	Gráfico de caja y bigotes	91
3.19.	Gráfico de probabilidad normal.	92
3.20.	Gráfico de densidad suavizada.	93
3.21.	Gráfico de simetría.	96
3.22.	Gráfico de dispersión.	97
3.23.	Gráfico de caja y bigotes.	98
3.24.	Gráfico de histograma.	100
3.25.	Gráfico de cuantiles.	101
3.26.	Gráfico de probabilidad normal.	102
3.27.	Gráfico de densidad suavizada.	103
3.34.	Gráfico de densidad suavizada.	113

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXOS NÚMERO	DESCRIPCIÓN	PÁG
AI.1.	Norma ASTM D3039	131
AI.2.	Norma ASTM D3039	132
AI.3.	Norma ASTM D3039	133
AI.4.	Norma ASTM D3039	134
AI.5.	Norma ASTM D3039	135
AI.6.	Norma ASTM D3039	136
AI.7.	Norma ASTM D3039	137
AI.8.	Norma ASTM D3039	138
AI.9.	Norma ASTM D3039	139
AI.10.	Norma ASTM D3039	140
AI.11.	Norma ASTM D3039	141
AI.12.	Norma ASTM D3039	142
AI.13.	Norma ASTM D3039	143
AII.1.	Norma ASTM D7264	144
AII.2.	Norma ASTM D7264	145
AII.3.	Norma ASTM D7264	146
AII.4.	Norma ASTM D7264	147
AII.5.	Norma ASTM D7264	148
AII.6.	Norma ASTM D7264	149
AII.7.	Norma ASTM D7264	150
AII.8.	Norma ASTM D7264	151
AII.9.	Norma ASTM D7264	152
AII.10.	Norma ASTM D7264	153
AII.11.	Norma ASTM D7264	154
AIII.1.	Norma ASTM D5628.....	155
AIII.2.	Norma ASTM D5628.....	156
AIII.3.	Norma ASTM D5628.....	157
AIII.4.	Norma ASTM D5628.....	158
AIII.5.	Norma ASTM D5628.....	159
AIII.6.	Norma ASTM D5628.....	160
AIII.7.	Norma ASTM D5628.....	161
AIII.8.	Norma ASTM D5628.....	162
AIII.9.	Norma ASTM D5628.....	163
AIII.10.	Norma ASTM D5628.....	164
AIV.1.	Resultados del ensayo a tracción	165
AIV.2.	Resultados del ensayo a tracción	166
AIV.3.	Resultados del ensayo a tracción.....	167
AV.1.	Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.....	169
AV.1.	Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.....	170
AV.1.	Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.....	171
AV.2.	Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.....	172

RESUMEN

El presente proyecto titulado “Estudio de las características mecánicas de las fibras de bambú con poliéster para la fabricación de piezas mecánicas” abarca un campo de estudio teórico respecto al campo de los materiales compuestos; planteando una alternativa de fabricación con un prototipo de guardabarros para determinar la posibilidad de fabricar piezas mecánicas que sean amigables con el ambiente. En primera instancia, se realizó una investigación de materiales compuestos con matriz de resina epóxica y refuerzo de fibra de bambú buscando la mejor orientación y fracción volumétrica para obtener mejores propiedades mecánicas; a continuación, se designó tres tipos de configuraciones volumétricas: 25% resina epóxica y 75% refuerzo de fibra de bambú de dos y tres capas y 40% resina epóxica y 60% refuerzo de fibra de bambú de dos y tres capas. Para la fabricación de las probetas nos guiamos bajo las normativas ASTM con el proceso llamado estratificación por compresión con el fin de evitar imperfecciones como son la aparición de burbujas de aire al utilizar este tipo de resina, se realizaron tres grupos de probetas de pruebas las mismas que son sometidas a ensayos de tracción, flexión e impacto izod. Comparando los resultados de los cuatro tipos de probetas en los diferentes ensayos realizados obtuvimos como resultado un mejor desempeño en las probetas con 25% de resina y 75% fibra de bambú. La fabricación del modelado se realizó en el programa SOLIDWORKS, para posteriormente realizar un modelo idóneo para la elaboración del prototipo con la resina epóxica y la fibra de bambú. Por último, se comprobó que el material compuesto puede ser una alternativa viable para poner en práctica el prototipo en el vehículo como una autoparte base de la fibra y resina estudiadas como es el prototipo del guardabarros de la camioneta Mazda BT-50. Se compararon parámetros de la pieza original con la del prototipo las cuales fueron precios, durabilidad, resistencia al fallo, resistencia al impacto y biodegradación, logrando como resultado que el prototipo fabricado pese más que el original, pero con mejores prestaciones y características mecánicas que el original.

ABSTRACT

The present project entitled "Study of the mechanical characteristics of bamboo fibers with polyester for the manufacture of mechanical parts" covers a field of theoretical study regarding the field of composite materials; proposing a manufacturing alternative with a fender prototype to determine the possibility of manufacturing mechanical parts that are environmentally friendly. In the first instance, an investigation of composite materials with epoxy resin matrix and bamboo fiber reinforcement was carried out looking for the best orientation and volumetric fraction to obtain better mechanical properties; then, three types of volumetric configurations were designated: 25% epoxy resin and 75% bamboo fiber reinforcement of two and three layers and 40% epoxy resin and 60% bamboo fiber reinforcement of two and three layers. For the manufacture of the test specimens we were guided under ASTM standards with the process called compression stratification in order to avoid imperfections such as the appearance of air bubbles when using this type of resin, three groups of test specimens were made which are subjected to tensile, flexural and izod impact tests. Comparing the results of the four types of specimens in the different tests performed, we obtained as a result a better performance in the specimens with 25% resin and 75% bamboo fiber. The modeling was made in the SOLIDWORKS program, to later make a suitable model for the prototype with the epoxy resin and bamboo fiber. Finally, it was verified that the composite material can be a viable alternative to put the prototype into practice in the vehicle as an auto part based on the fiber and resin studied, such as the prototype of the Mazda BT-50 truck fender. Parameters of the original part were compared with that of the prototype, which were prices, durability, resistance to failure, impact resistance and biodegradation, achieving as a result that the manufactured prototype weighs more than the original, but with better features and mechanical characteristics than the original. original.

INTRODUCCIÓN

La industria automotriz existió varios cambios drásticos para la manufactura y diseño de vehículos, los cuales conllevaron a una mejoría en la reducción de peso de vehículos y una correcta combustión, que en base a estas modificaciones se pudo notar una disminución de utilización del combustible. En cambio, en la reducción de peso se obtuvieron fue la disminución de las dimensiones de las piezas y por otra parte se sustituyó el acero por materiales más livianos que cumplieran con ciertos parámetros como el plástico y el aluminio.

Gracias a los estudios e investigaciones de los últimos años la lucha por cuidar el medio ambiente, el uso de materiales anticontaminantes, biodegradables, optimización de energías más limpias han sido de vital importancia para poder revertir y mantener un equilibrio en el cambio climático.

La contaminación generada por un vehículo no es simplemente con los gases que emana el mismo sino que más bien la contaminación se genera también por componentes o piezas que forman parte de la construcción del vehículo como por ejemplo los guardabarros que en este caso por lo general son fabricados a base de plásticos o común mente conocidos como polímeros, los cuales son derivados de petróleo, es por esta razón que no existe un mecanismo exacto en la naturaleza cuya función es degradar estos materiales de manera rápida y eficaz sin índices de contaminación. Las autopartes están precisamente fabricadas de plástico que básicamente al procesarlas exigen una mayor cantidad de energía por los combustibles fósiles los cuales al exponerse a la luz solar liberan gases altamente contaminantes de efecto invernadero lo cual contaminan el medio ambiente.

La industria automotriz se ha enfocado en al desarrollo de nuevos materiales compuestos con fibras orgánicas o naturales como la fibra de bambú, fibra cabuya, fibra de coco, fibra de piña, etc., ya que estas son recursos renovables, en estos materiales se trata de mejores propiedades mecánicas con menores costos, disponibilidad de materia prima.

Tal como en otros países Ecuador se ha enfocado en la obtención de nuevos materiales compuestos utilizando los recursos naturales y a la vez poder ser implementados para la fabricación de piezas del vehículo como lo están realizando las grandes industrias de los vehículos como: Audi, Mercedes Benz, Ford, Toyota entre otras.

CAPÍTULO I

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GENERAL

Ejecutar un estudio de la caracterización mecánica en término de flexión, tracción e impacto izod de fibras bambú con compuestos de resina epóxica para la fabricación de un guardabarros automotriz.

1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación teórica de los materiales compuestos, composiciones y ensayos de flexión, tracción e impacto izod.
- Caracterizar los compuestos de resina epoxica y fibras de bambú utilizados para la fabricación de un guardabarros automotriz.
- Efectuar un análisis comparativo de cada uno de los ensayos realizados en pruebas preliminares a cabo un análisis de los resultados adquiridos.
- Fabricar un guardabarros de camioneta Mazda-BT 50 en el material estudiado.

1.2 JUSTIFICACIÓN

En la presente investigación, se analizará los índices de contaminación que a diario se generan mediante la fabricación de partes de vehículos, debido a la composición del polietileno el cual se degrada en el medio ambiente en el lapso de 100 a 1000 años.

Según en el Plan Nacional de Desarrollo para el Buen Vivir en el Eje 2, objetivo 5: Promover el crecimiento económico y social sustentable mediante una redistribución de

materiales sustentables, nos menciona que el Ecuador cuenta con una importante base de recursos naturales, renovables y no renovables, que ha determinado que su crecimiento económico se sustente en la extracción, producción y comercialización de materias primas («Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda Una Vida» de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación Para El Desarrollo, s. f.). Estos recursos han impulsado un modesto proceso de desarrollo productivo que ha permitido al país contar con una estructura productiva de escasa especialización, con una industria de bajo contenido tecnológico y un sector de servicios dependiente de importaciones. En el presente trabajo tiene como objetivo dar solución a un problema específico de la sociedad actual como lo es la contaminación ambiental y su minimización a través de la utilización de material orgánico en este caso es el bambú.

Con la elaboración de fibras se pretenden encontrar aplicaciones con el bambú y polímeros naturales. Las propiedades mecánicas que posee el bambú son asombrosas y con la ayuda de algún polímero las propiedades se aumentan, además de ser un producto orgánico y amigable con el ambiente con múltiples usos en la industria. Son respetuosos con el medio ambiente porque están fabricados con fibras de bambú y polímeros naturales tales como silicona y látex (caucho natural). Son materiales que presentan alta resistencia, flexibilidad, tracción y no son tóxicos ni inflamables. Además, que tienen un costo relativamente bajo y son accesibles en el mercado.

La elaboración de piezas automotrices a base de fibras de bambú con polímeros contara con pruebas de flexión, tracción e impacto izod, necesarias para que dichas piezas cumplan con las normas ISO. Cabe recalcar que la utilización de dichas piezas a base de bambú ayudará a la contaminación ambiental y a la reducción de plásticos automotrices ya que el bambú es un recurso natural de rápida producción y no contaminante el tiempo en degradación de el mismo es alrededor de 1 a 3 años.

1.3 ALCANCE

En la actualidad ha tomado importancia la investigación acerca de nuevos materiales compuestos, porque responden a requerimientos de abaratar costos en la industria,

especialmente en la automotriz, además mejoran propiedades como la resistencia a la tracción, resistencia a la compresión y otras. Nuestro País debe intensificar las investigaciones acerca de este tipo de materiales para avanzar en la tecnología de construcción de partes automotrices que compitan con las importadas en costo y calidad.

Se diseñarán probetas a base de fibras de bambú con compuestos de poliéster para la construcción de un guardabarros; debido a que el bambú es una fuente natural de bajo índice de contaminación con diversas propiedades las cuales se pueden utilizar en la fabricación de partes automotrices que cumplan con los estándares y normativas vigentes.

Por otro lado, se realizará pruebas mecánicas en términos de flexión, tracción e impacto izod para verificar la máxima resistencia de dicha composición, posteriormente se tendrá en cuenta todos los parámetros necesarios para la fabricación de las piezas automotrices de bajo impacto ecológico.

1.4 ANTECEDENTES

En 1942 Henry Ford construyó uno de los primeros vehículos que usaban cáñamo en algunas de sus partes. Entre 1950 y 1990 se usaron en el cuerpo del vehículo. Para el 2000 se utilizó en interiores y exteriores de vehículos de transporte liviano y pesado. En el 2004 se comenzó a usar en artículos electrónicos y a partir del 2006 el uso en elementos deportivos fue muy común por su baja densidad (Brief, 2011).

Últimamente, se descubrió que las fibras de asbesto son peligrosas para la salud, es por este motivo que se incrementó la investigación de materiales sostenibles y renovables que compitan a la par en calidad, precio y resistencia para así buscar un cambio con los materiales contaminantes. En esta área las fibras naturales toman un papel muy importante, ya que su bajo costo de fabricación y la fabricación de materiales con métodos conocidos a más de la fácil obtención de este, manipulando mano de obra poco calificada.

Para obtener mejores propiedades mecánicas las fibras se procesan químicamente para un mejor tratamiento (Cesar Juarez, 2004)

En nuestro país la especie más abundante es la *Guadua angustifolia*, algo que tiene positivo son sus buenas propiedades físico-mecánicas y una durabilidad asombrosa de los bambús. Asimismo, su gran rapidez de crecimiento es extraordinario, ya que su cosecha es cada cuatro o seis años, en contraste de las diferentes maderas que tardan alrededor de veinte años en alcanzar su madurez (Comportamiento Sismo-Resistente de Estructuras En Bahareque, n.d.).

El bambú básicamente está constituido por un culmo el cual está conformado del 51% en volumen en las cuales predominan paredes de celulosa más conocidas como “Parénquima” esta células conforman la parte interna del bambú el cual se debe analizar, así mismo encontramos un porcentaje del 12% en lo que se refiere a tejidos, dichos tejidos se derivan de la conductibilidad, conocidos como tejidos conductores por último el bambú se constituye por un 45% entre fibras, todas estas características dependerán en que habitat se encuentre, ya que cambiará sus características según la tierra de crecimiento (Liese & Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit., 1985).

1.5 INGENIERÍA DE LOS MATERIALES

La ingeniería de materiales es aquella que estudia y maneja la composición y estructura de los materiales, controlando sus propiedades a través de la síntesis y el procesamiento. Enfocado en como convertir los materiales en dispositivos o estructuras de mejor calidad (Estructura Cristalina, s. f.).

1.6 MATERIALES COMPUESTOS

Dichos materiales consisten en la combinación macroscópica de uno o varios materiales denominados componentes, para obtener así un nuevo compuesto con propiedades superiores con relación a lo que componen de manera individual. Su ventaja es que cada

componente aporta las mejores características que tienen para la formación del compuesto (Imbaquingo Navarrete, 2018).

1.7 CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES COMPUESTOS

Tienen tres tipos de clasificaciones las cuales son por los tipos de matriz, de agente de refuerzo o fibra y por su geometría (Materials World Modules, n.d., p. 37).

Acorde al tipo de matriz pueden ser:

- Matriz cerámica.
- Matriz polimérica.
- Matriz metálica.

Acorde al agente de refuerzo o fibra pueden ser:

- Compuestos reforzados con fibras.
- Compuestos reforzados con partículas.
- Compuestos reforzados con hojuelas.

1.8 COMPONENTES DE MATERIALES COMPUESTOS

Básicamente un material compuesto se compone de dos proporciones en adelante con materiales de distintas procedencias, la ventaja de esta combinación es que proporciona mejores propiedades a las de sus componentes originales empezando de su estructura ya que cada uno de estos materiales son distintos en su composición. La combinación de propiedades debe ser adecuada, ya que el resultado se considera como un material compuesto multifásico, de manera que la finalidad de este sea un material con propiedades y características mejoradas (José Luis Dávila Ing Nelly María Rosas Ing Salomé Galeas Ing Verónica Sotomayor Víctor Hugo Guerrero et al., n.d.)

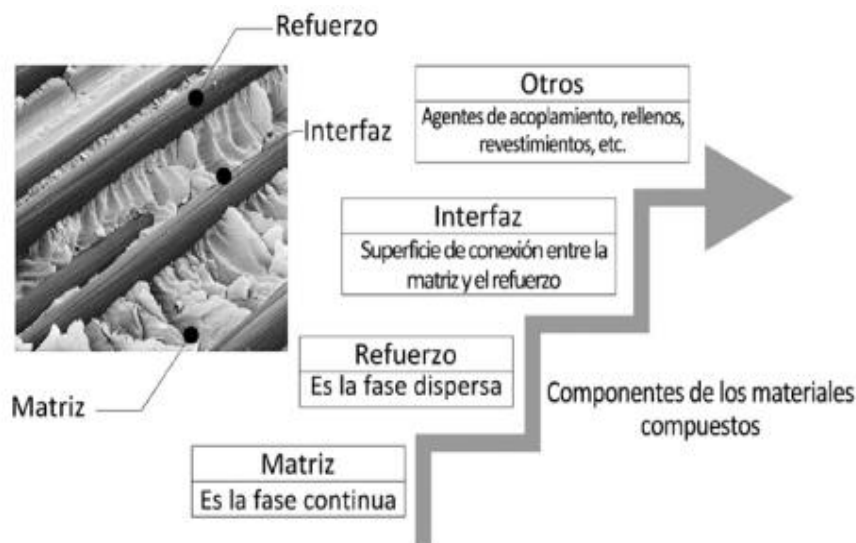


Figura 1.1 Componentes de un material compuesto.
(Guerrero, 2011 pág. 54)

En la **Figura 1.1** se describe específicamente los componentes de un material compuesto los cuales se mencionan como: matriz y refuerzo, la conexión de las superficies entre estos se la conoce como interfaz. Al mismo tiempo, pueden adicionarse agentes externos de acoplamiento, revestimiento y relleno, los cuales mejoran principalmente la superficie de la interfaz del composite.

1.8.1 MATRIZ

Es una fase en la cual el refuerzo del material queda “húmedo”. Los materiales que cumplen con este papel son materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas, con la excepción de los materiales cerámicos, la matriz a elegir no es tan rígido ni resistente como el material de refuerzo (Churruca, 2022).

Dichas funciones y propiedades de la matriz se describen:

- Define propiedades físicas y químicas.
- Preservar y ofrecerle unión.
- Transferir las cargas al refuerzo

- Proteger de posibles averías durante su elaboración y uso.
- Evitar la expansión de grietas en las fibras.
- Controla las propiedades eléctricas, químicas a altas temperaturas.

1.8.2 TIPOS DE MATRIZ

1.8.2.1 Compuestos de matriz metálica (CMM)

Los materiales metálicos más utilizados en la producción de MCs como matriz han sido el titanio, magnesio y aluminio. Los metales están compuestos con diferentes elementos con el fin optimizar las propiedades mecánicas y físicas, los tratamientos térmicos y mecánicos ayudan a determinar la microestructura de la matriz de un compuesto. Se utiliza la matriz metálica en materiales metálicos compuestos dúctiles y sustancialmente isotópicos (González Polvorosa, 2019)

1.8.2.2 Compuestos de matriz cerámica (CMC)

Los materiales cerámicos han tomado relevancia para las aplicaciones estructurales y funcionales de avanzada tecnología, debido a sus propiedades como son: baja densidad, buenas propiedades mecánicas y resistencia a elevadas temperaturas. La desventaja de estos compuestos es su fragilidad, por ello se combinan con diferentes materiales como son las fibras y partículas cerámicas o metálica, para así incrementar tanto su tenacidad y tenacidad a la fractura (Fornés Mengual, 2021)

1.9 RESINA EPOXI

Estas resinas se consideran del tipo termo fijadoras, se denomina así por el simple hecho de que no presentan reactivos al momento en que se someten a endurecimientos,

simultáneamente contienen decadencia al curar, contempla altos índices de resistencias tanto aislantes eléctricos como químicos obteniendo también altos índices de propiedades mecánicas y buena adherencia hacia otros materiales (Cousin et al., 2019)

Este tipo de resina dependerán del tipo de matriz a utilizarse ya que para este estudio se necesita una resina que tenga propiedades mecánicas sumamente altas, es decir, el tipo de propiedades mecánicas principales las cuales deberá contener resistencia a la tracción e impacto juntamente con el tipo de fibra a realizar el estudio y sus propiedades físicas y químicas.

En la **tabla 1.1** se observa una comparación de las propiedades de la resina poliéster, y la resina epóxica.

Tabla 1.1 Propiedades de las resinas

PROPIEDAD	POLIÉSTER INSATURADO	RESINA EPOXI
Densidad (gr/cm ³)	1.18 – 1.28	1.18 – 1.27
Alargamiento a la deformación (%)	≤3.5	5-9
Temperatura de fundido (°C)	Temp. Condiciones normales 180	Temp. Condiciones normales limite 170
Temperatura de ablandamiento	75-163	75-129
Propiedad inherente (%)	6.5-11 lineal entre 1.7 y 2.5	1-4
Contracción subsecuente (%)	Hasta 3.5	Ninguna

Fuente: ((*Propiedades Mecánicas de Resinas Compuestas Modificadas o No Con Poliácidos*, s/f, p. 3))

1.10 FIBRAS

Todos los tipos de fibra fueron y actualmente son usados de maneras distintas en todo ámbito laboral y es que son las principales para realizar varios productos como por ejemplo telas, artesanías, papel, etc. Realizando un estudio a fondo se logró descubrir la utilización de fibras para mejorar distintas piezas, es decir elevar las propiedades mecánicas con el fin

de crear piezas más duraderas a base de elementos compuestos fusionados con fibras naturales los cuales beneficiaran el medio ambiente ya que se podrá obtener un índice de contaminación menor.

1.11 CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS

Dentro de la clasificación de las fibras tenemos las fibras convencionales que de igual manera se clasifican en naturales y manufacturadas:

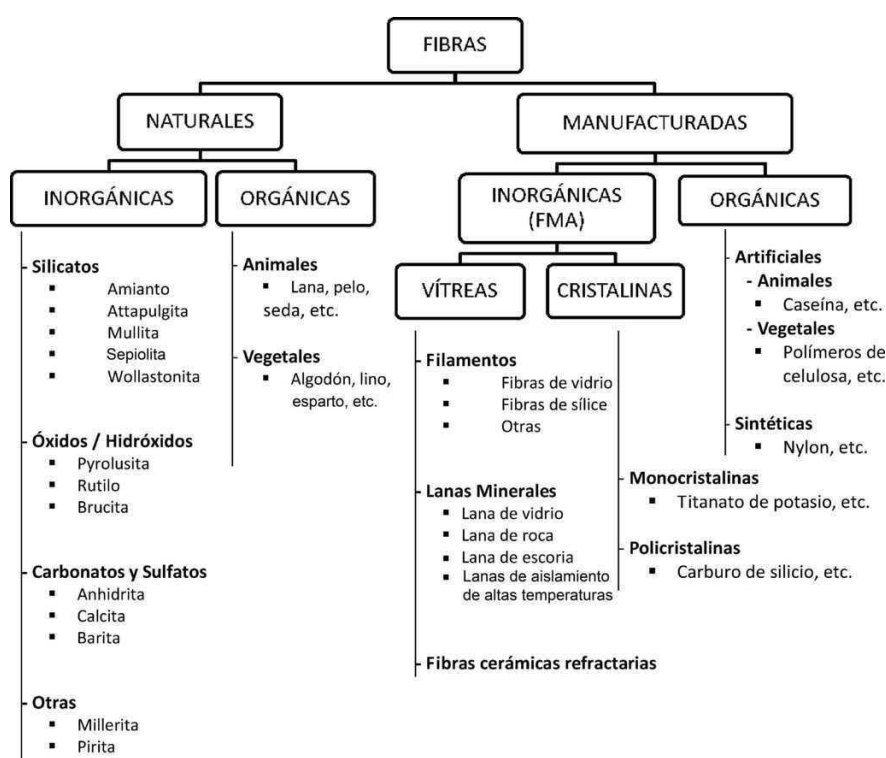


Figura 1.2 Clasificación de las fibras
(Calderón, 2017, pág. 41)

En la **Figura 1.2** se observa la clasificación general de las fibras, donde nos indican de donde provienen cada una de ellas y como están distribuidas según su origen.

1.12 FIBRAS NATURALES

Las fibras naturales son aquellas que se obtiene de a partir de animales, vegetales o minerales, las más utilizadas son las fibras vegetales ya que contienen alta disponibilidad y

consigo se renuevan de manera rápida en un indicie de tiempo corto en comparación de otro tipo de fibras. Este tipo de fibras se consideran fibras lignocelulósicas ya que obtienen una sustancia que se entrelaza la cual forma una pared celular de células vegetales, con lo cual consiguen altos índices de resistencia y durabilidad, este tipo de fibras se las encuentra en el medio ambiente siendo plantas, cultivos y árboles.

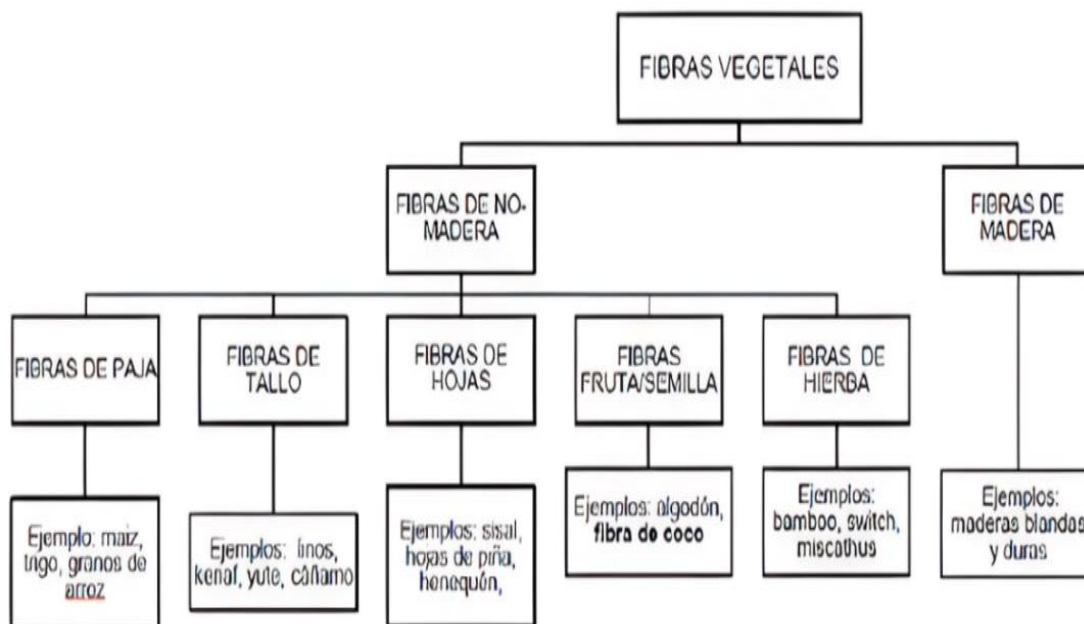


Figura 1.3 Clasificación de las fibras vegetales.
(Dávila, 2017, pág. 31)

En la **Figura 1.3** se observa la clasificación general de las fibras vegetales con sus respectivos ejemplos.

1.12.1 FIBRAS DE BAMBÚ

Existen diferentes tipos de caña guadua en la actualidad, muchas de ellas nativas en el Ecuador, entre ellas se dividen en el género *Neurolepis* que consta de 4300 metros de altitud, el cual está diseñado para realizar los techos de ciertas viviendas, siguiendo con el carrizo y la tunda los cuales aportan su material en construcciones de viviendas. Sin embargo, la caña guadua es uno de los materiales estrellas ya que contiene y consta de magnificas cualidades físico-mecánicas las cuales se requieren para la utilización de dichos componentes automotrices (Educación & de Posgrado, 2022).

1.12.2 PROPIEDADES MECÁNICAS Y QUÍMICAS DE LA FIBRA DE BAMBÚ

En la **Tabla 1.2** se detallan propiedades químicas como la celulosa, hemicelulosa y la lignina las cuales se las denomina polímeros fundamentales que componen y forman las plantas. La lignina conocida como un polímero natural, amorfo y tridimensional contiene una estructura compleja la cual ayuda a tener rigidez en las paredes celulares (Atúncar Vilela, 2022).

Tabla 1.2 Propiedades mecánicas y químicas del bambú.

Propiedades Mecánicas		Propiedades Químicas	(%)
Densidad(g/cm^3)	2.07	Celulosa	37 – 44
Módulo de elasticidad (MPa)	11.6 - 29	Hemicelulosa	13 – 20
Resistencia a la tracción (MPa)	611-720	Lignina	24 – 27
Elongación o fisuras (%)	3 - 4.5		

Fuente: (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a).

1.12.3 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE BAMBU

Las fibras de bambú se extraen del tallo de la planta con la finalidad de obtener fibras grandes y resistentes las cuales serán de gran beneficio para pruebas realizadas para ello se requiere de los siguientes pasos para la obtención de esta fibra:

- Se obtienen los tallos de bambú del medio en el que se encuentren.
- Se limpian los tallos con mucho cuidado ya que se requiere que se encuentren limpios.
- Se desojan los tallos para poder tener solo el material necesario.
- Se cortan los tallos en partes 8 partes iguales de las cuales proseguimos a raspar o rasgar cada parte con una herramienta corto punzante especialmente para este tipo de trabajos hasta que quede una pequeña fibra.
- Finalmente, una vez obtenida la fibra se deja secar y se agrupa donde en un lugar donde no esté expuesta al sol y a la humedad (Fabricación & Fibra, n.d.

1.13 REFUERZO CON FIBRAS

Guerrero et al. (2005) afirman: Dichos compuestos que esta reforzados con fibras contienen anisotropía lo que significa que los refuerzos cambiaran de eje geométrico y dependerán para que fueran determinadas, es por eso que se requiere la verificación en el módulo de Young que refiere la orientación del material ya que así se lograra obtener mayor o menor propiedades según el requerimiento del cual se necesite, variando formas y posicionamientos de la fibra y así poder aplicar mayores cargas. (p.62). Las fibras utilizadas para el refuerzo de un material compuesto contienen el diámetro de 2 a 10 μm y 50 cm longitud de igual manera ya dependerá de que tamaño necesitemos para las pruebas a realizar.

1.13.1 ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS EN MATERIALES COMPUESTOS

La orientación de las fibras es de vital importancia al realizar un material compuesto ya que este determinara las variables tanto en las características como las propiedades que tendrán las pruebas de los ensayos a realizarse.

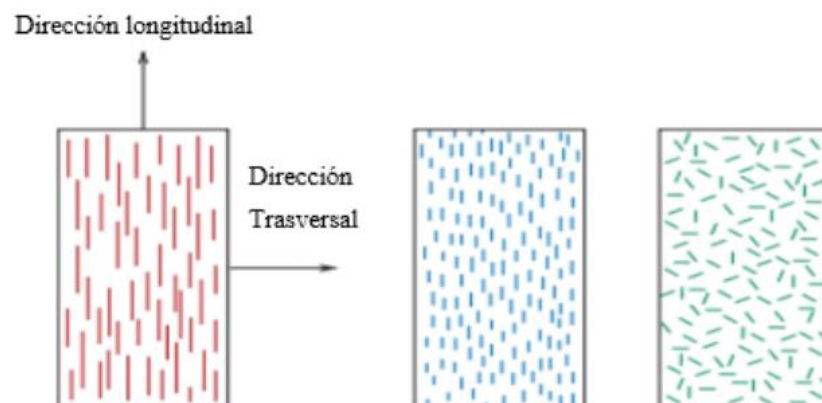


Figura 1.4 Orientación de las fibras
(Tinajero Moreano, 2018).

En la **Figura 1.4** se puede deducir la orientación de las fibras según sea el requerimiento en las cuales se clasifican en tres literales que son los siguiente:

- Literal a: continua y en un solo orden

- Literal b: Aleatorias y en un mismo orden
- Literal c: Unidireccionales y sin un mismo orden

1.13.2 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE LA FIBRA

Al momento de realizar ensayos las pruebas mecánicas a las que estará sometido el material compuesto dependiendo de la orientación de la fibra ya sea continua, aleatoria o unidireccionales también se pueden decir que influirá el grado al que se le aplicara la carga el cual transmitirá directamente a la fibra y la matriz de la fibra por lo que es de vital importancia mantener la unión de la matriz – fibra para que exista una unión correcta ya que al existir una transferencia de carga se formara una deformación cortante entre la matriz y la fibra.

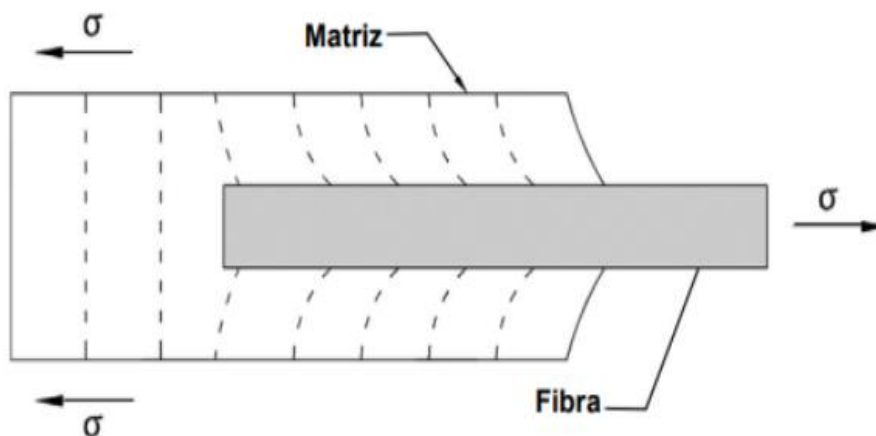


Figura 1.5 Deformación de un material
(Daniel et al., 2014).

En la presente **Figura 1.5** se da a conocer cómo se da la deformación de un material compuesto, el mismo que es sometido a fuerzas de tracción. De esta manera para lograr una longitud mínima (τ_c) entre la fibra y la matriz, para ello se requiere de algunas características como son (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a):

- Resistencia al impacto
- Diámetro de la fibra natural
- Esfuerzo de corte dispuesto

1.13.3 APLICACIÓN DE LA FIBRA DE BAMBU EN UNA MATRIZ POLIMÉRICA

En la actualidad existen muchos estudios en base a la elaboración de materiales compuestos por matrices poliméricas reforzados con fibras naturales, los cuales se los pone a prueba en ensayos de pruebas mecánicas por ejemplo ensayos de tracción, flexión e impacto, este tipo de pruebas son fundamentales para poder obtener resultados de las propiedades del material que se está utilizando en este caso las fibras de bambú y así poder usar de ser el caso en la industria automotriz (De & de Posgrado, n.d.).

1.14 ENSAYOS

Las pruebas mecánicas de ensayos realizadas al material compuesto serán en bases a las siguientes normas: ASTM D3039-00 de acuerdo al ensayo de flexión, ASTM D7643-07 de acuerdo al tracción y ASTM D5628-10 de acuerdo al de impacto izod, respectivamente (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a).

1.14.1 ENSAYO DE FLEXIÓN

Este tipo de ensayo se lo requiere cuando se necesita averiguar la resistencia del material que se quiera utilizar así también como las propiedades del material compuesto.

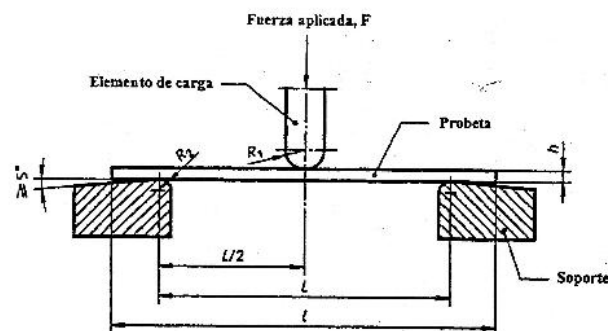


Figura 1.6 Esquema del ensayo de flexión
(Pruebas de Tracción de Materiales Compuestos, 2017, pág. 17.)

En la **Figura 1.6** se observa el ensayo el tipo de ensayos en 3 puntos con sus respectivas longitudes y cargas, dichas cargas se podrán observar en el interior e inferior y serán denominados esfuerzos a tracción.

1.14.2 ENSAYO DE TRACCIÓN

Se realiza para obtener la fuerza estática y resistencia que tiene un material, consiste en someter a una probeta normalizada a un esfuerzo axial de tracción que va creciendo lentamente hasta que se produce la rotura de este. En este tipo de ensayo se verificará a cada una de las probetas tanto la dureza como la resistencia del material compuesto, conjuntamente con el equipo necesario para la obtención de datos exactos, lo cuales serán sometidos a comparación (Ingeniería Civil Ensayo de Tracción Estática, s. f.).

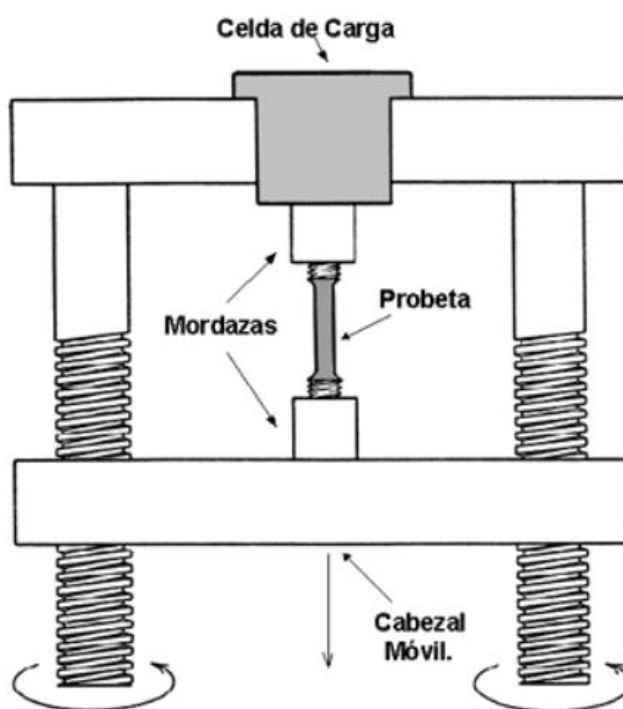


Figura 1.7 Esquema del ensayo de tracción
(Ingeniería Civil Ensayo de Tracción Estática, 2014, pág. 53).

En la **Figura 1.7** se verificara en que posición estará la probeta en la máquina de tracción y como se puede observar cada una de las mordazas son las encargadas de realizar una debida sujeción a cada una de las probetas con el fin de obtener un mejor agarre y así evitar fallas por parte de la máquina, esto nos permite obtener valores reales los cuales serán debidamente

estudiados para cada probeta y así se obtendrá las mejores probetas con los mejores resultados, dichos resultados estarán en la figura carga vs. Desplazamiento donde van a contener variables numéricas las cuales serán estudiadas e investigadas según las propiedades y el comportamiento del material.

1.14.3 ENSAYO DE IMPACTO

Se utilizan para verificar la tenacidad de un material, estas pruebas brindan información sobre el fallo de materiales que están expuestos a cargas breves y a temperaturas variables. Los elementos que realizan este tipo de ensayos son péndulos de impacto o máquinas de ensayos de caída libre (Ortega, s. f.).

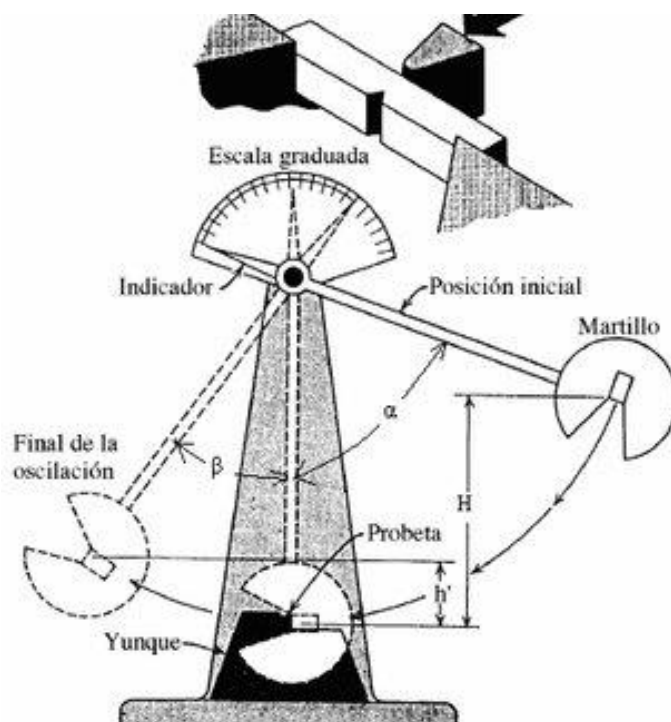


Figura 1.8 Esquema del ensayo de impacto
(Ortega, 2018, pág. 29.)

En la **Figura 1.8** se verificará la posición de la probeta en la máquina de impacto, se dejara caer una masa sobre la probeta para luego verificar si presenta alguna fractura en las dos caras de la probeta.

En la **Tabla 1.3** se puede observar las especificaciones necesarias para realizar los ensayos antes mencionados.

Tabla 1.3 Especificaciones de los ensayos.

ENSAYO	NORMATIVA	ESPECIFICACIONES
Tracción	ASTM D3039-00	4 probetas. Dimensiones de probetas: - Longitud: 255 mm. - Ancho: 27 +/-1% mm. - Espesor: 3 +/-4% mm.
Flexión	ASTM D7264-07	4 probetas. Dimensiones de probetas: - Longitud: 165 mm. - Ancho: 14 +/-1% mm. - Espesor: 5 +/-4% mm.
Impacto	ASTM D5628-10	4 probetas. Dimensiones de probetas: - Longitud: 59 mm. - Ancho: 59 +/-1% mm. - Espesor: 7 +/-4% mm.

Fuente: (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a).

1.15 ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO

Para la fabricación del material compuesto se debe tener en cuenta la selección del proceso para diferentes requerimientos, para esto se debe escoger un método de procesamiento adecuado para la obtención ya que representa el 50 y 60% del costo principal de producción.

Los parámetros por considerar en esta selección dependen de: el tipo de matriz, aplicaciones del producto terminado y el tipo de geometría del refuerzo (Quiroz Valencia & Castro Amaguaña, 2018).

1.16 PROCESOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS

Es imprescindible conocer las condiciones del proceso de obtención de materiales compuestos, revisar las ventajas y limitaciones de cada técnica de procesamiento. Es por eso

que se requiere un estudio amplio para realizar una correcta obtención de materiales compuestos, ya que cada uno de ellos tendrá distintas características que serán de vital importancia para cada uno de los materiales, estos definirán sus comportamientos ante pruebas o ensayos en las cuales determinara si serán convenientes para la realización de piezas automotrices, las cuales estarán sometidas a fuerzas físicas externas.

1.16.1 ESTRATIFICACIÓN MANUAL

Es una de las técnicas más sencillas y antigua para la obtención de materiales compuestos, el procesamiento de las resinas termoestables es fácil y con una buena impregnación de refuerzo como la fibra natural. Las matrices utilizadas comúnmente son: resinas epóxicas, poliésteres, y fenólicas.

1.16.2 MOLDEO POR COMPRESIÓN

Es derivado del procesamiento de estampado de placas metálicas juntamente con elementos de sujeción como pernos y tuercas del tipo mariposa, este proceso ha sido utilizado ampliamente y perfeccionado ya que se tiene conocimiento de este proceso por años y ha logrado tener gran experiencia a lo largo de los años. Los moldes utilizados son del tipo macho y hembra, así la presión es fácilmente aplicada en los moldes que tienen un diseño simple.

1.17 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE UN MATERIAL COMPUESTO

Dentro de la elaboración de un material compuesto se cuenta con distintas etapas las cuales a continuación se detallarán para un mejor conocimiento. Para elaborar un material compuesto se tiene en cuenta las siguientes etapas: impregnación, laminado, consolidación y solidificación (Morales et al., 2019).

1.17.1 IMPREGNACIÓN

Aquí tanto la resina como la fibra se mezclan para formar una sola lámina con el fin de obtener una compactación alta ya que al momento de compactar no se obtenga desperfectos o en si burbujas de aire, la intención en este paso es que toda la resina se desplace alrededor de toda la fibra cubriéndola y envolviéndola en resina, esto para un mejor acabado ya que no se debe tener fibra fuera de la resina.

1.17.2 LAMINADO

La intención de este paso es colocar fibras y resina o productos pre impregnados, para lograr el diseño deseado. Tanto la orientación de las fibras como la secuencia del laminado dependen de una buena estructura del compuesto.

1.17.3 SOLIDIFICACIÓN

Este es el paso final pueden tardar menos de un minuto para termoplásticos y 120 minutos para termoestables. Cuento menos sea el tiempo de solidificación, mayor será la tasa de producción que alcanzará.

1.18 STATGRAPHICS 19-XG64

El programa Statgraphics 19-XG64 es un software diseñado para el análisis estadístico de datos. Con la aplicación se puede realizar un análisis descriptivo de una o varias variables dependiendo el tipo de trabajo que será analizado, utiliza gráficos para una mejor explicación de distribución o calculando las medidas características. Se puede obtener datos exactos los cuales serán utilizados para la representación de trabajo que según se esté realizando en cada parámetro. Con este programa se verificaran datos técnico como hipótesis los cuales son utilizados en cualquier tipo de documentos ya sean tesis de grado o documentos pequeños, ya que se adapta a cualquier tipo de experimento al que se requiera utilizar Presenta diversas

y extensas funciones tales como: cálculo de intervalos de confianza, contrastes de hipótesis, análisis de regresión, análisis multivariantes, así como diversas técnicas aplicadas en Control de Calidad(MANUAL DE STATGRAPHICS I. INTRODUCCIÓN Y MANEJO DE DATOS, p. 24).

1.18.1 TRABAJAR CON DATOS EN STATGRAPHICS

Los datos que requieren analizarse mediante Statgraphics se puede introducir directamente desde el teclado en la ventana de datos. Los datos se agrupan formando una o más variables (cada una de las columnas de la hoja de cálculo de constituye la ventana de datos).

1.18.2 RESUMEN ESTADÍSTICO

El resumen estadístico (SUMMARY STATISTICS) nos permite reproducir o analizar hasta 19 valores numéricos característicos del conjunto de datos, por lo tanto, se puede obtener simultáneamente para una o varias variables, para varias variables se entra en la opción de análisis múltiple de variables.

1.18.3 TABLA DE FRECUENCIAS

La tabla de frecuencias nos permite resumir tanto el resumen estadístico como la distribución de los datos contenidos en una variable. En el menú de tablas del análisis descriptivo se activa la opción de tablas de frecuencia, como resultado del análisis Statgraphcis crea una serie intervalos que constituyen una partición del rango de los datos estudiados, en la tabla se indicara la información del número de datos que tienen su valor dentro de cada intervalo. El número de observaciones de cada intervalo será la frecuencia absoluta, mientras que el porcentaje de las observaciones se llama la frecuencia relativa(Bernabeu, n.d.).

1.18.4 HISTOGRAMA Y PERCENTILES

Los histogramas de frecuencias son las representaciones gráficas de los datos de las tablas de frecuencias estudiadas con anterioridad, en el cual a cada clase en que se divide el rango

de los datos, se asigna una barra cuya altura es igual a la frecuencia de aparición de sus elementos.

Los percentiles de una o varias variables suministran información de cómo están distribuidos los datos a estudiar. El percentil de orden k de una distribución es un valor que es mayor que el $k\%$ a los valores que toma la variable. Los percentiles para tomar en cuenta son los percentiles 25 (cuartil inferior), 50 (mediana) y 75 (cuartil superior).

1.18.5 DIAGRAMA DE CAJA

El diagrama de la caja es una representación gráfica de una variable en la que a partir de sus percentiles se obtiene información sobre la distribución de sus observaciones. El diagrama de la caja se constituye a partir de los percentiles 25%, 50% (mediana) y 75 %. Como medida de la dispersión se utiliza el rango intercuartílico (percentil 75 % - percentil 25%), si se aleja de los percentiles 25 o 75% se considera un rango atípico.

1.18.6 DIAGRAMA DE DISPERSIÓN O SCATTERPLOTS

Los gráficos de dispersión proporcionan información acerca de la distribución de una variable, para esta grafica son útiles los gráficos XY, ya que permiten analizar la relación entre dos variables. Como resultado se obtiene un diagrama el cual permite observar la distribución de ambas variables, y por tanto su relación lineal(MANUAL DE STATGRAPHICS I. INTRODUCCIÓN Y MANEJO DE DATOS, p. 22).

CAPÍTULO II

2. MATERIALES Y METODOS



Figura 2.1 Flujograma materiales y métodos

2.1 MATERIALES

A continuación, se detalla los materiales utilizados en cada uno de los pasos para la fabricación del material compuesto el cual tiene dos principales materiales que son indispensables para la correcta construcción del prototipo que son la resina epóxica y la fibra de bambú.

2.1.1 FIBRA DE BAMBÚ

La fibra de bambú se utilizará como refuerzo principal del material compuesto junto con la matriz polimérica.



Figura 2.2 Flujograma materiales y métodos

2.1.2 RESINA EPOXI



Figura 2.2 Resina epoxi

En la **figura 2.2** se observa la resina epoxi (CRETONBOND 52YN) es una resina líquida de refuerzo y unión estructural de elementos de 2 componentes: base y catalizador. Una de las características más relevantes es la excelente resistencia mecánica (no se contrae) y es el material principal e indispensable para la fabricación del prototipo.

2.1.3 CERA DESMOLDANTE



Figura 2.3 Cera desmoldante

En la **figura 2.3** se utilizó la cera desmoldante para aplicar sobre los moldes con la finalidad de separar las probetas ya que produce un proceso de saponificación lo que facilita el desmolde evitando fallas en las probetas.

2.1.4 CATALIZADOR



Figura 2.4 Catalizador

En la **figura 2.4** se observa el catalizador es un peróxido orgánico que al ser mezclado con la resina epoxi produce una reacción que cambiara su estructura o estado líquido a sólido, logrando curar la mezcla de fibra de bambú con resina epóxica.

2.1.5 ACELERADOR

Este producto conocido octoato de cobalto, se utiliza junto con el catalizador y permite variar la velocidad de curado o secado de la resina epóxica.

2.2 DISEÑO DE LAS PROBETAS

La fabricación de las probetas de tracción, flexión e impacto izod se realizó acatando las normativas ASTM.

2.2.1 PROBETA DE TRACCIÓN

Según las normativas las probetas de tracción deben ser fabricadas con las siguientes dimensiones:

- Longitud: 250 mm.
- Ancho: 25 mm.
- Espesor: 2.5 mm

Se observa las dimensiones de las probetas de tracción de acuerdo con la normativa ASTM D3039-00.

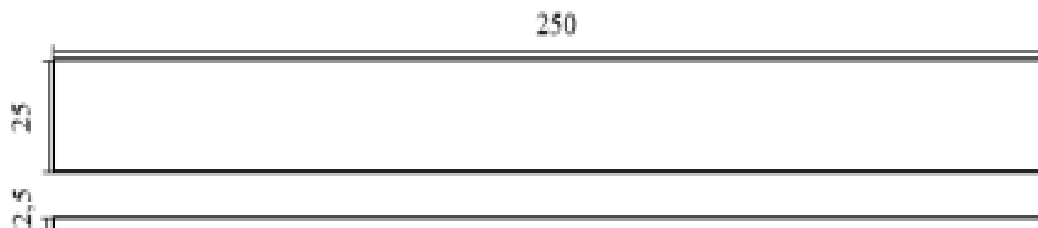


Figura 2.5 Dimensiones probeta de tracción

2.2.2 PROBETA DE FLEXIÓN

Según las normativas las probetas de flexión deben ser fabricadas con las siguientes dimensiones:

Se observa las dimensiones de las probetas de flexión de acuerdo con la normativa D7264-07.

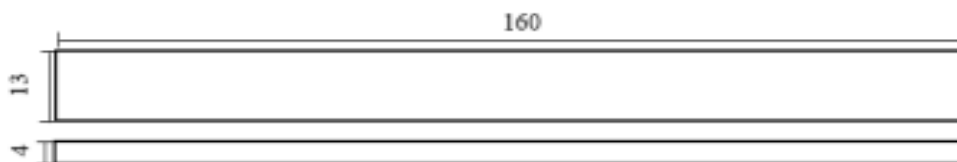


Figura 2.6 Dimensiones probeta de flexión

2.2.3 PROBETAS DE IMPACTO IZOD

Según las normativas las probetas de impacto izod deben ser fabricadas con las siguientes dimensiones:

- Longitud: 58 a 60 mm.
- Ancho: 58 a 60 mm.
- Espesor: 4 a 6 mm.

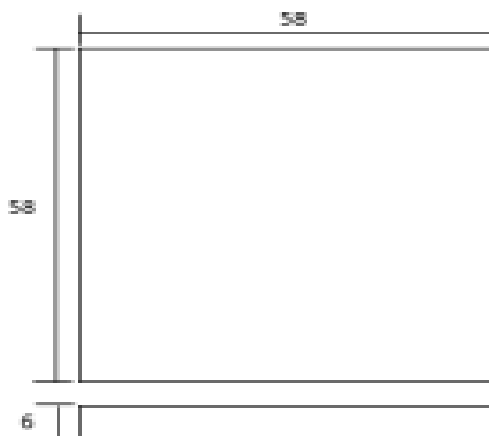


Figura 2.7 Dimensiones probeta de impacto izod

En la **Figura 2.4**, se verifica cada dimensión de las probetas de impacto de acuerdo con la normativa. Se realizaron en total 48 probetas, de las cuales 16 probetas se destinaron para el ensayo de tracción, 16 para para el ensayo de flexión, 16 probetas para el ensayo de impacto, cada probeta tiene diferente orientación y fracción volumétrica (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a).

En la **Tabla 2.1** se observa el tipo de ensayo, la cantidad de probetas que se realizaron con su respectiva normativa, porcentaje y la disposición de capas, esto con el fin de realizar las respectivas verificaciones al momento de realizar el respectivo conteo de estas.

Tabla 2.1 Datos de los ensayos y probetas.

PROBETAS	NORMA ASTM	FIBRA DE BAMBÚ	RESINA EPÓXICA	DISPOSICIÓN DE CAPAS	CANTIDAD
Tracción 1	D3039-00	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
Tracción 2	D3039-00	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
Tracción 3	D3039-00	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
Tracción 4	D3039-00	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
Flexión 1	D7264-07	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
Flexión 2	D7264-07	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
Flexión 3	D7264-07	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
Flexión 4	D7264-07	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
Impacto 1	D5628-10	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
Impacto 2	D5628-10	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
Impacto 3	D5628-10	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
Impacto 4	D5628-10	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
TOTAL					48

2.3 CÁLCULOS

Para calcular la cantidad de masa tanto de la fibra de bambú como la resina epoxi se tomó la siguiente ecuación de densidad detallada a continuación:

$$\rho = m/v \quad [2.1]$$

Despejando la masa de la ecuación 3.1, se obtuvo:

$$m = \rho * v \quad [2.2]$$

Donde:

- ρ : densidad del material.
- m: cantidad de masa.
- v: volumen de la fracción volumétrica

Datos conocidos:

Densidades

- ρ bambú = 1,40 g/cm³
- ρ resina = 1,10 g/cm³

2.3.1 CÁLCULOS PARA LAS PROBETAS DE TRACCIÓN

Se procede a realizar el cálculo de la masa total de la fibra de bambú con los datos conocidos para las probetas de tracción.

El volumen total de cada probeta de tracción es de 17,19 cm³

El número de probetas por cada fracción volumétrica y tipo de fibra son:

- 10 probetas con fracción volumétrica al 75% refuerzo que corresponde a $12,89 \text{ cm}^3$
- 10 probetas con fracción volumétrica al 60% refuerzo que corresponde a $10,31 \text{ cm}^3$

2.3.1.1 La masa de la fibra de bambú al 75% para las 10 probetas es:

Datos:

$$\rho = 1,40 \text{ g/ cm}^3$$

$$v = 12,89 \text{ cm}^3$$

$$m = 1,40 \text{ g/ cm}^3 * 12,89 \text{ cm}^3$$

$$m = 18,04 \text{ g}$$

$$m (1) = 18,04 \text{ g} * 10$$

$$m (1) = 180,46 \text{ g}$$

Donde:

m (1) = masa total de todas las probetas a tracción del grupo 1 y 2

2.3.1.2 La masa de la fibra de bambú al 60% para las 10 probetas es:

Datos:

$$\rho = 1,40 \text{ g/ cm}^3$$

$$v = 10,31 \text{ cm}^3$$

$$m = 1,40 \text{ g/ cm}^3 * 10,31 \text{ cm}^3$$

$$m = 14,43 \text{ g}$$

$$m (2) = 14,43 \text{ g} * 10$$

$$m (2) = 144,34 \text{ g}$$

Donde:

m (2) = masa total de todas las probetas a tracción del grupo 3 y 4

2.3.2 CÁLCULOS PARA LAS PROBETAS DE FLEXIÓN

Se procede a realizar el cálculo de la masa total de la fibra de bambú con los datos conocidos para las probetas de flexión.

El volumen total de cada probeta de flexión es de $8,15 \text{ cm}^3$

El número de probetas por cada fracción volumétrica y tipo de fibra son:

- 10 probetas con fracción volumétrica al 75% refuerzo que corresponde a $6,11 \text{ cm}^3$
- 10 probetas con fracción volumétrica al 60% refuerzo que corresponde a $4,89 \text{ cm}^3$

2.3.2.1 La masa de la fibra de bambú al 75% para las 10 probetas es:

Datos:

$$\rho = 1,40 \text{ g/ cm}^3$$

$$v = 6,11 \text{ cm}^3$$

$$m = 1,40 \text{ g/ cm}^3 * 6,11 \text{ cm}^3$$

$$m = 8,55 \text{ g}$$

$$m (3) = 8,55 \text{ g} * 10$$

$$m (3) = 85,5 \text{ g}$$

Donde:

$m (3)$ = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 1 y 2

2.3.2.2 La masa de la fibra de bambú al 60% para las 10 probetas es:

Datos:

$$\rho = 1,40 \text{ g/ cm}^3$$

$$v = 4,89 \text{ cm}^3$$

$$m = 1,40 \text{ g/cm}^3 * 4,89 \text{ cm}^3$$

$$m = 6,84 \text{ g}$$

$$m (4) = 6,84 \text{ g} * 10$$

$$m (4) = 68,4 \text{ g}$$

Donde:

$m (4)$ = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 3 y 4

2.3.3 CÁLCULOS PARA LAS PROBETAS DE IMPACTO

Se procede a realizar el cálculo de la masa total de la fibra de bambú con los datos conocidos para las probetas de impacto.

El volumen total de cada probeta de impacto es de $19,7 \text{ cm}^3$

El número de probetas por cada fracción volumétrica y tipo de fibra son:

- 10 probetas con fracción volumétrica al 75% refuerzo que corresponde a $14,77 \text{ cm}^3$
- 10 probetas con fracción volumétrica al 60% refuerzo que corresponde a $11,82 \text{ cm}^3$

2.3.3.1 La masa de la fibra de bambú al 75% para las 10 probetas es:

Datos:

$$\rho = 1,40 \text{ g/cm}^3$$

$$v = 14,77 \text{ cm}^3$$

$$m = 1,40 \text{ g/cm}^3 * 14,77 \text{ cm}^3$$

$$m = 20,67 \text{ g}$$

$$m (5) = 20,67 \text{ g} * 10$$

$$m (5) = 206,7 \text{ g}$$

Donde:

$m(5)$ = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 1 y 2

2.3.3.2 La masa de la fibra de bambú al 60% para las 10 probetas es:

Datos:

$$\rho = 1,40 \text{ g/cm}^3$$

$$v = 11,82 \text{ cm}^3$$

$$m = 1,40 \text{ g/cm}^3 * 11,82 \text{ cm}^3$$

$$m = 16,54 \text{ g}$$

$$m(6) = 16,54 \text{ g} * 10$$

$$m(6) = 165,4 \text{ g}$$

Donde:

$m(6)$ = masa total de todas las probetas a flexión del grupo 3 y 4

En la **Tabla 2.2** se observa el total de fibra de bambú utilizada en la fabricación de probetas.

Tabla 2.2 Medida total de la fibra en gramos para la fabricación de probetas

FIBRA	TOTAL (G)
Bambú	850,8

2.4 OBTENCIÓN DE LA FIBRA DE BAMBÚ

2.4.1 FIBRA DE BAMBÚ

Como ya se mencionó anteriormente la fibra se extrajo directamente del tallo del bambú, con la ayuda de los comerciantes de estas fibras quienes realizaron el respectivo deshilachado con máquinas necesarias logrando así obtener una fibra delgada y proporcional siendo de fácil manipulación para la realización de probetas con la respectiva resina.



Figura 2.8 Fibra de Bambú

En la **Figura 2.5** se puede observar la fibra de bambú deshilachada uniformemente.

2.4.2 EXTRACCIÓN DE LA FIBRA DE BAMBÚ

Para realizar la extracción de la fibra se requiere de materiales cortopunzantes como cuchillos esto con el fin de realizar cortes parejos en el tallo, empezando por un corte en la mitad del tallo y seguido de otro corte perpendicular al primer corte, después se toma una cuarta parte del tallo y se le realiza otro corte, esto con el fin de obtener un corte delgado del que se comienza a deshilachar hebra por hebra logrando obtener las fibras con cortes parejos y proporcionales.



Figura 2.6 Extracción de la fibra de bambú

En la **Figura 2.6** se observa el procedimiento que se requiere para deshilar la fibra de bambú.

2.5 CURADO DE LA RESINA EPÓXICA

Se conoce también como el ciclo de polimerización o más bien conocido como curado de la resina, en este proceso intervienen variables como el tipo de resina empleada, la temperatura ambiente ya que algunas de estas resinas no logran curarse a temperaturas menores de 150°C, las porciones de catalizador conocido también como mek peróxido y acelerador u octato de cobalto, debido a que si se obtiene una mezcla mayor la resina esta tendrá menos tiempo de gelificación, y gracias a este proceso las sustancias líquidas se convertirán en sustancias sólidas.

En el transcurso del proceso de curado de la resina se obtendrá una reacción química más conocida como una reacción exotérmica logrando liberar el calor debido a la reacción que ocurre los componentes alcanzando temperaturas entre los 140 a 150°C en un lapso (Álvarez, 2014, p. 39)

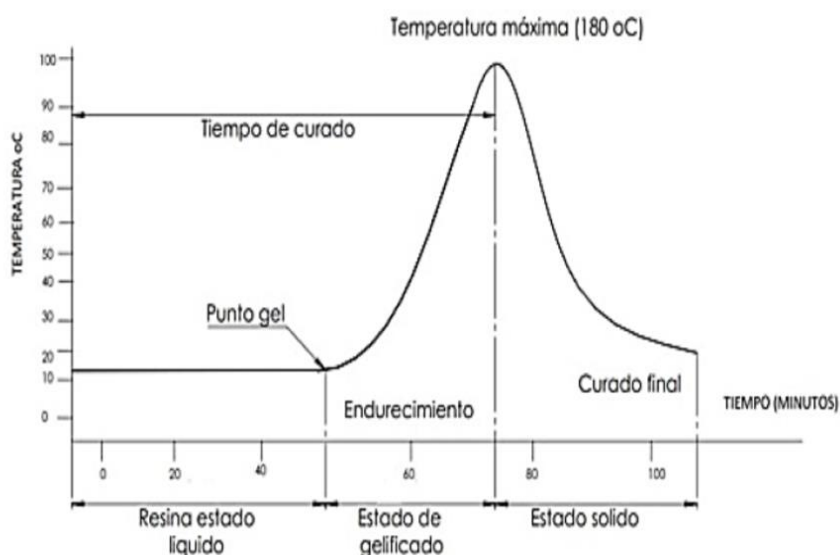


Figura 2.9 Curado de la resina epóxica
Tixe Subina & Vistín Bastidas, 2015, pág. 26

En la **Figura 2.7** se puede observar el procedimiento de curación de la resina epóxica en base a la temperatura vs el tiempo que se requerirá para el curado.

2.6 FABRICACION DE LAS PROBETAS

2.6.1 CONSTRUCCION DE LOS PLANOS DE LOS MOLDES

Para la construcción y fabricación de las probetas de un material compuesto se requiere de un molde el cual estará diseñado para resistir temperaturas mayores a los 150°C, por el curado de la resina que se va a realizar juntamente con algunos agentes químicos los cuales hacen que estas temperaturas varíen, es por eso que se recurrió a la utilización de tableros de madera ya que este obtiene mayores resistencias, bajo coste y un molde preciso para la construcción de probetas.

Para poder obtener un número exacto de probetas, como primer paso se realizará la distribución de los tableros con las respectivas medidas y normas para cada probeta, para los cuales se dibujó tres planos para probetas de flexión, tracción e impacto, dichos planos fueron bosquejados en el programa AutoCAD esto debido a que es un programa especial para este tipo de documentos logrando resultados rápidos y eficientes para el desarrollo de bosquejos.

A continuación, se muestran las divisiones de los planos en los tableros con sus respectivas dimensiones, en cada tablero se manifiesta dimensiones que serán utilizadas con respecto a la norma elegida, de igual manera se realizará con los respectivos espacios para cada uno de los agujeros, los cuales será de vital importancia para poder realizar las perforaciones con el fin de lograr comprimir de manera uniforme el material compuesto.

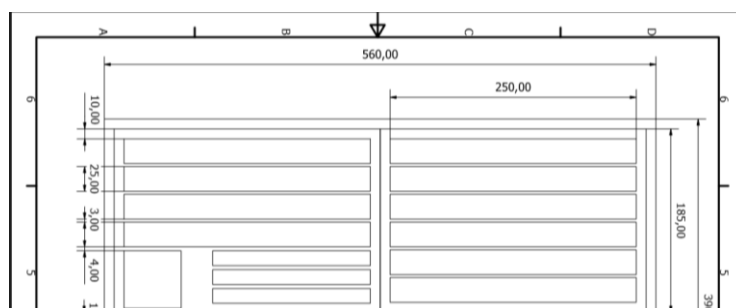


Figura 2.10 Plano de tablero de las probetas de tracción y flexión

En la **Figura 2.10**, se puede observar diez probetas de tracción juntamente con tres probetas de flexión y una probeta de impacto con sus respectivas medidas, logrando obtener proporciones iguales para la respectiva perforación y corte.

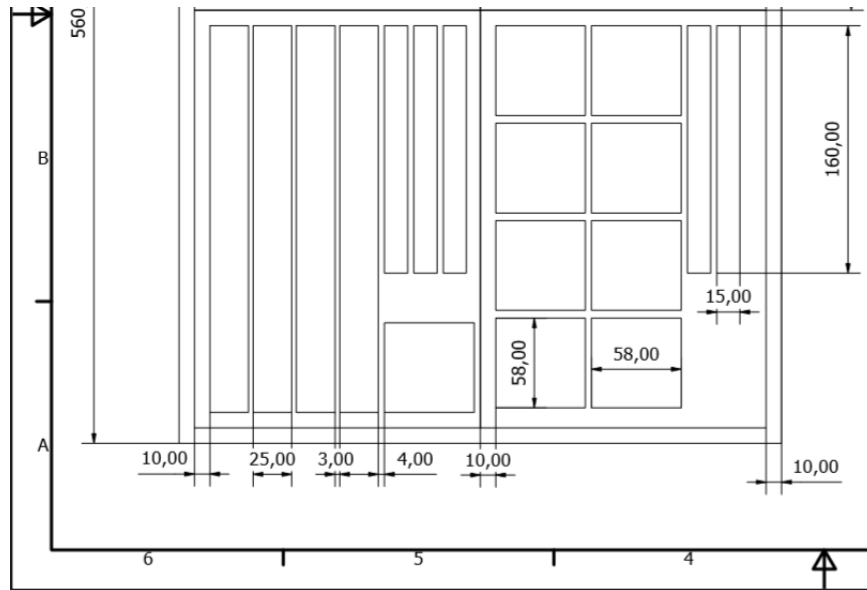


Figura 2.11 Plano de tablero de las probetas de tracción, flexión e impacto

En la **Figura 2.11**, se logra observar el resto del tablero obteniendo cuatro probetas de tracción juntamente con cinco probetas de flexión y ocho probetas de impacto formando la parte izquierda del tablero.

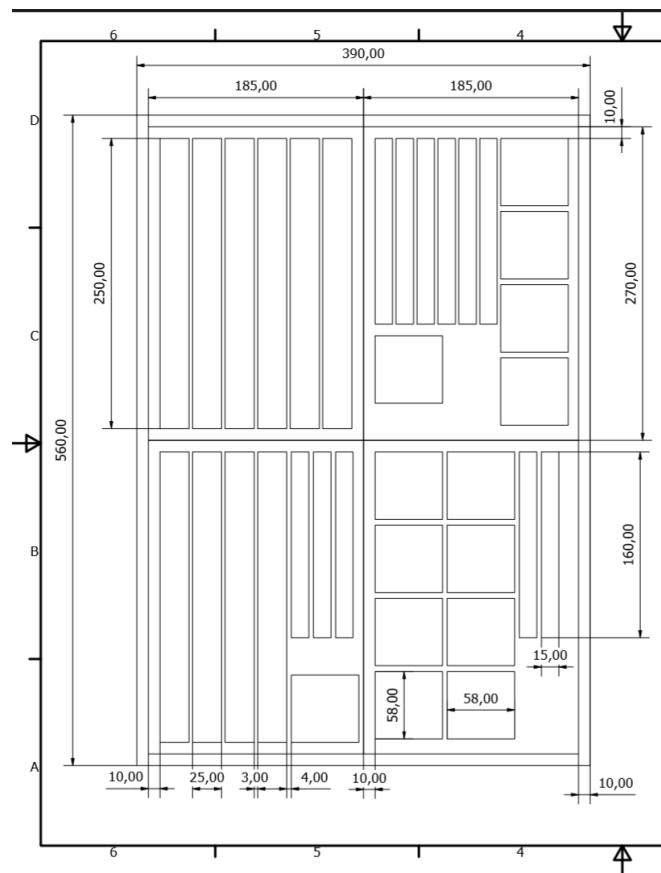


Figura 2.12 Plano completo de tablero de las probetas de tracción, flexión e impacto

En la **Figura 2.12**, se puede observar todos los tableros en los cuales están distribuidos perfectamente el número de probetas a utilizar y de manera minuciosa el espaciado para las perforaciones y los cortes que se van a realizar una vez que el material compuesto este debidamente curado y listo para proceder a desmoldar.

Según la normativa ASTM se debe tener un mínimo de 4 probetas y un máximo de 5 probetas por cada prueba o ensayo (tracción, flexión e impacto), dicho esto se seleccionó minuciosamente las 4 mejores probetas obtenidas con los mejores resultados de cada uno de los tableros, en total se logró obtener 60 probetas de las cuales 16 probetas se tomaron en cuenta para la realización de los ensayos.

2.6.2 ELABORACIÓN DE LOS MOLDES

Con los resultados anteriores de los tableros se hizo la adquisición de seis tableros en los cuales cada tablero tiene las siguientes medidas: 590mm de largo por 390mm de ancho y 12 mm de espesor de los cuales están diseñados para cada una de las probetas.

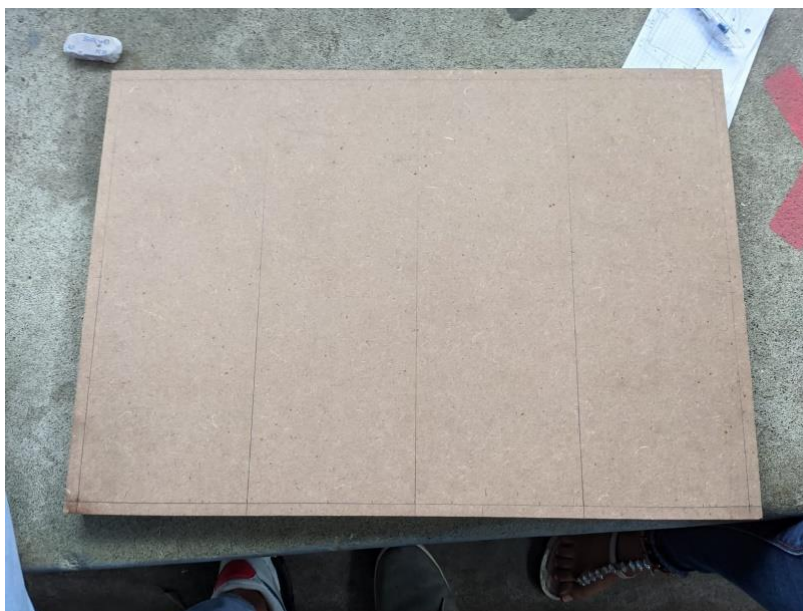


Figura 2.13 Molde de madera para elaboración de probetas

En la **Figura 2.13**, se verifica el tipo de molde de madera que será utilizado para cada una de las probetas, verificando que la madera sea resistente para una mejor compactación.



Figura 2.14 Distribución de cada una de las probetas

En la **Figura 2.14**, posteriormente se realizó la distribución de las probetas en cada uno de los tableros dibujando las medidas para la realización de los agujeros.

2.6.3 PERFORACIÓN EN LOS TABLEROS

En cada tablero se realizó 15 perforaciones, para proceder a colocar pernos de 6mm de diámetro en las dos hojas del tablero simulando al efecto sánduche, esto con el fin de evitar la formación de burbujas de aire, en el material compuesto.



Figura 2.15 Perforación de tableros

En la **Figura 2.15** se puede observar la perforación realizada a cada uno de los tableros, con el fin de colocar los pernos de diámetro de 6mm y poder comprimir el material de la manera correcta.

2.6.4 APLICACIÓN DE LA CERA DESMOLDANTE

Una vez realizada las perforaciones con su debido espaciado se procedió a realizar un limpiado del tablero con lija y pañuelos, esto con el fin de pulir cualquier impureza que se encuentren en los tableros para así evitar pasatiempos al momento de realizar el desmolde del material compuesto, seguido de la aplicación de la cera desmoldante en el tablero con el uso de guantes y esponjas, las cuales dan un perfecto barrido y esparcido de la cera en el tablero, esta cera se deja secar de 3 a 4 horas para proseguir a la mezcla del material compuesto.



Figura 2.16 Aplicación de cera desmoldante en los tableros

En la **Figura 2.16** se puede observar la aplicación de la cera con los respectivos implementos de seguridad y esponjas para un esparcido uniforme sin dejar grumos ni impurezas.

2.6.5 TIEMPO DE CURADO

Aproximadamente se dejó un curado o secado del material compuesto de los tableros se los produjo durante 20 días aproximadamente a condiciones ambientales normales debido a que es la temperatura ideal para el curado de este tipo de resina epoxi, para seguir el proceso de despeado o desmolde del material compuesto.

2.6.6 DESMOLDE

Seguido del tiempo de curado se despegó el material compuesto de los tableros de manera uniforme eso si con muchísimo cuidado evitando tirar muy fuerte ya que podría haber rupturas del material, para ello primero se utilizó una amoladora para pulir todos los extremos del tablero eliminando los residuos e impurezas de los materiales para así evitar que el material sufra de una ruptura o tenga impurezas, luego se aflojó los pernos de los tableros, con el uso de una espátula y unos golpes suaves y uniformes consiguiendo separar la fibra de bambú con resina epoxica.



Figura 2.17 Desmolde del material compuesto

En la **Figura 2.17**, se verifica el respectivo despegado del material compuesto de la composición de resina epoxi una capa de fibra de bambú de dos capas, se puede observar que se tiene una compactación correcta con diminutas imperfecciones.

2.6.7 OBTENCIÓN DE LAS PROBETAS

Después de correcto desmolde se procede a realizar el respectivo corte de las probetas, se empezó a cortar con una herramienta mecánica de corte conocida como sierra pero presentó imperfecciones y consigo un desgaste en el material por lo que se procedió a realizar el corte mediante laser con sus respectivas dimensiones.



Figura 2.18 Probetas de tracción, flexión e impacto

En la **Figura 2.18**, se observa las probetas ya realizadas su respectivo corte y clasificación por su respectivo ensayo, se realizó una especie de lijado para obtener un mejor acabado

superficial libre de imperfecciones. Esto se realizó para que exista mayor precisión durante el ensayo.

2.7 CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

El material compuesto fue expuesto a tres tipos de ensayos a tracción, flexión e impacto, los ensayos a tracción y flexión se enviaron al Centro de Fomento Productivo Metal Mecánico Carrocero de la provincia de Tungurahua a sus respectivos laboratorios, mientras que el ensayo de impacto se realizó en el laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato.

2.7.1 ENSAYO DE LAS PROBETAS DE TRACCIÓN

Los ensayos de las probetas de tracción se realizaron en la máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN, para ello se necesitó cinco probetas con dimensiones de (250x25x2.5) mm que es lo que designa la normativa ASTM D3039-00.

Para determinar las propiedades mecánicas de las 4 probetas expuestas a tracción se analizó el esfuerzo máximo, el porcentaje de elongación y el módulo de elasticidad con los datos obtenidos del equipo.

2.7.1.1 Esfuerzo máximo de tracción

Para calcular el esfuerzo máximo de tracción de las cinco probetas ensayadas se utilizó la siguiente ecuación.

$$\sigma_{max}=F/A \quad [2.3]$$

Donde:

- σ_{max} = Esfuerzo máximo (MPa).

- F =Carga máxima (N)
- A =área en la sección transversal (mm^2)

2.7.2.1 Porcentaje de elongación

Para realizar el cálculo del porcentaje de elongación a tracción del material compuesto se utilizó la siguiente ecuación con el fin de obtener datos reales para su respectivo calculo y consigo un resultado verídico:

$$\varepsilon = \delta / Lg \quad [2.4]$$

Donde:

ε = Porcentaje de deformación.

δ = Desplazamiento por parte del extensómetro (mm)

Lg = Longitud del extensómetro (mm)

2.7.1.3 Módulo de elasticidad

Para realizar el cálculo del módulo de elasticidad del material compuesto se utilizó la siguiente ecuación con el fin de obtener datos reales para su respectivo calculo y consigo un resultado verídico:

$$E = \sigma / \varepsilon \quad [2.5]$$

Donde:

E= Módulo de elasticidad o Modulo de Young (MPa).

σ = Esfuerzo máximo (MPa)

ε = Porcentaje de deformación.

2.7.2 ENSAYO DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN

Los ensayos de las probetas de flexión se realizaron en la máquina de ensayos universal Polímeros Metrotest 1500KN, para ello se necesitó cinco probetas con las dimensiones de (160x13x4) mm que es lo que designa la normativa ASTM D7264-07. Para determinar las propiedades mecánicas de las 4 probetas realizadas a ensayo de flexión se analizó el esfuerzos, deformaciones y módulos de elasticidad con los resultados una vez obtenidos del equipo.

2.7.2.1 Esfuerzo máximo a flexión

Para calcular el esfuerzo máximo de flexión de las cinco probetas ensayadas se utilizó la Ecuación del esfuerzo de flexión de 4 puntos.

$$\sigma_{\text{máxf}} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad [2. 6]$$

Donde:

$\sigma_{\text{máxf}}$ = Esfuerzo Máximo (MPa).

P = Fuerza aplicada (N).

L = Longitud entre los apoyos (mm).

b = ancho de probeta (mm).

h = espesor de la probeta (mm).

2.7.2.2 Deformación máxima

Para calcular la deformación máxima a flexión de las cinco probetas ensayadas se utilizó la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{68h}{L^2} \quad [2.7]$$

Donde:

ε = Deformación máxima (%).

h = Espesor de la probeta (mm).

L = Longitud entre los apoyos (mm).

2.7.2.3 Módulo de elasticidad

Para poder determinar el módulo de elasticidad del material compuesto a flexión se utilizó la siguiente ecuación

$$E_f = \frac{L^3 F}{4bh^3 \delta} \quad [2.8]$$

Donde:

E_f = Módulo de elasticidad (MPa).

L = Longitud entre apoyos (mm).

F = Fuerza aplicada (N).

b = Ancho de probeta (mm).

h = Espesor de probetas (mm).

δ = Deflexión de la probeta (mm).

2.7.3 ENSAYO DE LAS PROBETAS DE IMPACTO

Los ensayos de las probetas de impacto se realizaron en la máquina tipo caída de masas de impacto, para ello se necesitó 4 probetas con las dimensiones de (58x58x6) mm que es lo que designa la normativa ASTM D5628-10

2.7.3.1 Energía media de fallo

Para determinar la energía absorbida de las probetas de impacto se utilizó la siguiente ecuación

$$\text{MEF} = h * w * f \quad [2. 9]$$

Donde:

MEF = Efecto producido por el impacto.

h = Altura del que se realiza el ensayo (mm).

w = Masa.

f = factor de conversión $9.80665 * 10^{-3}$.

2.8 ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO

2.8.1 CANTIDAD DE RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE BAMBÚ

En la elaboración del prototipo de guardabarros se realizó con una composición de 40% de fibra de bambú en 3 capas y un 60% de resina epóxica.

En la **Tabla 2.3**, se puede observar la cantidad de resina epóxica y sus aditivos que se utilizó en las 3 capas.

Tabla 2.3 Cantidades por utilizar para la fabricación del guardabarros.

Número de Capas	Cantidad de resina epóxica	Cantidad de fibra de bambú	Catalizador	Acelerador
1	450g	350g	5g	0,7g
2	450g	350g	5g	0,7g
3	450g	350g	5g	0,7g

Fuente (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

2.8.2 MOLDE DEL PROTOTIPO GUARDABARROS

Para la elaboración del prototipo del guardabarros se requirió el molde de plástico fabricado comercialmente.



Figura 2.19 Molde del guardabarros

2.8.3 APLICACIÓN DE LA CERA DESMOLDANTE

Primero se debe limpiar toda la superficie del molde para así eliminar cualquier tipo de impureza, para obtener un buen acabado superficial del guardabarros.



Figura 2.20 Aplicación de la cera desmoldante.

En la **Figura 2.20**, se observa la aplicación de la cera desmoldante por toda la pieza previamente limpia para evitar impurezas, evitando poner demasiada cera desmoldante

2.8.4 APLICACIÓN DE LA RESINA EPÓXICA

Para la aplicación la resina epóxica el acelerador y el catalizador se deben mezclar hasta obtener una mezcla uniforme. Una vez que la mezcla de la primera capa de resina está completamente homogénea se coloca con una brocha sobre el molde de manera uniforme inmediatamente.



Figura 2.21 Aplicación de la resina epóxica.

En la **Figura 2.21**, se observa la aplicación de la resina epóxica previamente mezclada con sus componentes para poder colocar después la fibra de bambú.

2.8.5 APLICACIÓN DE LA FIBRA DE BAMBÚ



Figura 2.22 Aplicación de la fibra de bambú.

En la **Figura 2.22**, se puede observar la colocación de la fibra de bambú junto con la primera capa de resina epoxi. Este es un proceso en el cual se debe repetir con las tres capas de fibra de bambú, para que esté empapada completamente lo cual nos ayudara a que la fibra y la resina se adhieran de mejor manera a la superficie.

2.8.6 SECADO DE LA PIEZA



Figura 2.23 Secado del prototipo

En la **Figura 2.23**, se puede observar la pieza expuesta al sol aproximadamente 26°C para lograr obtener un buen secado de esta, el tiempo de secado fue de alrededor de 12 horas para luego pasar a ser desmoldada.

2.8.7 DESMOLDE DE LA PIEZA

Una vez que la pieza este completamente seca se procede a su respectivo desmolde donde se tuvo que realizar sumamente con cuidado para que no pueda existir fallas en su acabado superficial al momento de desmoldarla.



Figura 2.24 Desmolde del prototipo

En la **Figura 2.24**, se observa el prototipo del guardabarros desmoldado completamente. Para darle un acabado de superficie liso se tuvo que lijar con una lija suave para no tener imperfecciones dando un acabado liso y uniforme.

2.8.8 PULIDO DE LA PIEZA



Figura 2.25 Pulido de la pieza

En la **Figura 2.25**, se observa el pulido que se le dio a la parte externa del prototipo con la finalidad de tener un buen acabado uniforme y superficial tanto en la parte interna como en la parte externa.

2.8.9 PINTADO DE LA PIEZA



Figura 2.26 Pintado del prototipo guardabarros

En la **Figura 2.26**, se observa finalmente la pieza pintada, como primer paso se utilizó masilla de relleno para vehículos con el fin de cubrir cualquier imperfección y obtener un acabado uniforme, siguiendo con la aplicación de un fondo/laca gris, juntamente con una capa de pintura base negro para pasar aplicar la pintura Glasurit negra y finalmente terminar con una capa de brillante Glasurit para darle una mejor presentación similar.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1.2 FICHAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN

3.1.2.1 Tipo de falla

Se determinó el tipo de falla que tienen las probetas de tracción a través de los criterios de la normativa ASTM D3039-00. En la Tabla 3.1, se observa la nomenclatura de los tipos de fallo de las probetas a tracción.

Tabla 3.1. Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de tracción

NOMENCLATURA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM 3039-00					
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
Símbolo	Tipo de falla	Símbolo	Tipo de falla	Símbolo	Tipo de falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
X	Explosiva	I	Dentro del agarre	B	Parte inferior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Media

Fuente: (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

A continuación, se puede observar cada una de las fichas de recolección de datos del grupo de probetas del ensayo de tracción acorde a la denominación propuesta con los porcentajes de matriz y material de refuerzo.

Tabla 3.2. Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN I	
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.
Fecha:	19 de mayo 2022
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.

Tabla 3.2. Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo (**Continuación...**)

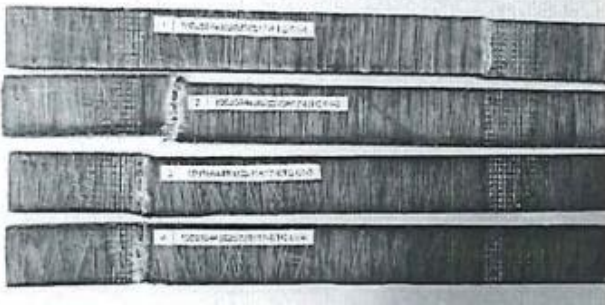
Normativa:	ASTM D3039-M17						
Elaborado por:	Sanipatín Angélica Túquez Diego	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	25% resina epóxica	Temperatura:	21,9 °C				
Refuerzo:	75% fibra de bambú con 2 capas	Humedad relativa:	58,8 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	5 mm/min				
Dimensiones (mm):	250x25	Espesor:	4,71 aprox.				
Precarga:	1000N						
TABULACIÓN DE DATOS:							
Nº	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
	25,31	4,63	7450,00	63,57	3339,75	1,90	LIB
2	25,21	4,71	7700,00	64,85	3268,08	1,98	LGT
3	24,86	4,51	8500,00	75,81	4478,38	1,69	LIT
4	25,26	4,63	8400,00	71,82	3677,85	1,95	LIT
\bar{x} Promedio:			8012,500	69,015	3691,016	2,637	
S_{n-1} Desviación estándar:			517,003	5,804	554,490	0,184	
CV Promedio:			0,065	0,084	0,150	0,070	
PROBETAS ENSAYADAS:							
							
OBSERVACIONES:							
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta 1 presento fallos laterales dentro de la parte inferior de la probeta. • La probeta 2 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte superior de la probeta. 							

Tabla 3.2. Ficha de los ensayos de tracción del primer grupo (**Continuación...**)

<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 3 y 4 presentaron fallos laterales dentro del agarre en la parte superior de las probetas. 		
EVALUACIÓN:	Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):	69,015
	Módulo de elasticidad promedio (MPa):	3691,016
	Elongación promedio (%):	1,883

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.3**, se detalla el primer grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción, las cuales contienen el 75% de fibra de bambú y 25% de resina epóxica. Al final de la ficha se puede verificar los resultados de cada una de las probetas, obteniendo los valores promedios de esfuerzo máximo a tracción, módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación

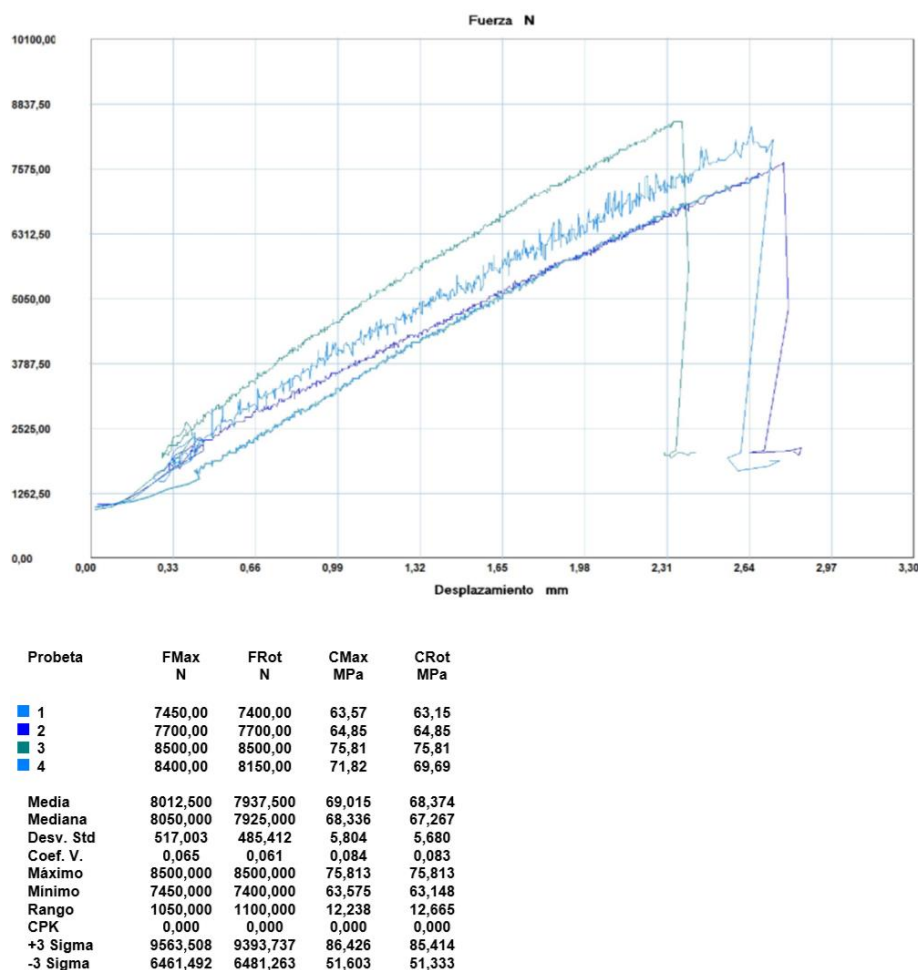


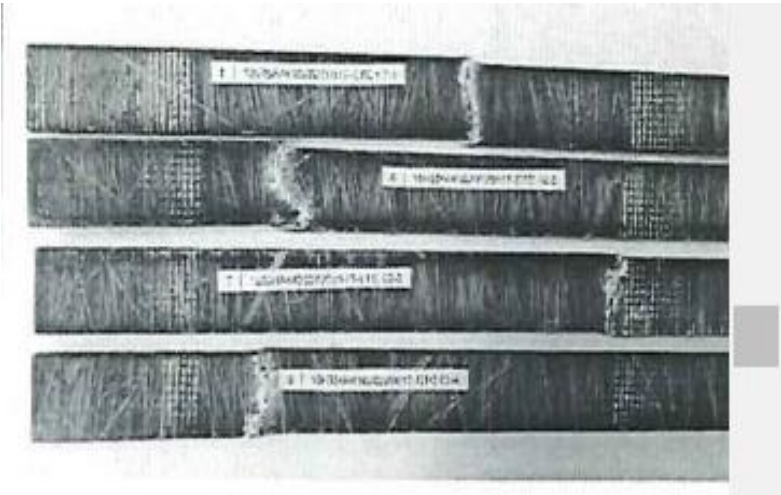
Figura 3.1. Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción.

En la **Figura 3.1**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los cuales corresponden a los valores de la fuerza máxima a tracción sobre el desplazamiento sometidas al ensayo en este caso se detalla: dos capas de fibra de bambú con resina epóxica, de igual manera se observa el valor promedio y la desviación estándar.

Tabla 3.3. Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
ENSAYO DE TRACCIÓN II							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.						
Fecha:	19 de mayo 2022						
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.						
Normativa:	ASTM D3039-M17						
Elaborado por:	Sanipatín Angélica Túquerez Diego	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	25% resina epóxica	Temperatura:	22,4 °C				
Refuerzo:	75% fibra de bambú con 3 capas	Humedad relativa:	57,6 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	5 mm/min				
Dimensiones (mm):	250x25	Espesor:	5,88				
TABULACIÓN DE DATOS:							
N°	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerz o máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
5	25,17	5,88	10600,00	71,62	2770,67	2,585	LGM
6	25,21	4,71	9650,00	67,98	2693,66	2,524	AGT
7	24,86	4,51	10200,00	69,77	3116,66	2,239	LIB
8	25,26	4,63	9650,00	65,53	2509,96	2,611	LGT
\bar{x} Promedio:			10025,00	68,724	2772,735	2,489	
S_{n-1} Desviación estándar:			462,781	2,599	254,030	0,171	

Tabla 3.3. Ficha de los ensayos de tracción del segundo grupo (**Continuación...**)

CV Promedio:	0,046	0,038	0,092	0,069	
PROBETAS ENSAYADAS:					
					
OBSERVACIONES:					
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta 5 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte media de la probeta. • La probeta 6 presento fallos angulares en la zona calibrada en la parte superior de la probeta. • La probeta 7 presento fallos laterales dentro del agarre en la parte inferior de la probeta. • La probeta 8 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte superior de la probeta 					
EVALUACIÓN:	Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):		68,724		
	Módulo de elasticidad promedio (MPa):		2772,735		
	Elongación promedio (%):		2,489		

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.3**, se detalla el segundo grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción, las cuales contienen el 75% de fibra de bambú y 25% de resina epóxica. Al final de la ficha se

puede verificar los resultados de cada una de las probetas, obteniendo los valores promedios de esfuerzo máximo a tracción, módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación.

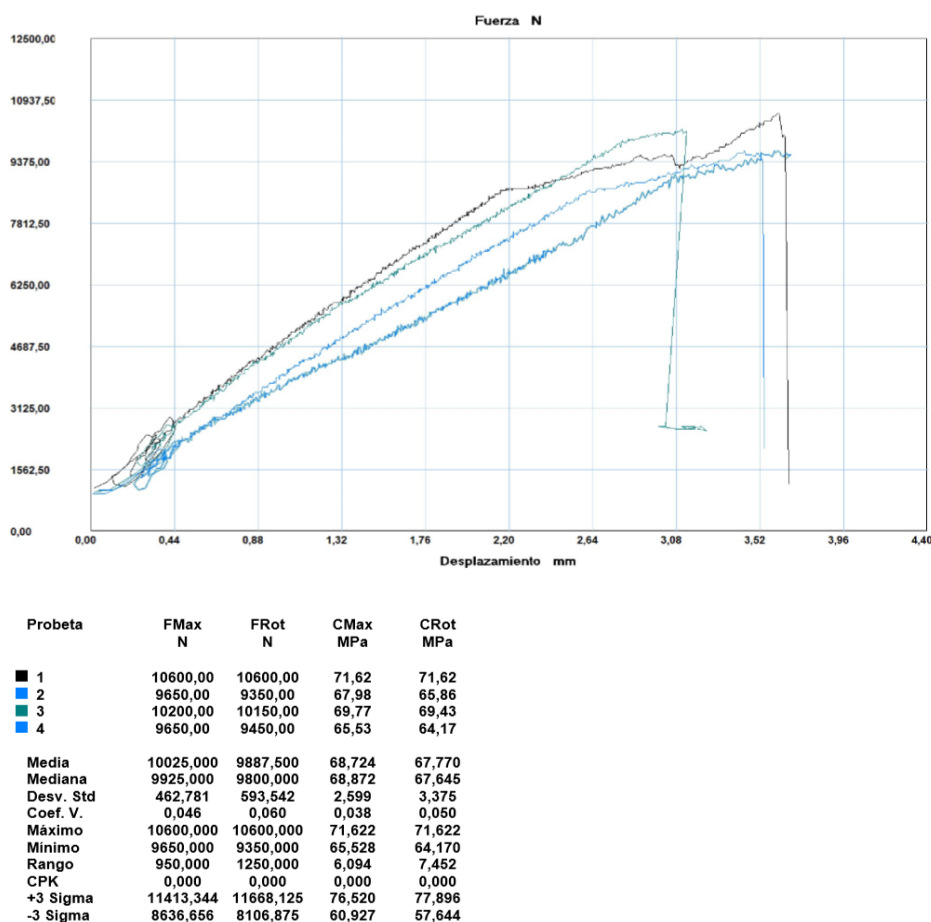


Figura 3.2. Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del segundo grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción.

En la **Figura 3.2**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los cuales corresponden a los valores de la fuerza máxima a tracción y sobre el comportamiento de cada una de las cuatro probetas sometidas al ensayo de la segunda composición volumétrica que en este caso se detalla: tres capas de fibra de bambú con resina epóxica, de igual manera se observa el valor promedio y la desviación estándar.

Tabla 3.4. Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
ENSAYO DE TRACCIÓN III	
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros.
Fecha:	19 de mayo 2022
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.

Tabla 3.4. Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo (**Continuación...**)


Normativa:	ASTM D3039-M17						
Elaborado por:	Sanipatín Angélica Túquez Diego	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	40% resina epoxica	Temperatura:	22,6 °C				
Refuerzo:	60% fibra de bambú con 2 capas	Humedad relativa:	56,2 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	5 mm/min				
Dimensiones (mm):	250x25	Precarga:	1000N				
Espesor:	4,47						
TABULACIÓN DE DATOS:							
N°	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
9	24,72	4,11	7050,00	69,39	4238,50	1,637	LGB
10	24,62	4,47	6950,00	63,15	3962,94	1,594	LIT
11	25,09	4,27	6250,00	58,34	3094,85	1,885	LIB
12	25,24	4,05	7450,00	72,88	4168,01	1,749	LGM
\bar{x} Promedio:			6925,000	65,940	3866,076	1,716	
S_{n-1} Desviación estándar:			499,166	6,471	527,266	0,130	
CV Promedio:			0,072	0,098	0,136	0,076	
PROBETAS ENSAYADAS:							
							
OBSERVACIONES:							
<ul style="list-style-type: none"> La probeta 9 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte inferior de la probeta. 							

Tabla 3.4. Ficha de los ensayos de tracción del tercer grupo (**Continuación...**)

	<ul style="list-style-type: none"> • La probeta 10 presento fallos laterales dentro del agarre en la parte superior de la probeta. • La probeta 11 presento fallos laterales dentro del agarre en la parte inferior de la probeta. • La probeta 12 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte media de la probeta 	
EVALUACIÓN:	Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):	65,940
	Módulo de elasticidad promedio (MPa):	3866,076
	Elongación promedio (%):	1,716

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.4**, se detalla el tercer grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción, contienen el 60% de fibra de bambú y 40% de resina epóxica a dos capas. Al final de la ficha se puede verificar los resultados de cada probeta, obteniendo los valores promedios de esfuerzo máximo a tracción, módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación.

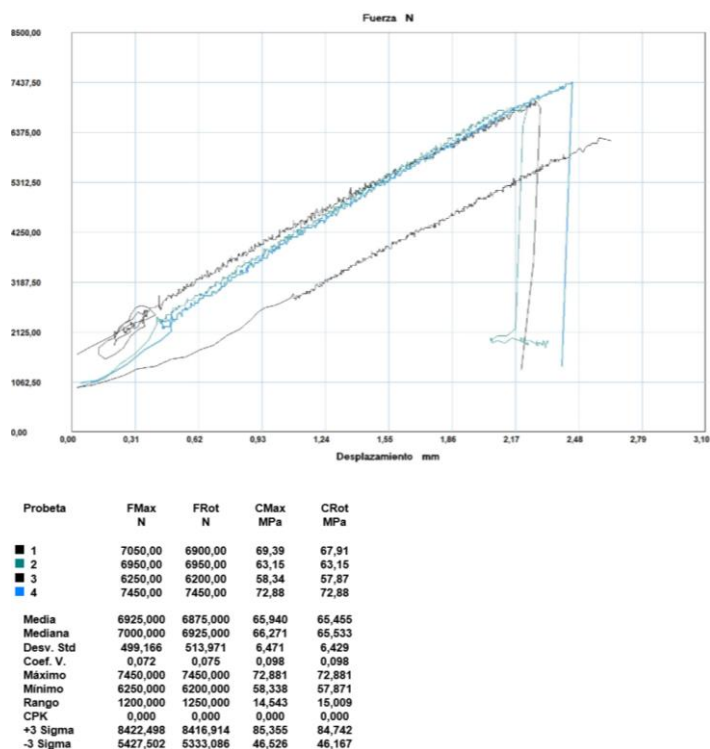


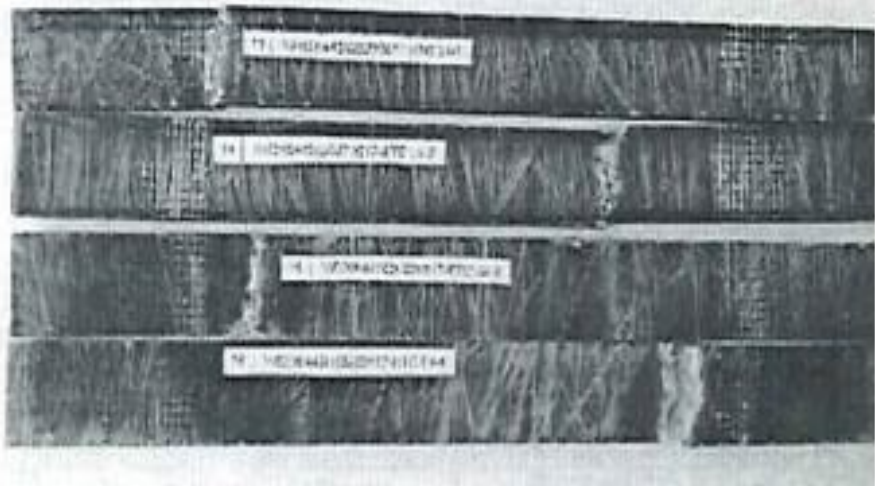
Figura 3.3. Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción.

En la **Figura 3.3**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los cuales corresponden a los valores de la fuerza máxima a tracción verificando los valores sobre el comportamiento de las cuatro probetas sometidas al ensayo de tracción de la tercera composición volumétrica donde se detalla: dos capas de fibra de bambú con resina epóxica.

Tabla 3.5. Ficha de los ensayos de tracción del cuarto grupo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
ENSAYO DE TRACCIÓN IV							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.						
Fecha:	19 de mayo 2022						
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.						
Normativa:	ASTM D3039-M17						
Elaborado por:	Sanipatín Angélica	Aprobado por:					
Túquezuez Diego							
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	40% resina epoxica	Temperatura:	22,7 °C				
Refuerzo:	60% fibra de bambú con 3 capas	Humedad relativa:	56,5 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	5 mm/min				
Dimensiones (mm):	250x25	Precarga:	1000N				
TABULACIÓN DE DATOS:							
N°	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
13	25,19	4,64	7150,00	61,17	2569,52	2,381	LIT
14	25,21	5,77	10500,00	72,18	3336,33	2,164	LGB
15	25,22	4,72	11250,00	94,51	3545,29	2,666	LGT
16	25,06	5,13	7150,00	55,62	2669,31	2,084	LGB
\bar{x} Promedio:			9012,500	70,870	3030,115	2,323	
S_{n-1} Desviación estándar:			2172,316	17,196	483,563	0,260	
CV Promedio:			0,241	0,243	0,160	0,112	

Tabla 3.5. Ficha de los ensayos de tracción del cuarto grupo (**Continuación...**)

PROBETAS ENSAYADAS:		
		
OBSERVACIONES:		
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta 13 presento fallos laterales dentro del agarre en la parte superior de la probeta. • La probeta 14 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte inferior de la probeta. • La probeta 15 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte superior de la probeta. • La probeta 16 presento fallos laterales en la zona calibrada en la parte inferior de la probeta. 		
EVALUACIÓN:	Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):	65,940
	Módulo de elasticidad promedio (MPa):	3866,076
	Elongación promedio (%):	1,716

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.5**, se detalla el cuarto grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción, las cuales contienen el 60% de fibra de bambú y 40% de resina epóxica a 3 capas. Al final de la ficha se puede verificar los resultados de cada una de las probetas, obteniendo los valores promedios de esfuerzo máximo a tracción, módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación.

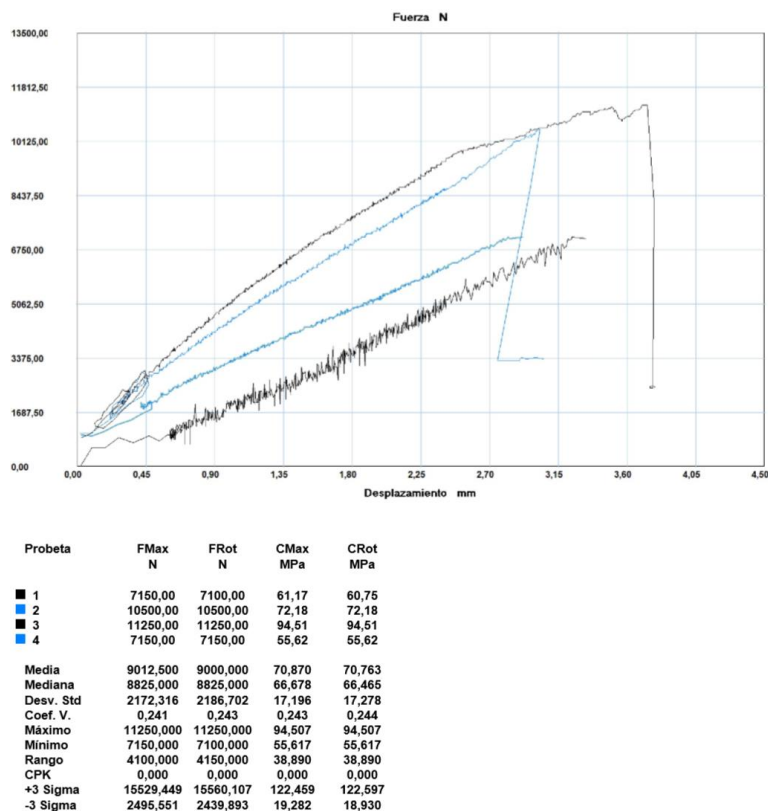


Figura 3.4. Grafica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del cuarto grupo de probetas sometidas al ensayo de tracción.

En la **Figura 3.4**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los cuales corresponden a los valores de la fuerza máxima a tracción y sobre el comportamiento de cada una de las cuatro probetas sometidas al ensayo de la cuarta composición volumétrica que en este caso se detalla: tres capas de fibra de bambú con resina epóxica, de igual manera se observa el valor promedio y la desviación estándar.

3.1.2 FICHAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A FLEXIÓN

3.1.2.1 Tipo de falla

Se determinó el tipo de falla que tienen las probetas de flexión a través de los criterios de la normativa ASTM D7264-00.

En la **Tabla 3.6**, se observa la nomenclatura utilizada para los tipos de fallo de las probetas sometidas al ensayo de flexión.

Tabla 3.6. Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de flexión

NOMENCLATURA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM 7264-00					
Primer carácter		Segundo carácter		Tercer carácter	
Símbolo	Tipo de falla	Símbolo	Tipo de falla	Símbolo	Tipo de falla
O	Otros	A	En el punto de carga	B	Fondo
-	-	L	Entre la carga y el punto de apoyo	V	Varios
-	-	U	No conocido	R	Derecha
-	-	-	-	M	Mitad

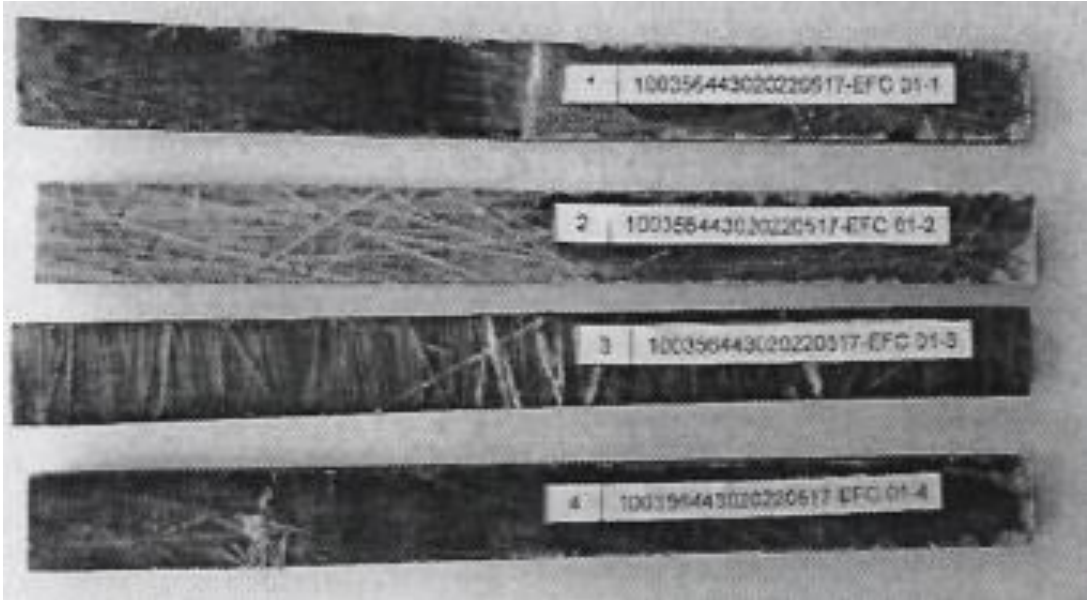
Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

A continuación, se detalla la ficha de recolección de datos donde se explica cada uno de los posibles fallos que estarán en cada probeta para los ensayos de flexión de las cuatro configuraciones.

Tabla 3.7. Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
ENSAYO DE FLEXIÓN I							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.						
Fecha:	26 de mayo 2022						
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.						
Normativa:	ASTM D3039-2017						
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túquerez Vallejos	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	25% resina epóxica	Temperatura:	22,5 °C				
Refuerzo:	75% fibra de bambú	Humedad relativa:	57,6 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	1 mm/min				
Dimensiones (mm):	160 X 15	Distancia entre apoyos:	64 mm				
Espesor:	4,30 aprox.	Precarga:	0 N				
TABULACIÓN DE DATOS:							
N°	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
1	15,20	4,49	400,00	125,31	6945,95	1,80	OAB

Tabla 3.7. Ficha de los ensayos de flexión del primer grupo (**Continuación...**)

2	15,12	4,34	400,00	134,83	6621,59	2,04	OAB
3	15,01	4,43	400,00	130,36	6043,48	2,16	OAB
4	15,07	4,34	300,00	101,46	4982,42	2,04	OAB
\bar{x} Promedio:			375,000	122,99	6148,42	2,01	
Sn-1 Desviación estándar:			50,000	14,871	862,154	0,148	
CV Promedio:			13,333	12,09	14,02	7,35	
PROBETAS ENSAYADAS:							
							
OBSERVACIONES:							
<ul style="list-style-type: none"> Todas las 4 probetas tuvieron fallas en el punto de carga en el fondo de la probeta. 							
EVALUACIÓN:			Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):			122,99	
			Módulo de elasticidad promedio (MPa):			6148,42	
			Elongación promedio (%):			2,01	

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.7**, se observa la ficha de recolección de datos del segundo grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de flexión, con una composición de 25% de fibra de bambú en 2 capas y un 75% de resina epóxica. Tomando en cuenta el fallo en la cuarta probeta donde tiene su punto de fallo en el fondo.

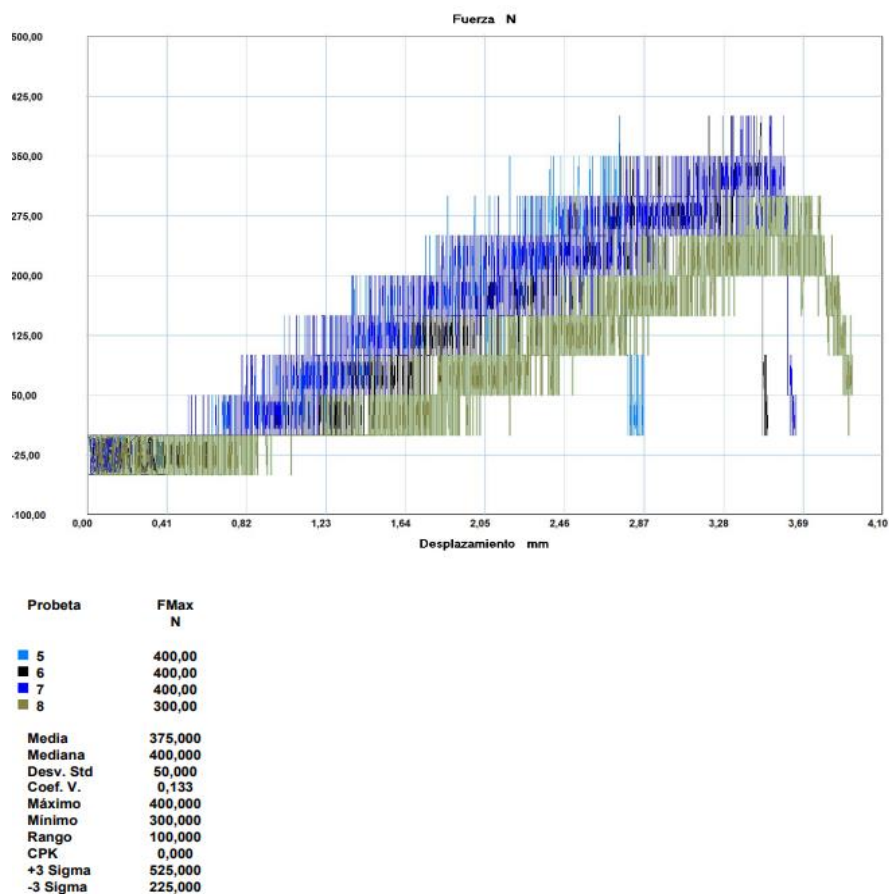


Figura 3.5. Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del primer grupo de probetas a flexión

En la **Figura 3.5**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a flexión y el comportamiento de cada una de las cuatro probetas ensayadas de la primera composición volumétrica: 25% de fibra de bambú en 2 capas como refuerzo y un 75% de resina epóxica, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

Tabla 3.8. Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
ENSAYO DE FLEXIÓN II	
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.
Fecha:	26 de mayo 2022

Tabla 3.8. Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo (**Continuación...**)


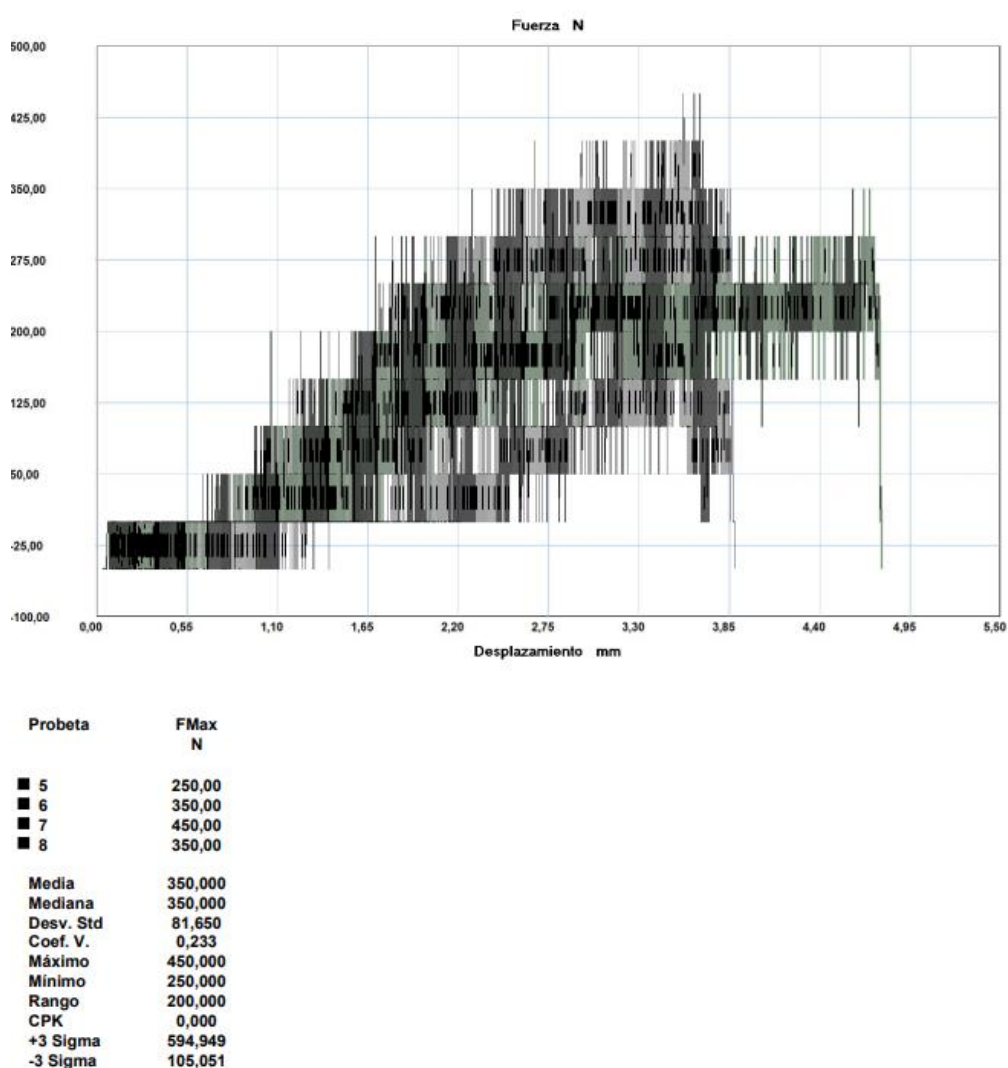
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.						
Normativa:	ASTM D3039-2017						
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túquez Diego	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	25% resina epóxica	Temperatura:	23,3 °C				
Refuerzo:	75% fibra de bambú	Humedad relativa:	56,2 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	1 mm/min				
Dimensiones (mm):	160 x 15	Distancia entre apoyos:	64 mm				
Espesor:	4,25 aprox.	Precarga:	0 N				
TABULACIÓN DE DATOS:							
N°	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
5	15,18	3,98	250,00	99,81	5358,31	1,86	OAB
6	15,23	4,27	350,00	121,00	5656,38	2,14	OAB
7	14,98	3,73	450,00	207,28	10632,35	1,95	OAB
8	14,97	4,36	350,00	118,07	5035,96	2,34	OAB
\bar{x} Promedio:			350,00	136,54	6670,75	2,07	
Sn-1 Desviación estándar:			81,650	48,082	2653,190	0,214	
CV Promedio:			23,328	35,21	39,77	10,33	
PROBETAS ENSAYADAS:							
							
OBSERVACIONES:							
<ul style="list-style-type: none"> Todas las 4 probetas tuvieron fallas en el punto de carga en el fondo de la probeta. 							
EVALUACIÓN:	Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):					136,54	

Tabla 3.8. Ficha de los ensayos de flexión del segundo grupo (**Continuación...**)

	Módulo de elasticidad promedio (MPa):	6670,75
	Elongación promedio (%):	2,07

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.8**, se observa la ficha de recolección de datos del segundo grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de flexión, con una composición de 25% de fibra de bambú en 3 capas y un 75% de resina epóxica.

**Figura 3.6.** Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del segundo grupo de probetas a flexión

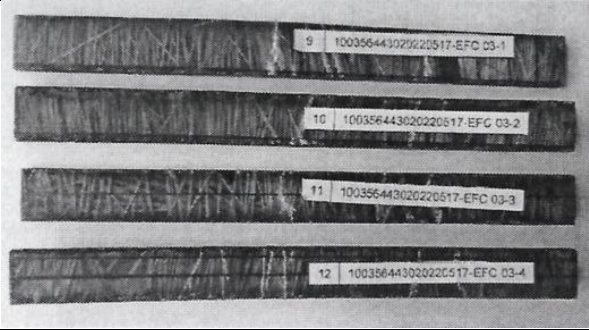
En la **Figura 3.6**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a flexión y el comportamiento de cada una de las cuatro probetas

ensayadas de la segunda composición volumétrica: 25% de fibra de bambú en 3 capas como refuerzo y un 75% de resina epóxica, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

Tabla 3.9. Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
ENSAYO DE FLEXIÓN III							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.						
Fecha:	26 de mayo 2022						
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.						
Normativa:	ASTM D3039-2017						
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túquerez Diego	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	40% resina epóxica	Temperatura:	22,4 °C				
Refuerzo:	60% fibra de bambú	Humedad relativa:	55,8 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	1 mm/min				
Dimensiones (mm):	160 X 15	Distancia entre apoyos:	64 mm				
Espesor:	4.30 aprox.	Precarga:	0 N				
TABULACIÓN DE DATOS:							
N°	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
9	15,19	4,29	300,00	103,02	6053,73	1,70	OAB
10	15,27	4,46	250,00	79,01	4197,91	1,88	OAB
11	15,21	4,52	300,00	92,68	2824,39	3,28	OAB
12	15,06	4,61	450,00	134,98	5495,68	2,46	OAB
\bar{x} Promedio:			325,000	102,42	4642,93	2,33	
Sn-1 Desviación estándar:			86,603	23,826	1440,214	0,711	
CV Promedio:			26,647	23,26	31,02	30,51	

Tabla 3.9. Ficha de los ensayos de flexión del tercer grupo (**Continuación...**)

PROBETAS ENSAYADAS:		
		
OBSERVACIONES:		
<ul style="list-style-type: none"> Todas las 4 probetas tuvieron fallas en el punto de carga en el fondo de la probeta. 		
EVALUACIÓN:	Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):	102,42
	Módulo de elasticidad promedio (MPa):	4642,93
	Elongación promedio (%):	2,33

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.9**, se observa la ficha de recolección de datos del tercer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de flexión, con la composición de 40% de fibra de bambú en 2 capas y un 60% de resina epóxica.

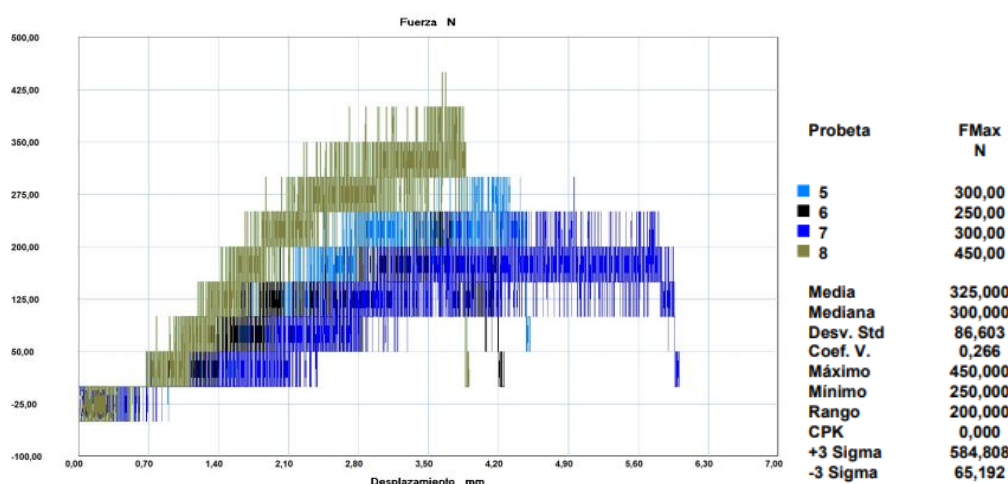


Figura 3.7. Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas sometidas al ensayo de flexión

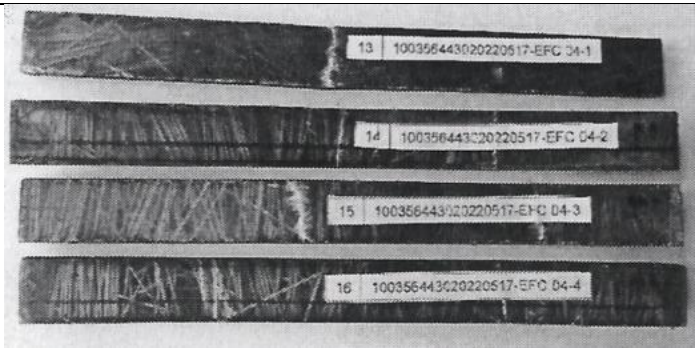
En la **Figura 3.7**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a flexión y el comportamiento de cada una de las cuatro probetas

ensayadas de la primera composición volumétrica: 40% de fibra de bambú en 2 capas como refuerzo y un 60% de resina epóxica, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

Tabla 3.10. Ficha de los ensayos de flexión del cuarto grupo.

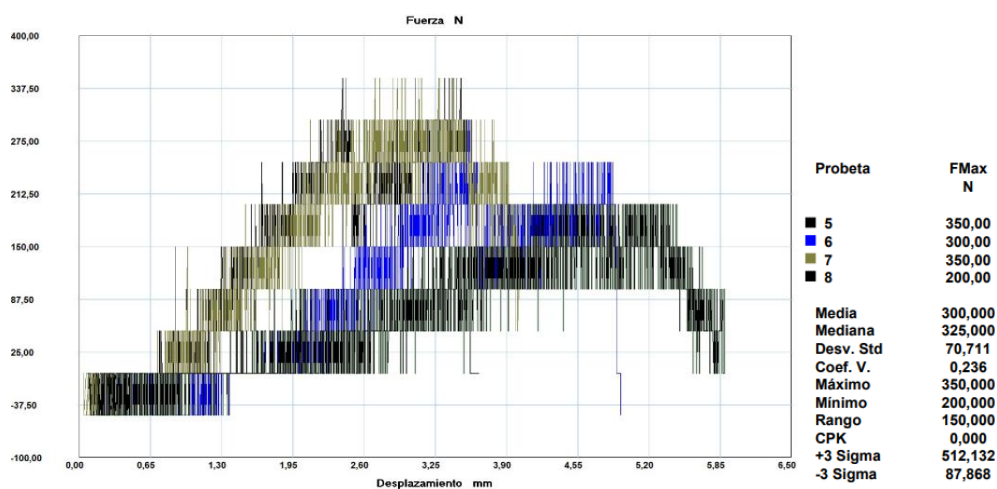
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
ENSAYO DE FLEXIÓN IV							
Lugar:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero.						
Fecha:	26 de mayo 2022						
Máquina:	Máquina de ensayos Universal Metrotest 1500KN.						
Normativa:	ASTM D3039-2017						
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túquez Diego	Aprobado por:					
DATOS DEL ENSAYO:							
Matriz:	40% resina epóxica	Temperatura:	21,8 °C				
Refuerzo:	60% fibra de bambú	Humedad relativa:	57,1 %				
Cantidad:	4	Velocidad de ensayo:	1 mm/min				
Dimensiones (mm):	160 x 15	Distancia entre apoyos:	64 mm				
Espesor:	4.30 aprox.	Precarga:	0 N				
TABULACIÓN DE DATOS:							
N ^o	Ancho	Espesor	Fuerza (N)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)	Elongación (%)	Tipo de falla evaluado.
13	15,17	5,03	350,00	87,54	871,24	10,05	OLV
14	14,97	4,35	300,00	101,67	1025,75	9,91	OAB
15	15,23	4,42	350,00	112,93	817,96	13,81	OAB
16	15,19	4,21	200,00	71,31	936,43	7,62	OAB
\bar{x} Promedio:			300,00 0	93,36	912,85	10,35	
Sn-1 Desviación estándar:			70,711	17,998	89,512	2,563	
CV Promedio:			23,570	19,28	9,81	24,77	

Tabla 3.10. Ficha de los ensayos de flexión del cuarto grupo (**Continuación...**)

PROBETAS ENSAYADAS:		
		
OBSERVACIONES:		
<ul style="list-style-type: none"> • La probeta 13 se generó la falla entre la carga y el punto de apoyo en varios lugares de la probeta. • Las probetas 14, 15 y 16 tuvieron fallas en el punto de carga en el fondo de la probeta. 		
EVALUACIÓN:	Esfuerzo máximo a tracción promedio (MPa):	93,36
	Módulo de elasticidad promedio (MPa):	912,85
	Elongación promedio (%):	10,35

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.10**, se observa la ficha de recolección de datos del tercer grupo de probetas que fueron expuestas al ensayo de flexión, con la composición de 40% de fibra de bambú en 3 capas y un 60% de resina epóxica.

**Figura 3.8.** Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm) del tercer grupo de probetas a flexión

En la **Figura 3.8**, se observa en la gráfica Fuerza (N) vs Desplazamiento (mm), los valores de la fuerza máxima a flexión y el comportamiento de cada una de las cuatro probetas ensayadas de la primera composición volumétrica: 40% de fibra de bambú en 3 capas como refuerzo y un 60% de resina epóxica, además se observa el valor promedio y la desviación estándar.

4.1.3 FICHAS DE LAS PROBETAS DE ENSAYO A IMPACTO

4.1.3.1 Tipo de falla

En la **Tabla 3.17**, se observa el tipo de falla de cada una de las probetas de impacto para ello se basó en la nomenclatura de normativa ASTM D5628-10, que nos indica el tipo de código y su respectivo carácter que nos explicara detalladamente lo que sucederá con la probeta y así poder determinar si la probeta falla o no.

Tabla 3.11. Nomenclatura de tipo de falla en el ensayo de impacto
NOMENCLATURA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM D5628-10

CÓDIGO	CARÁCTER	CONCLUSIÓN
A	Grieta en una sola superficie, la probeta puede todavía sostener el agua.	NO FALLA
B	El agua probablemente penetrará a través de la probeta.	NO FALLA
C	La probeta está fracturada en varias partes de la superficie.	FALLA
D	Ruptura total atravesando el espesor de la probeta	FALLA

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

Se detalla a continuación las 4 fichas de recolección de datos de las probetas correspondientes a impacto con su respectiva designación de la matriz y del material de refuerzo.

Tabla 3.12. Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
ENSAYO DE IMPACTO I

Tabla 3.12. Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo (**Continuación...**)

Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología						
Fecha:	26 de mayo 2022						
Máquina:	Máquina tipo caída de masas de Impacto						
Normativa:	ASASTM D5628-10						
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túqueréz Diego				Aproba do por:		
DATOS DEL ENSAYO:							
Tipo de material:	Material polimérico Código: 60 FB +40 RE – 2C			Temperatura:	60°C		
Composición:	Base de Fibra de Bambú y Resina			Tipo de medición:	Energía Media de Impacto (J)		
Cantidad:	4			Dimensiones (mm):	58mm x 58mm		
TABULACIÓN DE DATOS:							
Codificación (%fibra)	Anch o	Espeso r	Masa aplicad a (kg)	Increment o de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criteri o de falla
60 FB +40 RE – 2C-1	15,18	3,98	0,287	0,4398	400	2,85196	No falla
60 FB +40 RE – 2C-2	15,23	4,27	0,287	0,4398	500	3,5649	No falla
60 FB +40 RE – 2C-3	14,98	3,73	0,287	0,4398	600	4,27794	Falla
60 FB +40 RE – 2C-4	14,97	4,36	0,287	0,4398	700	4,99093	Falla
PROBETAS ENSAYADAS:							
							

Tabla 3.12. Ficha de los ensayos de impacto del primer grupo (**Continuación...**)

RESULTADOS:												
<p style="text-align: center;">Material Compuesto 60 FB +40 RE - 2C</p> <table border="1"> <caption>Data for Material Compuesto 60 FB +40 RE - 2C</caption> <thead> <tr> <th>Altura media de fallo (mm)</th> <th>Energía media de fallo (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>300</td> <td>2,138,972</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>4,277,945</td> </tr> <tr> <td>750</td> <td>5,347,431</td> </tr> <tr> <td>900</td> <td>6,416,917</td> </tr> </tbody> </table>			Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	300	2,138,972	600	4,277,945	750	5,347,431	900	6,416,917
Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)											
300	2,138,972											
600	4,277,945											
750	5,347,431											
900	6,416,917											
OBSERVACIONES:												
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 60 FB +40 RE - 2C tienen una energía de fallo de 4,277945 J. 												
EVALUACIÓN:	Promedio de la energía de fallo (J):	3,9214495										

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.12**, se observa los datos del primer grupo de probetas de impacto, compuesta por dos capas de fibra de bambú y una matriz de resina epóxica, observando en donde se obtuvo la energía promedio de fallo.

Tabla 3.13. Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
ENSAYO DE IMPACTO II			
Lugar:	Centro de Transferencia y Tecnología		
Fecha:	26 de mayo 2022		
Máquina:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Normativa:	ASASTM D5628-10		
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túquerez Diego	Aprobado por:	
DATOS DEL ENSAYO:			
Tipo de material:	Material polimérico Código: 75 FB +25 RE - 2C	Temperatura:	60°C

Tabla 3.13. Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo (Continuación...)


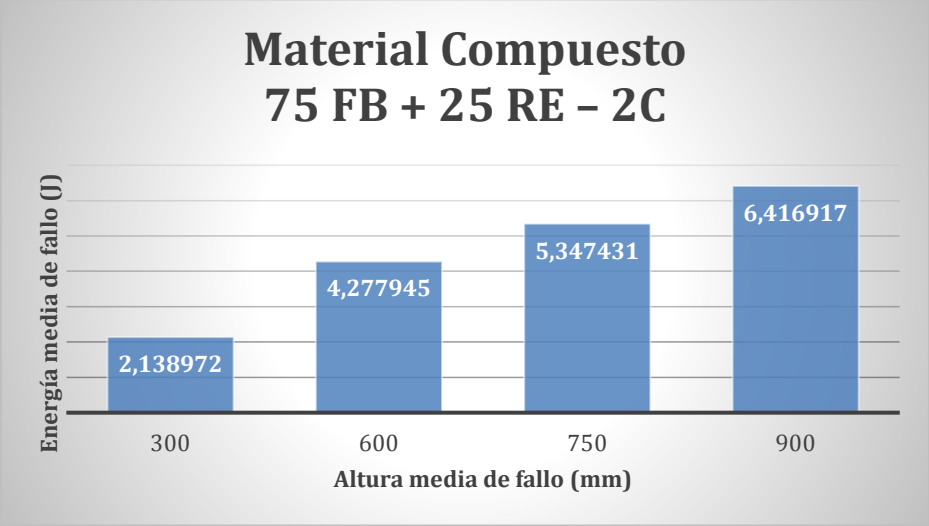
Composición:	Base de Fibra de Bambú y Resina		Tipo de medición:	Energía Media de Impacto (J)													
Cantidad:	4		Dimensiones (mm):	58mm x 58mm													
TABULACIÓN DE DATOS:																	
Codificación (%fibra)	Ancho	Espesor	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla										
75 FB +25 RE – 2C-1	57,60	4,12	0,287	0,4398	300	2,1389	No falla										
75 FB +25 RE – 2C -2	57,78	3,72	0,287	0,4398	600	4,2779	No falla										
75 FB +25 RE – 2C -3	58,87	4,12	0,287	0,4398	750	5,3474	Falla										
75 FB +25 RE – 2C -4	58,30	3,80	0,287	0,4398	900	6,4169	Falla										
PROBETAS ENSAYADAS:																	
																	
RESULTADOS:																	
<p>Material Compuesto 75 FB + 25 RE – 2C</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Altura media de fallo (mm)</th> <th>Energía media de fallo (J)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>300</td> <td>2,138972</td> </tr> <tr> <td>600</td> <td>4,277945</td> </tr> <tr> <td>750</td> <td>5,347431</td> </tr> <tr> <td>900</td> <td>6,416917</td> </tr> </tbody> </table>								Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	300	2,138972	600	4,277945	750	5,347431	900	6,416917
Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)																
300	2,138972																
600	4,277945																
750	5,347431																
900	6,416917																

Tabla 3.13. Ficha de los ensayos de impacto del segundo grupo (**Continuación...**)

OBSERVACIONES:		
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 75 FB +25 RE – 2C tienen una energía de fallo de 5,347431 J. 		
EVALUACIÓN:	Promedio de la energía de fallo (J):	4,54531625


Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Figura 3.13**, se observa los datos del segundo grupo de probetas de impacto, compuesta por dos capas de fibra de bambú y una matriz de resina epóxica, observando en donde se obtuvo la energía promedio de fallo.

Tabla 3.14. Ficha de los ensayos de impacto del tercer grupo.

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
ENSAYO DE IMPACTO III							
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato, Laboratorio de Materiales						
Fecha:	26 de mayo 2022						
Máquina:	Máquina tipo caída de masas de Impacto						
Normativa:	ASASTM D5628-10						
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túquez Diego			Aprobado por:			
DATOS DEL ENSAYO:							
Tipo de material:	Material polimérico Código: 60 FB +40 RE – 3C			Temperatura:	60°C		
Composición:	Base de Fibra de Bambú y Resina			Tipo de medición:	Energía Media de Impacto (J)		
Cantidad:	4			Dimensiones (mm):	58mm x 58mm		
TABULACIÓN DE DATOS:							
Codificación (%fibra)	Ancho	Espesor	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
60 FB +40 RE – 3C-1	58,16	4,94	0,287	0,4398	350	2,4954	No falla
60 FB +40 RE – 3C-2	58,35	4,56	0,287	0,4398	550	3,9214	No falla
60 FB +40 RE – 3C-3	58,85	4,36	0,287	0,4398	650	4,6344	Falla
60 FB +40 RE – 3C-4	58,45	4,52	0,287	0,4398	750	5,3474	Falla

Tabla 3.14. Ficha de los ensayos de impacto del tercer grupo (**Continuación...**)

PROBETAS ENSAYADAS:		
		
OBSERVACIONES:		
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 60 FB +40 RE – 3C tienen una energía de fallo de 4,634440 J. 		
EVALUACIÓN:	Promedio de la energía de fallo (J):	4,099697


Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.14.** se detalla el tercer grupo de probetas sometidas al ensayo de impacto, las cuales contienen el 60% de fibra de bambú y 40% de resina epóxica. Al final de la ficha se puede verificar los resultados de cada una de las probetas, obteniendo los valores de falla que presentaron cada probeta con su respectiva evaluación del promedio de la energía de fallo de las probetas ensayadas.

Tabla 3.15. Ficha de los ensayos de impacto del cuarto grupo

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
ENSAYO DE IMPACTO IV			
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato, Laboratorio de Materiales		
Fecha:	26 de mayo 2022		
Máquina:	Máquina tipo caída de masas de Impacto		
Normativa:	ASASTM D5628-10		
Elaborado por:	Sanipatín Angelica Túquerez Diego	Aprobado por:	

Tabla 3.15. Ficha de los ensayos de impacto del cuarto grupo (Continuación...)

DATOS DEL ENSAYO:							
Tipo de material:	Material polimérico Código: 75 FB +25 RE – 3C			Temperatura:	60°C		
Composición :	Base de Fibra de Bambú y Resina			Tipo de medición:	Energía Media de Impacto (J)		
Cantidad:	4			Dimensiones (mm):	58mm x 58mm		
TABULACIÓN DE DATOS:							
Codificación (%fibra)	Ancho	Espesor	Masa aplicada (kg)	Incremento de masa (kg)	Altura media de fallo (mm)	Energía media de fallo (J)	Criterio de falla
75 FB +25 RE – 2C -1	58,22	4,72	0,287	0,6159	350	3,100107	No falla
75 FB +25 RE – 2C -2	57,75	5,04	0,287	0,6159	550	4,871597	No falla
75 FB +25 RE – 2C -3	58,02	4,88	0,287	0,4398	900	6,416917	Falla
75 FB +25 RE – 2C -4	58,48	5,12	0,287	0,6159	900	7,971704	Falla
PROBETAS ENSAYADAS:							
							
OBSERVACIONES:							
<ul style="list-style-type: none"> Las probetas 75 FB +25 RE – 3C tienen una energía de fallo de 6,416917 J. 							
EVALUACIÓN:	Promedio de la energía de fallo (J):					5,59008125	

Fuente:(Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020a)

En la **Tabla 3.15** se detalla el cuarto grupo de probetas sometidas al ensayo de impacto, las cuales contienen el 75% de fibra de bambú y 25% de resina epóxica. Al final de la ficha se puede verificar los resultados de cada una de las probetas, obteniendo los valores de falla

que presentaron cada probeta con su respectiva evaluación del promedio de la energía de fallo de las probetas ensayadas.

3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación, detallamos los resultados de los ensayos de tracción, flexión e impacto, tomando en cuenta todos los valores promedios de cada uno de los grupos de ensayo antes mencionados.

3.2.1 RESULTADOS DE LAS PROBETAS DE TRACCIÓN

Tabla 3.16 Resultados de los esfuerzos máximos a tracción y módulos de elasticidad

GRUPO	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)
1	71,82	3677,85
2	68,724	2772,735
3	65,940	3866,076
4	70,870	3030,115

En la **Tabla 3.16**, se muestra los valores promedios que soportan las probetas en los ensayos de esfuerzos máximos a tracción y los módulos de elasticidad.

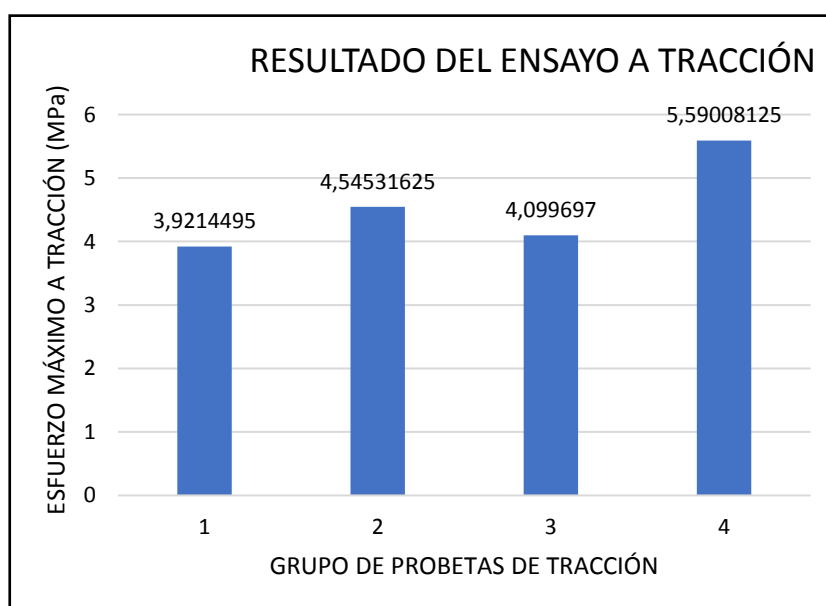


Figura 3.9 Resultados del ensayo a tracción

En la **Figura 3.9**, se puede observar los resultados del esfuerzo máximo a tracción y el módulo de elasticidad de los cuatro ensayos a tracción realizados, de los cuales se obtuvo resultados positivos, obteniendo el mejor resultado en el primer ensayo con una composición de 75% fibra de bambú y 25% resina epóxica a dos capas, con un esfuerzo máximo promedio de 71,82 MPa y un módulo de elasticidad de 3677,85 MPa.

3.2.2 RESULTADOS DE LAS PROBETAS DE FLEXIÓN

Tabla 3.17 Resultados de los esfuerzos máximos a flexión y módulos de elasticidad

GRUPO	ESFUERZO MÁXIMO (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (MPa)
1	122,99	6148,42
2	136,54	6670,75
3	102,42	4642,93
4	93,36	912,85

En la **Tabla 3.17**, se muestra los valores promedios que soportan las probetas en los ensayos de esfuerzos máximos a flexión y los módulos de elasticidad.

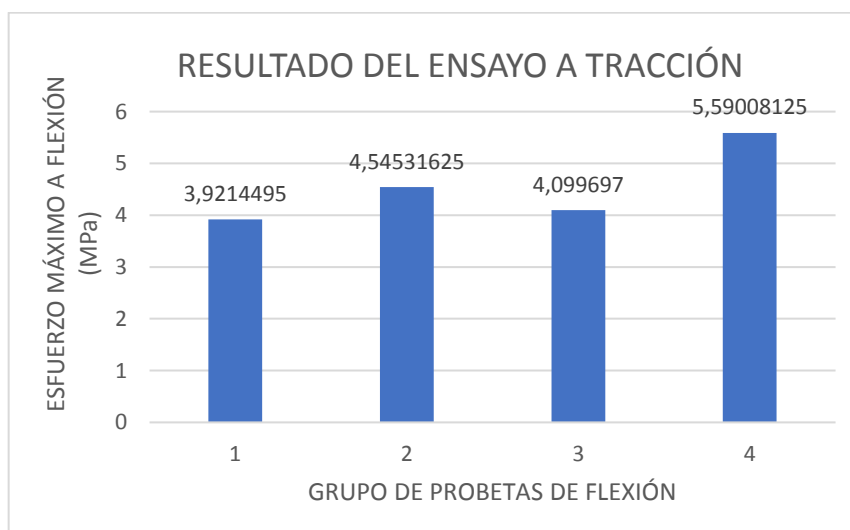


Figura 3.10 Resultados del ensayo a flexión

En la **Figura 3.10**, se puede observar los resultados del esfuerzo máximo a flexión y el módulo de elasticidad de los cuatro ensayos a tracción realizados, de los cuales se obtuvo resultados positivos, obteniendo el mejor resultado en el segundo ensayo con una composición de 75% fibra de bambú y 25% resina epóxica a tres capas, con un esfuerzo máximo promedio de 136,54 MPa y un módulo de elasticidad de 6670,75 MPa.

3.2.3 RESULTADOS DE LAS PROBETAS DE IMPACTO

Tabla 3.18. Energía media de fallos

GRUPO	ENERGÍA DE FALLO (J)
1	3,9214495
2	4,54531625
3	4,099697
4	5,59008125

En la **Tabla 3.5**, se muestra los valores de la energía absorbida que soportaron las probetas durante los ensayos de impacto.

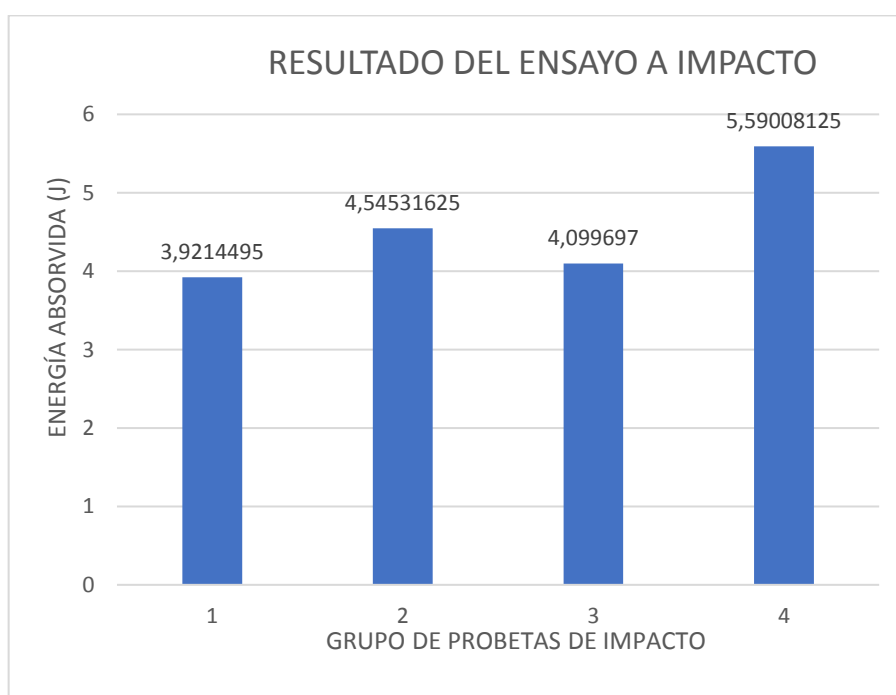


Figura 3.11 Resultados de las probetas a impacto

En la **Figura 3.11**, se puede observar los resultados de los ensayos a impacto izod de las cuatro composiciones volumétricas, obteniendo el mejor resultado en el cuarto ensayo con una composición de 60% fibra de bambú y 40% resina epóxica, con un valor promedio de energía absorbida de 5,59 MPa.

3.3 COMPARACIÓN CON DISTINTOS MATERIALES

Tabla 3.19 Comparación de esfuerzo a tracción con distintos materiales.

Ensayo – Tracción	Espesor promedio probetas (mm)	Elongación (%)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
Fibra bambú (60%) – Resina epóxica (40%)	4,645	2,0195	70,405	3448,0955
Fibra bambú (75%) – Resina epóxica (25%)	5,19875	2,186	68,8695	3231,8755
Fibra de Cabuya (40%) – Resina Poliéster (60%)	3,17	2, 879	113,954	1209,59
Fibra de Coco (40%) – Resina Epóxica (60%)	3,27	5,64	102,45	2954,49
Fibra de Coco (30%) – Resina Epóxica (70%)	3,51	5,33	107,21	31469,54
Fibra larga cabuya 40% - fibra de vidrio	3,09	6,47	63,93	24517,39
Fibra larga cabuya 30% - fibra de vidrio	3,05	6,85	123,35	1684,64

En la **Tabla 3.19**, se puede observar la comparación de esfuerzo a tracción con distintos materiales, obteniendo un mejor resultado en el módulo de elasticidad de la composición fibra bambú (60%) – resina epóxica (40%), en comparación a las distintas composiciones de los diferentes materiales.

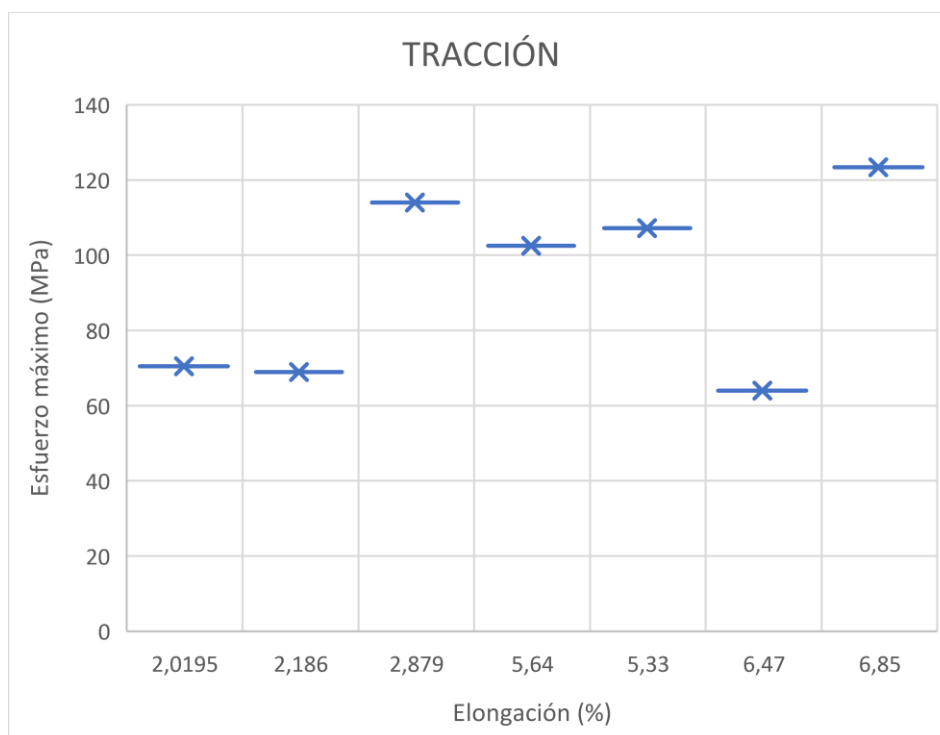


Figura 3.12. Resultados de comparaciones de ensayo a tracción con distintos materiales

En la **Figura 3.12**, se puede observar los resultados de la comparación de los ensayos de tracción con distintos materiales, obteniendo los mejores resultados la fibra de bambú con la matriz de resina epóxica en comparación a los otros materiales compuestos.

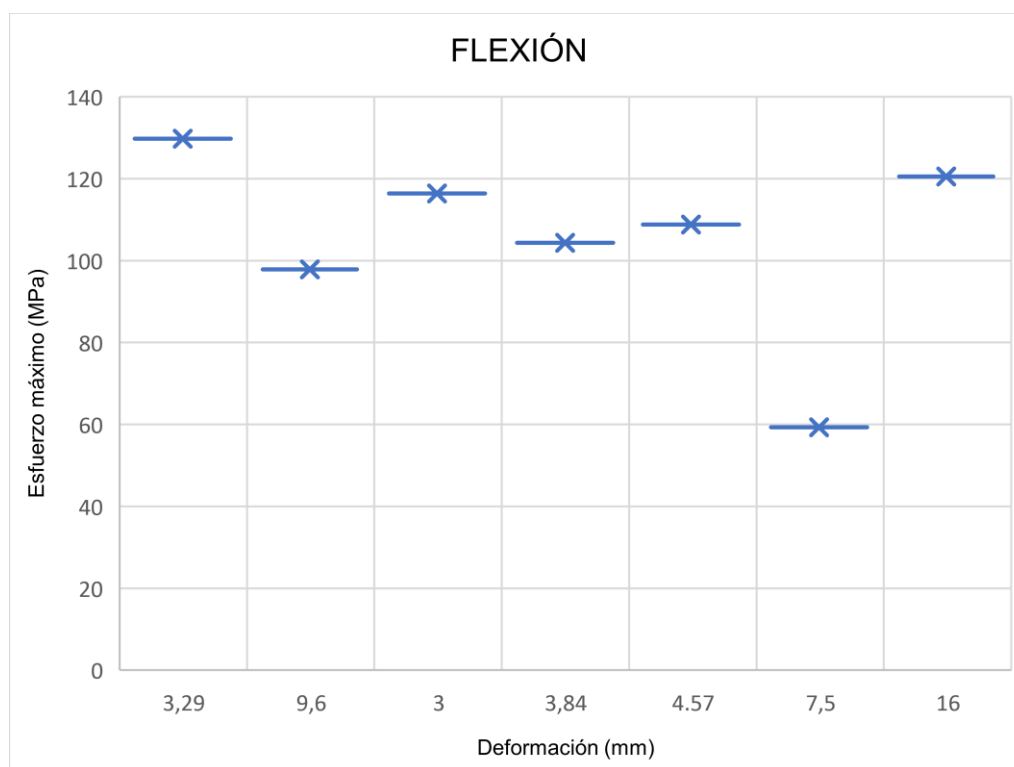
Tabla 3.20 Esfuerzos a flexión de varios materiales compuestos.

Ensayo a Flexión	Espesor promedio probetas (mm)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
Fibra Bambú (75%) – Resina Epóxica (25%)	4,24	3,29	129,8	6409,585
Fibra Bambú (60%) – Resina Epóxica (40%)	4,47	9,6	97,9	8229

Tabla 3.20. Esfuerzos a flexión de varios materiales compuestos (**Continuación...**)

Fibra de Cabuya (40%) – Resina Poliéster (60%)	3,15	3,006	116,400	3266,554
Fibra de Coco (40%) – Resina Epóxica (60%)	3,34	3,84	104,35	20934,65
Fibra de Coco (30%) – Resina Epóxica (70%)	3,62	4,57	108,84	16565,5
Fibra larga cabuya 40% - fibra de vidrio	3,00	7,5	59,3	2777,89
Fibra larga cabuya 30% - fibra de vidrio	3,01	16	120,52	1799

En la **Tabla 3.20**, se puede observar la comparación de esfuerzo a flexión con distintos materiales, obteniendo un mejor resultado en el módulo de elasticidad de la composición fibra bambú (60%) – resina epóxica (40%), en comparación a las distintas composiciones de los diferentes materiales.

**Figura 3.13** Resultados de comparaciones con distintos materiales

En la **Figura 3.13**, se puede observar los resultados de la comparación de los ensayos de flexión con distintos materiales, obteniendo los mejores resultados la con la composición 60% fibra de bambú y 40% matriz de resina epóxica en comparación a los otros materiales compuestos.

Tabla 3.21. Esfuerzos a impacto de varios materiales compuestos

Ensayo a Impacto	Espesor promedio probetas (mm)	Energía media de fallo (J)	Altura media fallo (mm)
Fibra bambú (60%) – Resina epóxica (40%)	4,56	3,92	550
Fibra bambú (75%) – Resina epóxica (25%)	4,88	4,87	550
Fibra de Cabuya (40%) – Resina Poliéster (60%)	3,2	4,03	700
Fibra de Coco (40%) – Resina Epóxica (60%)	3,56	1.11	500
Fibra de Coco (30%) – Resina Epóxica (70%)	3,88	1.47	660
Fibra larga cabuya 40% - fibra de vidrio	2,87	1,54	550
Fibra larga cabuya 30% - fibra de vidrio	3,15	2,38	850

En la **Tabla 3.21**, se puede observar la comparación del esfuerzo a impacto con distintos materiales compuestos específicamente puestos cada uno de los porcentajes para saber qué cantidad de fibra y de resina están compuestos, obteniendo como mejor resultado en el módulo de elasticidad de la composición de materiales compuestos la fibra bambú (60%) – resina epóxica (40%) compuesta por tres capas, en comparación a las distintas composiciones o materiales compuestos con distintas estructuras.

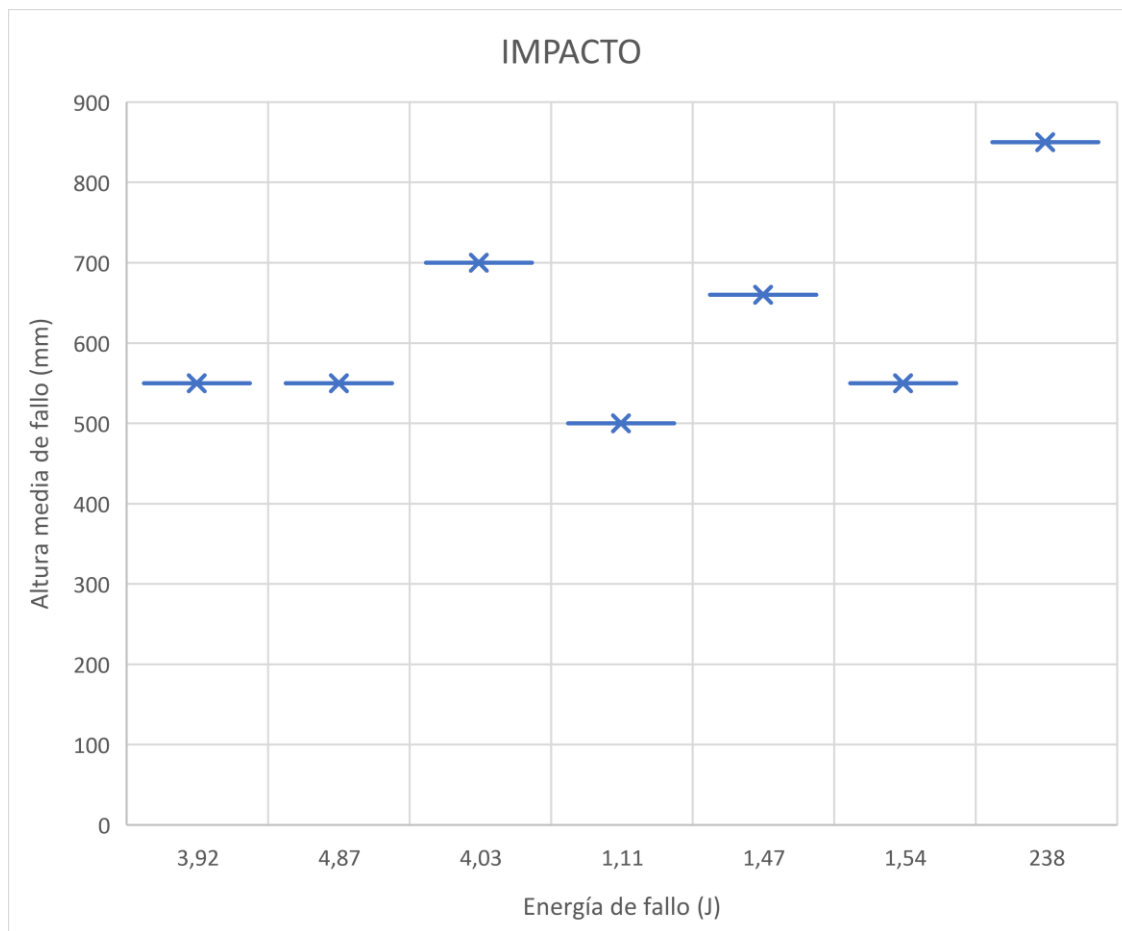


Figura 3.14. Resultados de comparaciones con distintos materiales

En la **Figura 3.14**, se puede observar los resultados de la comparación de los ensayos de impacto con distintos materiales, obteniendo los mejores resultados la con la composición 75% fibra de bambú y 25% matriz de resina epóxica en comparación a los otros materiales compuestos.

3.4 PRUEBAS ESTADÍSTICAS DE LA COMPARACIÓN DE ESFUERZO A TRACCIÓN CON DISTINTOS MATERIALES

Con el objetivo de explicar la **Tabla 3.19** y valiéndose del programa Statgraphics 19-XG64 se realizó la prueba de hipótesis de cada columna la cual contempla los aspectos de elongación, esfuerzo máximo y módulo de elasticidad.

3.4.1 ELONGACIÓN

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

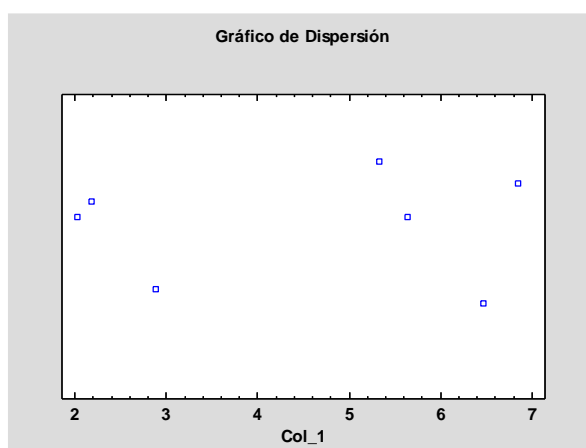


Figura 3.15. Gráfico de dispersión

En la **Figura 3.15**, esta gráfica muestra los valores observados de Col_1. Se han separado en dirección vertical para evitar sobreposiciones. La separación agrega una pequeña distancia aleatoria a cada punto, antes de graficarlo. Se puede controlar la separación pulsando el botón con las cuatro flechas en la barra de herramientas para análisis.

Tabla 3.22. Resumen Estadístico para Col_1

Recuento	7
Promedio	4,48207
Desviación Estándar	2,06255
Coefficiente de Variación	46,0179%
Mínimo	2,0195
Máximo	6,85
Rango	4,8305
Sesgo Estandarizado	-0,225842
Curtosis Estandarizada	-1,23763

En la **Tabla 3.22**, se muestra los estadísticos de resumen para Col_1. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizados, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

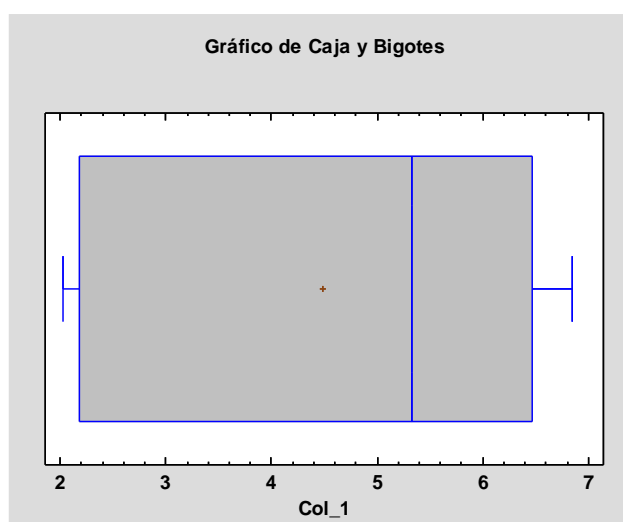


Figura 3.16. Gráfico de caja y bigotes

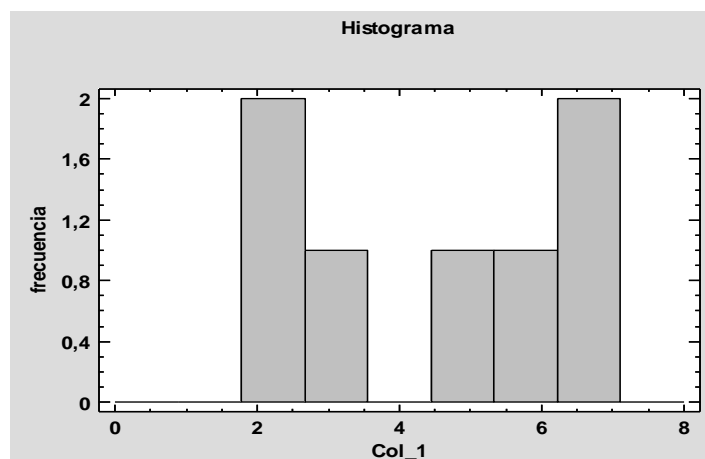
En la **Figura 3.16**, se despliega un gráfico de caja y bigotes para Col_1. Un gráfico de caja y bigotes es un buen instrumento para mostrar varias características de una muestra de datos. La parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad central de la muestra. La línea del centro dentro de la caja indica la localización de la mediana de la muestra. El signo más indica la localización de la media muestral. Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado o muy alejado, los cuales serán graficados por separado. Puntos alejados son aquellos que se encuentran a más de 1,5 veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de la caja y se muestran como pequeños cuadrados. Los puntos muy alejados se encuentran a más de 3,0 veces el rango intercuartílico por arriba o por abajo de la caja y se muestran como pequeños cuadrados con un signo más dentro de ellos. En este caso, no hay puntos alejados ni puntos muy alejados.

Tabla 3.23. Tabla de Frecuencias para Col_1

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	0		0	0,0000	0	0,0000
1	0	0,888889	0,444444	0	0,0000	0	0,0000
2	0,888889	1,77778	1,33333	0	0,0000	0	0,0000
3	1,77778	2,66667	2,22222	2	0,2857	2	0,2857
4	2,66667	3,55556	3,11111	1	0,1429	3	0,4286
5	3,55556	4,44444	4,0	0	0,0000	3	0,4286
6	4,44444	5,33333	4,88889	1	0,1429	4	0,5714
7	5,33333	6,22222	5,77778	1	0,1429	5	0,7143
8	6,22222	7,11111	6,66667	2	0,2857	7	1,0000
9	7,11111	8,0	7,55556	0	0,0000	7	1,0000
	mayor de	8		0	0,0000	7	1,0000

Media = 4,48207 Desviación Estándar = 2,06255

En la **Tabla 3.23** se muestra la opción ejecuta una tabulación de frecuencias dividiendo el rango de Col_1 en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo.

**Figura 3.17.** Gráfico de caja y bigotes

En la **Figura 3.17**, se observa el histograma de frecuencias para Col_1. En esta gráfica, se han formado 9 intervalos cubriendo desde el límite inferior de 0,0 hasta el límite superior de 8,0. Se ha tabulado el número de datos que caen en cada intervalo. La gráfica despliega el número de datos en cada intervalo.

Tabla 3.24. Percentiles para Col_1

	Percentiles
1,0%	2,0195
5,0%	2,0195
10,0%	2,0195
25,0%	2,186
50,0%	5,33
75,0%	6,47
90,0%	6,85
95,0%	6,85
99,0%	6,85

En la **Tabla 3.24** se muestra los percentiles muestrales para Col_1. Los percentiles son valores debajo de los cuales se encuentra un porcentaje específico de los datos.

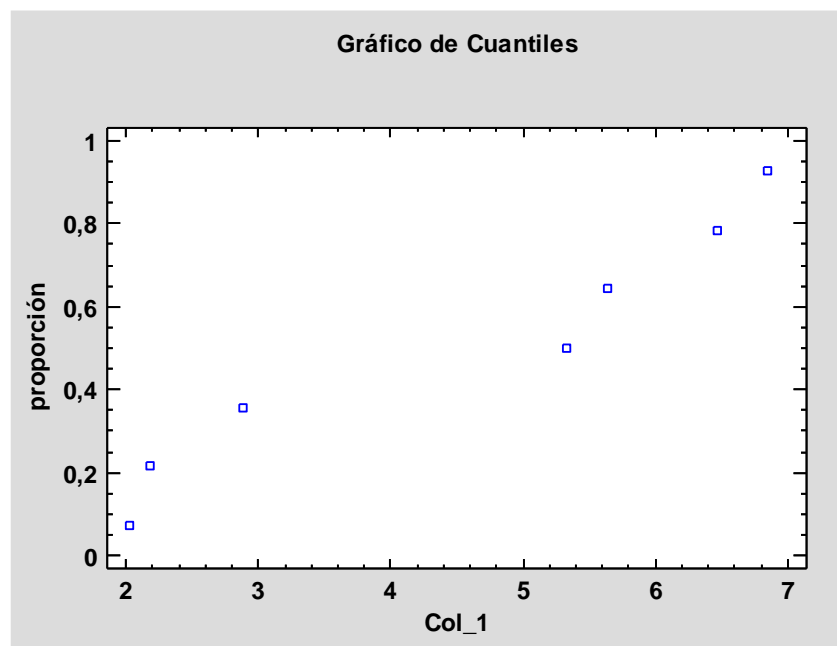


Figura 3.18. Gráfico de caja y bigotes

En la **Figura 3.18**, se observa la gráfica muestra los cuantiles de la muestra para Col_1. Los cuantiles tabulan la proporción de observaciones iguales ó menores a un valor determinado.

Tabla 3.25. Diagrama de Tallo y Hoja para Col_1: unidad = 0,1 1|2 representa 1,2

3	2 018
3	3
3	4
(2)	5 36
2	6 48

En la **Tabla 3.25** se muestra el rango de los datos se ha dividido en 5 intervalos (llamados tallos), cada uno representado por un renglón en la tabla. Los tallos se etiquetan utilizando uno ó más dígitos indicadores para los valores que caen dentro de ese intervalo. En cada renglón, los valores individuales se representan por un dígito (llamado hoja) a la derecha de la línea vertical. Esto resulta en un histograma para los datos del cual uno puede recuperar, al menos, dos dígitos significativos de cada valor. Si hay algunos puntos muy alejados del resto (llamados puntos lejanos), se colocan en tallos alto y bajo separados. En este caso, no hay puntos alejados. Los puntos alejados se muestran gráficamente en la gráfica de caja y bigote, a la cual puede accederse por vía de la lista de Opciones Gráficas.

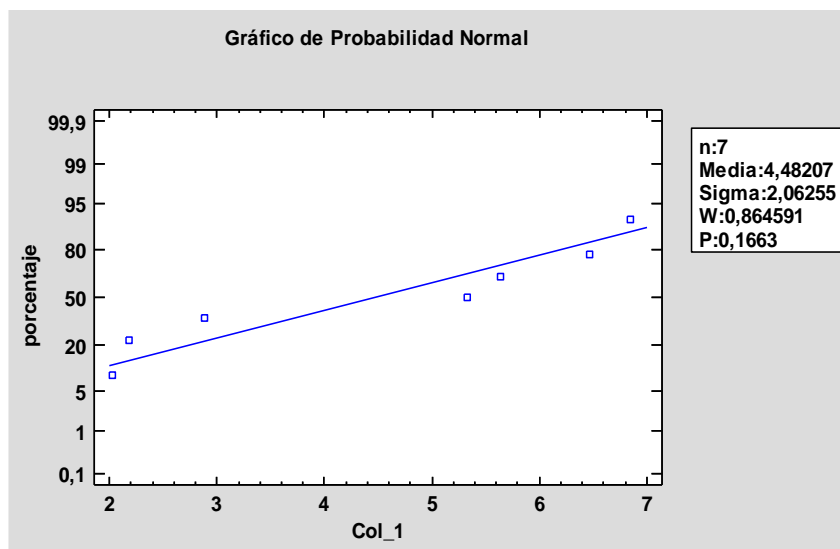


Figura 3.19. Gráfico de probabilidad normal.

En la **Figura 3.19**, se observa la gráfica de probabilidad normal para Col_1. Para generar esta gráfica, los datos se ordenan de menor a mayor. Se han graficado versus los valores $(i-0.375)/(n+0.25)$, en donde n es el tamaño de la muestra. Si los datos provienen de una distribución normal, los puntos deberán quedar aproximadamente a lo largo de una línea recta. Para ayudarle a juzgar que tan cerca de una línea recta se encuentran, se ha sobrepuesto

en la gráfica una línea de referencia. La línea de referencia se ha determinado a partir de la media y la desviación estándar de los residuos. Si los puntos muestran una curvatura significativa, bien puede ser una indicación de sesgo en los datos.

3.4.1.1 Intervalos de Confianza para Col_1

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: $4,48207 \pm 1,90755$ [2,57452; 6,38962]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [1,3291; 4,54188] El

Se muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de Col_1. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de Col_1 se encuentra en algún lugar entre 2,57452 y 6,38962, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 1,3291 y 4,54188. Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto.

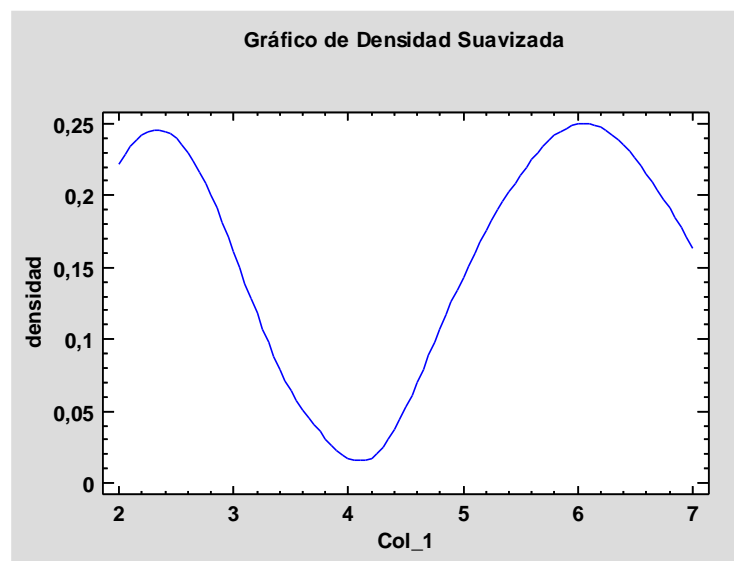


Figura 3.20. Gráfico de densidad suavizada.

En la **Figura 3.20**, se observa la traza de densidad para Col_1. Esencialmente, una traza de densidad es un histograma suavizado, el cual despliega la distribución de la cual proviene la muestra. La traza se construye contando el número de observaciones dentro de un intervalo de ancho fijo conforme éste se mueve a lo largo del eje X, y ponderándolos de modo que den un estimado suavizado de la función de densidad subyacente. Se puede controlar el ancho del intervalo y los factores de ponderación aplicados a los recuentos, pulsando el botón secundario del ratón y escogiendo Opciones de Ventana. La traza de densidad en la gráfica actual usa los recuentos ponderados (método del coseno) con un intervalo igual a 60% del ancho del eje horizontal.

3.4.1.2 Prueba de Hipótesis para Col_1

Media Muestral = 4,48207

Mediana Muestral = 5,33

Desviación Estándar de la Muestra = 2,06255

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 5,7494

Valor-P = 0,00120508

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de los signos

Hipótesis Nula: mediana = 0

Alternativa: no igual

Número de valores menores a la mediana hipotética: 0

Número de valores mayores a la mediana hipotética: 7

Estadístico para Grandes Muestras = 2,26779 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,0233421

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de rangos con signo

Hipótesis Nula: mediana = 0

Alternativa: no igual

Rango medio de valores menores a la mediana hipotética: 0

Rango medio de valores mayores a la mediana hipotética: 4,0

Estadístico para Grandes Muestras = 2,28192 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,0224941

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

Prueba chi-cuadrada

Hipótesis Nula: $\sigma = 1,0$

Alternativa: no igual

Chi-cuadrado calculado = 25,5248

Valor-P = 0,00054581

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$

Se puede observar los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de Col_1. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la media de Col_1 es no igual a 0,0. Debido a que el valor P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

La prueba de los signos evalúa la hipótesis de que la mediana de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana Col_1 es no igual a 0,0. Se basa en contar el número de valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

La prueba de rangos con signo evalúa la hipótesis nula de que la mediana de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana Col_1 es no igual a 0,0. Se basa en comparar los rankeos promedio de los valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

La prueba del signo y la del signo con rango son menos sensibles a la presencia de valores aberrantes, pero son un tanto menos potente que la prueba-t si todos los datos provienen de la misma distribución normal.

La prueba de chi-cuadrada evalúa la hipótesis nula de que la desviación estándar de Col_1 es igual a 1,0 versus la hipótesis alterna de que la desviación estándar de Col_1 es no igual a 1,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

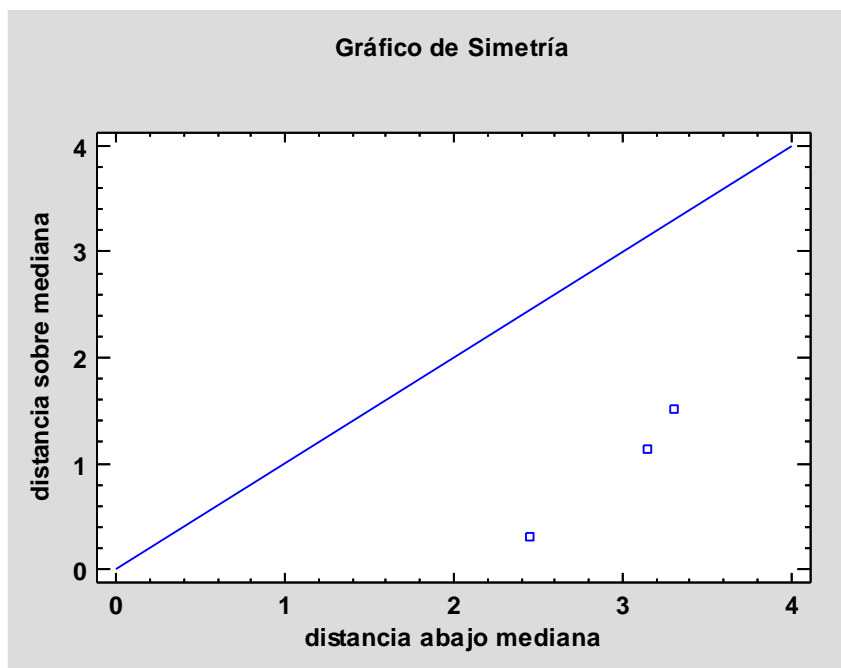


Figura 3.21. Gráfico de simetría.

En la **Figura 3.21**, se observa la simetría para Col_1. La gráfica se construye primero ordenando los valores en los datos de menor a mayor. Después, se seleccionan el valor justo a la izquierda de la mediana y el valor justo a la derecha de la mediana, y se grafica un punto mostrando las distancias respectivas respecto a la mediana. El proceso se repite para el segundo par de puntos más cercano a la mediana, para los terceros más cercanos, y así sucesivamente. Si la distribución es simétrica, los puntos caerán en cerca de la línea diagonal de referencia. Si la distribución tiene un sesgo positivo, se verán puntos que se desvían por arriba de la línea. Si la distribución tiene un sesgo negativo, se verán puntos que se desvían por debajo de la línea.

3.4.2. ESFUERZO MÁXIMO

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. Estos datos serán verificados y utilizados en cada una de las gráficas para poder observar el comportamiento requerido en cada uno de los valores tomados de la tabla 3.19, estos datos están debidamente calculados para cada uno de los gráficos que calcularan cada una de la hipótesis planteada para su respectivo estudio.

También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis.

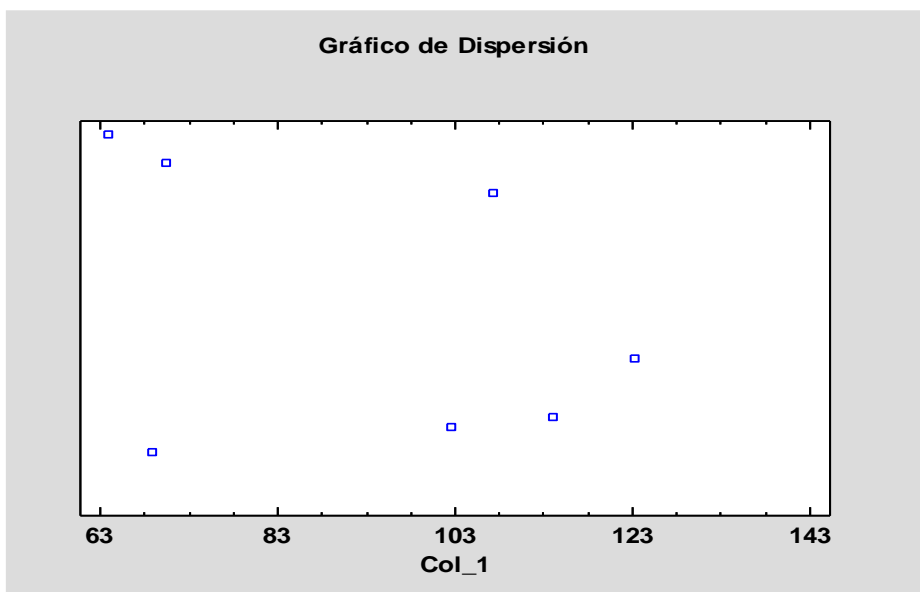


Figura 3.22. Gráfico de dispersión.

En la **Figura 3.22**, muestra los valores observados de Col_1. Se han separado en dirección vertical para evitar sobreposiciones. La separación agrega una pequeña distancia aleatoria a cada punto, antes de graficarlo. Se puede controlar la separación pulsando el botón con las cuatro flechas en la barra de herramientas para análisis.

Tabla 3.26. Resumen Estadístico para Col_1

Recuento	7
Promedio	92,8812
Desviación Estándar	24,4581
Coefficiente de Variación	26,3327%

Tabla 3.26. Resumen Estadístico para Col_1(**Continuación...**)

Mínimo	63,93
Máximo	123,35
Rango	59,42
Sesgo Estandarizado	-0,13787
Curtosis Estandarizada	-1,22621

En la **Tabla 3.26**, muestra los estadísticos de resumen para Col_1. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

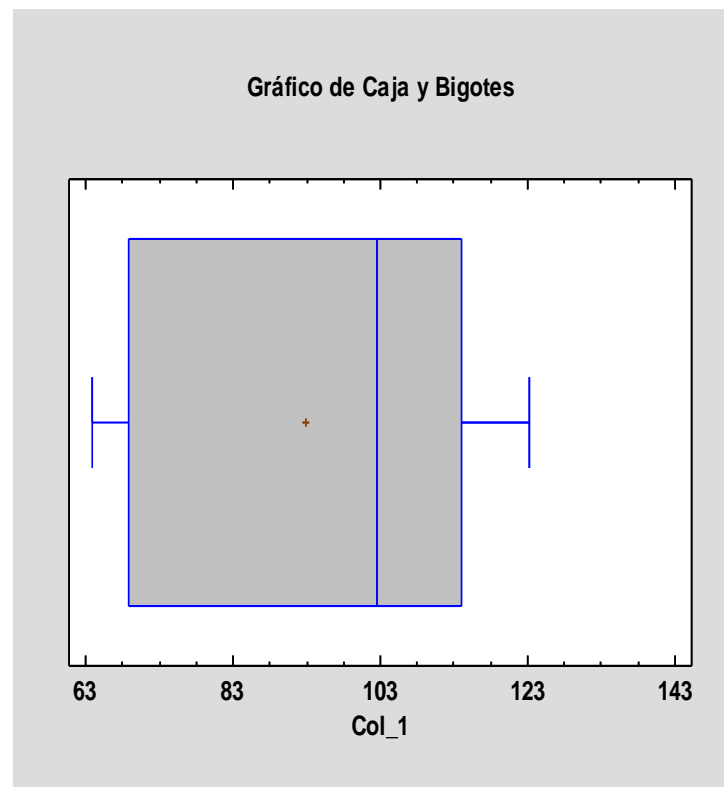


Figura 3.23. Gráfico de caja y bigotes.

En la **Figura 3.23**, se observa un gráfico de caja y bigotes para Col_1. Un gráfico de caja y bigotes es un buen instrumento para mostrar varias características de una muestra de datos. La parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad central de la muestra. La línea del centro dentro de la caja indica la localización de la mediana de la muestra. El signo más indica la localización de la media muestral. Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo

en la muestra, excepto por cualquier punto alejado ó muy alejado, los cuales serán graficados por separado. Puntos alejados son aquellos que se encuentran a más de 1,5 veces el rango intercuartílico por arriba o por debajo de la caja y se muestran como pequeños cuadrados. Los puntos muy alejados se encuentran a más de 3,0 veces el rango intercuartílico por arriba ó por abajo de la caja y se muestran como pequeños cuadrados con un signo más dentro de ellos. En este caso, no hay puntos alejados ni puntos muy alejados.

Tabla 3.27. Tabla de Frecuencias para Col_1

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	0		0	0,0000	0	0,0000
1	60	68,8889	64,4444	2	0,2857	2	0,2857
2	68,8889	77,7778	73,3333	1	0,1429	3	0,4286
3	77,7778	86,6667	82,2222	0	0,0000	3	0,4286
4	86,6667	95,5556	91,1111	0	0,0000	3	0,4286
5	95,5556	104,444	100,0	1	0,1429	4	0,5714
6	104,444	113,333	108,889	1	0,1429	5	0,7143
7	113,333	122,222	117,778	1	0,1429	6	0,8571
8	122,222	131,111	126,667	1	0,1429	7	1,0000
9	131,111	140,0	135,556	0	0,0000	7	1,0000
	mayor de	140		0	0,0000	7	1,0000

Media = 92,8812 Desviación Estándar = 24,4581

En la **Tabla 3.27**, se observa la tabulación de frecuencias dividiendo el rango de Col_1 en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

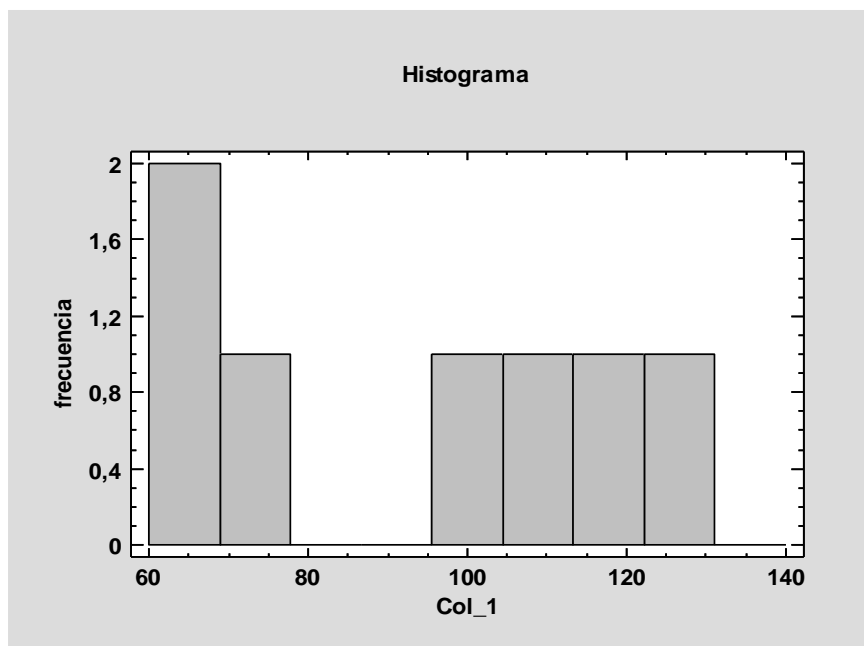


Figura 3.24. Gráfico de histograma.

En la **Figura 3.24**, se observa el histograma de frecuencias para Col_1. En esta gráfica, se han formado 9 intervalos cubriendo desde el límite inferior de 60,0 hasta el límite superior de 140,0. Se ha tabulado el número de datos que caen en cada intervalo. La gráfica despliega el número de datos en cada intervalo.

Tabla 3.28. Percentiles para Col_1

	Percentiles
1,0%	63,93
5,0%	63,93
10,0%	63,93
25,0%	68,8695
50,0%	102,45
75,0%	113,954
90,0%	123,35
95,0%	123,35
99,0%	123,35

En la **Tabla 3.24**, se observa los percentiles muestrales para Col_1. Los percentiles son valores debajo de los cuales se encuentra un porcentaje específico de los datos.

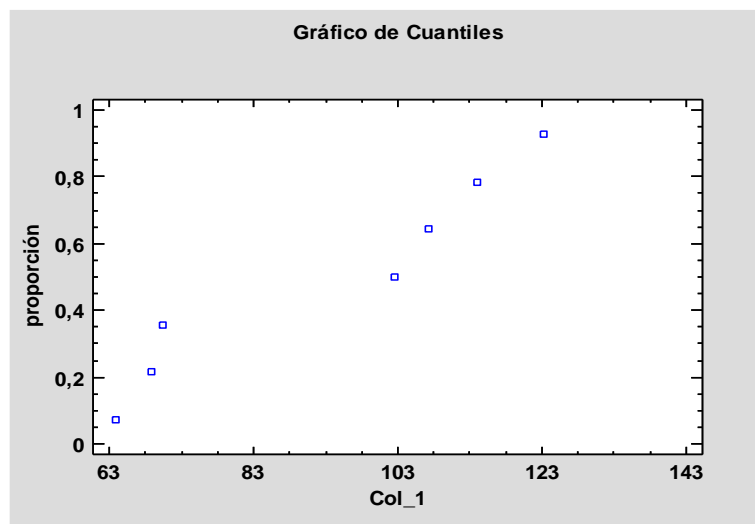


Figura 3.25. Gráfico de cuantiles.

En la **Figura 3.25**, se muestra los cuantiles de la muestra para Col_1. Los cuantiles tabulan la proporción de observaciones iguales o menores a un valor determinado.

Tabla 3.29. Diagrama de Tallo y Hoja para Col_1: unidad = 0,1 1|2 representa 1,2

2	6 38
3	7 0
3	8
3	9
(2)	10 27
2	11 3
1	12 3

En la **Tabla 3.29**, se muestra la tabulación de frecuencias para Col_1. El rango de los datos se ha dividido en 7 intervalos (llamados tallos), cada uno representado por un renglón en la tabla. Los tallos se etiquetan utilizando uno ó más dígitos indicadores para los valores que caen dentro de ese intervalo. En cada renglón, los valores individuales se representan por un dígito (llamado hoja) a la derecha de la línea vertical. Esto resulta en un histograma para los datos del cual uno puede recuperar, al menos, dos dígitos significativos de cada valor. Si hay algunos puntos muy alejados del resto (llamados puntos lejanos), se colocan en tallos alto y bajo separados. En este caso, no hay puntos alejados. Los puntos alejados se muestran gráficamente en la gráfica de caja y bigote, a la cual puede accederse por vía de la lista de Opciones Gráficas. La columna de números

de la extrema izquierda contiene los recuentos acumulados desde el inicio y desde el fondo de la tabla, deteniéndose en el renglón que contiene a la mediana.

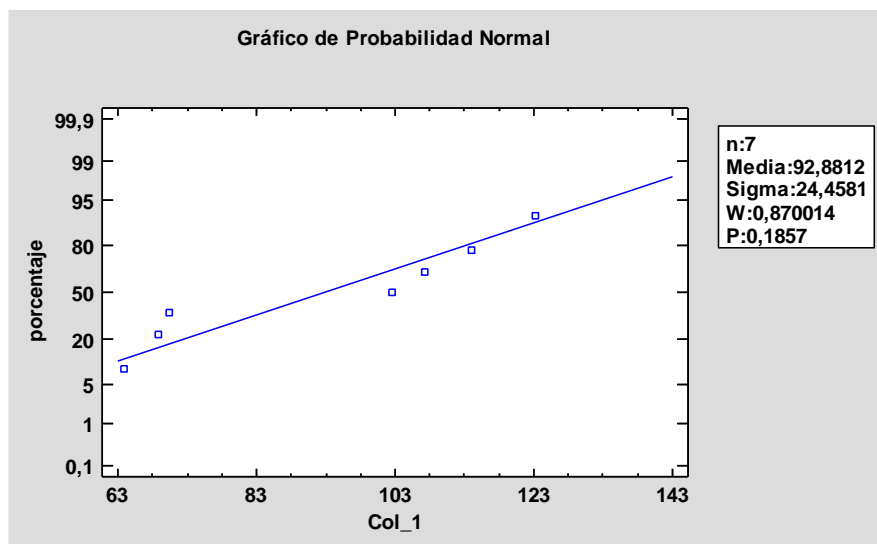


Figura 3.26. Gráfico de probabilidad normal.

En la **Figura 3.26.** se muestra la gráfica de probabilidad normal para Col_1. Para generar esta gráfica, los datos se ordenan de menor a mayor. Se han graficado versus los valores $(i-0.375)/(n+0.25)$, en donde n es el tamaño de la muestra. Si los datos provienen de una distribución normal, los puntos deberán quedar aproximadamente a lo largo de una línea recta. Para ayudarle a juzgar que tan cerca de una línea recta se encuentran, se ha sobrepuesto en la gráfica una línea de referencia. La línea de referencia se ha determinado a partir de la media y la desviación estándar de los residuos. Si los puntos muestran una curvatura significativa, bien puede ser una indicación de sesgo en los datos.

3.4.2.1 Intervalos de Confianza para Col_1

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 92,8812 +/- 22,6201 [70,2612; 115,501]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [15,7607; 53,8584]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de Col_1. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera

de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de Col_1 se encuentra en algún lugar entre 70,2612 y 115,501, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 15,7607 y 53,8584.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

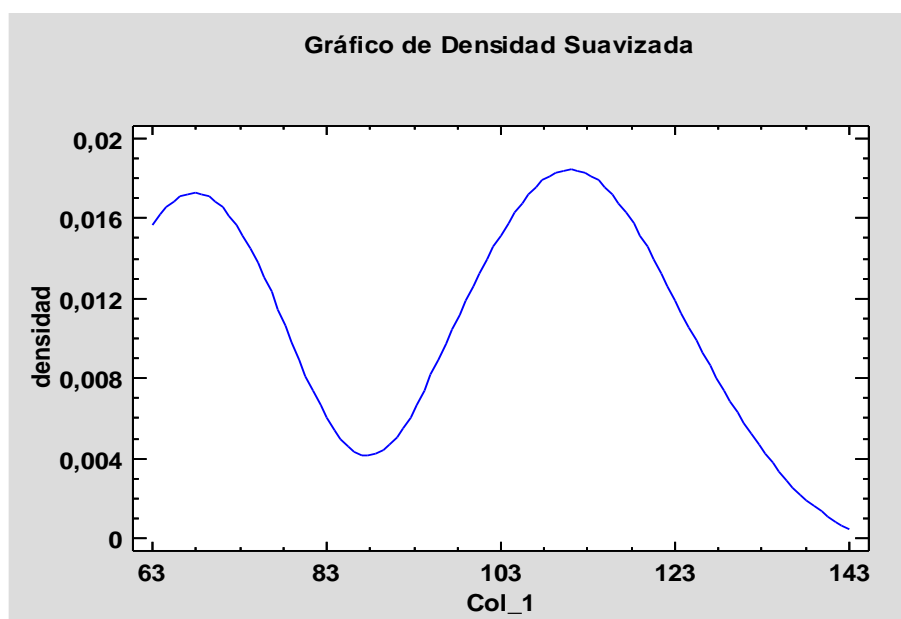


Figura 3.27. Gráfico de densidad suavizada.

En la **Figura 3.27**, se muestra la traza de densidad para Col_1. Esencialmente, una traza de densidad es un histograma suavizado, el cual despliega la distribución de la cual proviene la muestra. La traza se construye contando el número de observaciones dentro de un intervalo de ancho fijo conforme éste se mueve a lo largo del eje X, y ponderándolos de modo que den un estimado suavizado de la función de densidad subyacente. Se puede controlar el ancho del intervalo y los factores de ponderación aplicados a los recuentos, pulsando el botón secundario del ratón y escogiendo Opciones de Ventana. La traza de

densidad en la gráfica actual usa los recuentos ponderados (método del coseno) con un intervalo igual a 60% del ancho del eje horizontal.

3.4.2.2 Prueba de Hipótesis para Col_1

Media Muestral = 92,8812

Mediana Muestral = 102,45

Desviación Estándar de la Muestra = 24,4581

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 10,0474

Valor-P = 0,0000563786

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de los signos

Hipótesis Nula: mediana = 0

Alternativa: no igual

Número de valores menores a la mediana hipotética: 0

Número de valores mayores a la mediana hipotética: 7

Estadístico para Grandes Muestras = 2,26779 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,0233421

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de rangos con signo

Hipótesis Nula: mediana = 0

Alternativa: no igual

Rango medio de valores menores a la mediana hipotética: 0

Rango medio de valores mayores a la mediana hipotética: 4,0

Estadístico para Grandes Muestras = 2,28192 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,0224941

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba chi-cuadrada

Hipótesis Nula: $\sigma = 1,0$

Alternativa: no igual

Chi-cuadrado calculado = 3589,2

Valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Se observa los resultados de las pruebas relativas a la población de la cual procede la muestra de Col_1. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la media de Col_1 es no igual a 0,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza. La prueba de los signos evalúa la hipótesis de que la mediana de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana Col_1 es no igual a 0,0. Se basa en contar el número de valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza. La prueba de rangos con signo evalúa la hipótesis nula de que la mediana de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana Col_1 es no igual a 0,0. Se basa en comparar los rankeos promedio de los valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza. La prueba del signo y la del signo con rango son menos sensibles a la presencia de valores aberrantes, pero son un tanto menos potente que la prueba-t si todos los datos provienen de la misma distribución normal.

La prueba de chi-cuadrada evalúa la hipótesis nula de que la desviación estándar de Col_1 es igual a 1,0 versus la hipótesis alterna de que la desviación estándar de Col_1 es no igual

a 1,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

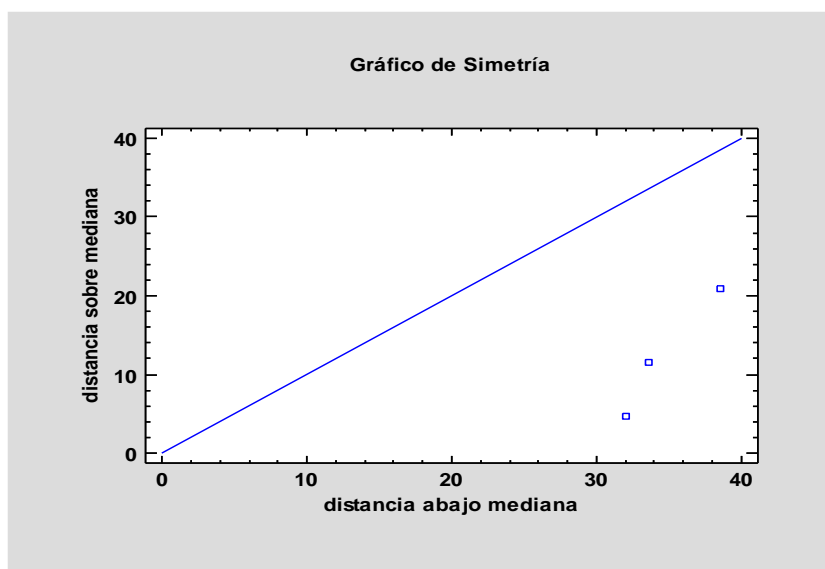


Figura 3.28. Gráfico de densidad simetría.

En la **Figura 3.28**, se observa la simetría para Col_1. La gráfica se construye primero ordenando los valores en los datos de menor a mayor. Después, se seleccionan el valor justo a la izquierda de la mediana y el valor justo a la derecha de la mediana, y se grafica un punto mostrando las distancias respectivas respecto a la mediana. El proceso se repite para el segundo par de puntos más cercano a la mediana, para los terceros más cercanos, y así sucesivamente. Si la distribución es simétrica, los puntos caerán en cerca de la línea diagonal de referencia. Si la distribución tiene un sesgo positivo, se verán puntos que se desvían por arriba de la línea. Si la distribución tiene un sesgo negativo, se verán puntos que se desvían por debajo de la línea. Se puede probar la significancia estadística de cualquier sesgo aparente seleccionando Estadísticas de Resumen, de la lista de Opciones Tabulares.

3.4.3. ELASTICIDAD

Este procedimiento está diseñado para resumir una sola muestra de datos. Calculará varios estadísticos y gráficas. También incluidos en el procedimiento están los intervalos de confianza y las pruebas de hipótesis. Use los botones de Opciones Tabulares y de Opciones

Gráficas en la barra de herramientas para análisis, para acceder a estos diferentes procedimientos.

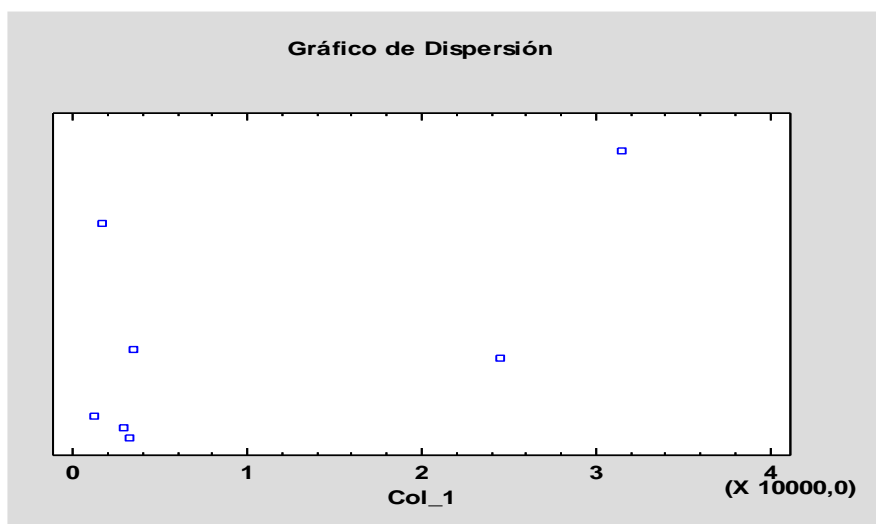


Figura 3.29. Gráfico de densidad dispersión.

En la **Figura 3.29**, nos muestra los valores observados de Col_1. Se han separado en dirección vertical para evitar sobreposiciones. La separación agrega una pequeña distancia aleatoria a cada punto, antes de graficarlo. Se puede controlar la separación pulsando el botón con las cuatro flechas en la barra de herramientas para análisis.

Tabla 3.30. Resumen Estadístico para Col_1

Recuento	7
Promedio	9787,95
Desviación Estándar	12623,9
Coefficiente de Variación	128,974%
Mínimo	1209,59
Máximo	31469,5
Rango	30260,0
Sesgo Estandarizado	1,42427
Curtosis Estandarizada	-0,103645

En la **Tabla 3.30**, se muestra los estadísticos de resumen para Col_1. Incluye medidas de tendencia central, medidas de variabilidad y medidas de forma. De particular interés aquí

son el sesgo estandarizado y la curtosis estandarizada, las cuales pueden utilizarse para determinar si la muestra proviene de una distribución normal. Valores de estos estadísticos fuera del rango de -2 a +2 indican desviaciones significativas de la normalidad, lo que tendería a invalidar cualquier prueba estadística con referencia a la desviación estándar. En este caso, el valor del sesgo estandarizado se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes una distribución normal. El valor de curtosis estandarizada se encuentra dentro del rango esperado para datos provenientes de una distribución normal.

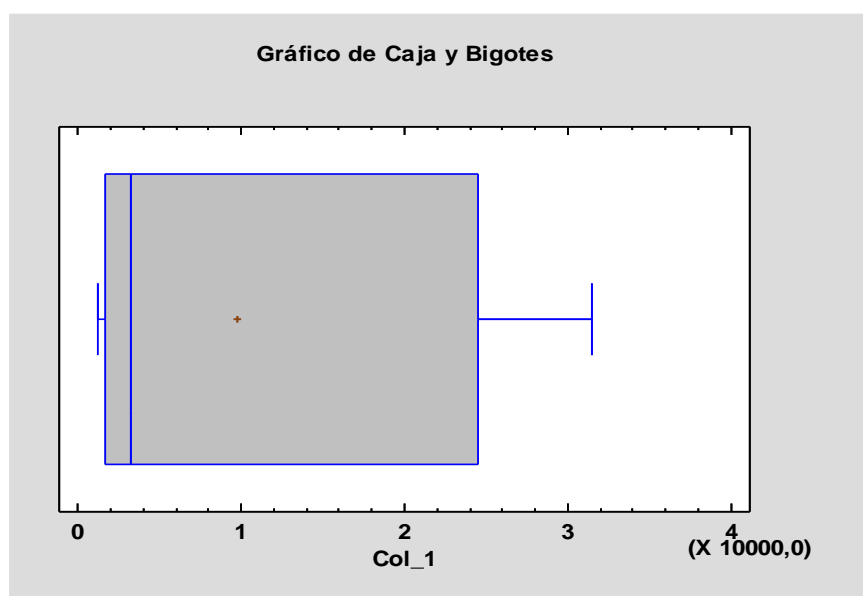


Figura 3.30. Gráfico de caja y bigotes.

En la **Figura 3.30**, se observa un gráfico de caja y bigotes para Col_1. Un gráfico de caja y bigotes es un buen instrumento para mostrar varias características de una muestra de datos. La parte rectangular del diagrama se extiende desde el cuartil inferior hasta el cuartil superior, cubriendo la mitad central de la muestra. La línea del centro dentro de la caja indica la localización de la mediana de la muestra. El signo más indica la localización de la media muestral. Los bigotes se extienden desde la caja hasta los valores mínimo y máximo en la muestra, excepto por cualquier punto alejado ó muy alejado, los cuales serán graficados por separado. Puntos alejados son aquellos que se encuentran a más de 1,5 veces el rango intercuartílico por arriba ó por debajo de la caja y se muestran como pequeños cuadrados. Los puntos muy alejados se encuentran a más de 3,0 veces el rango intercuartílico por arriba o por abajo de la caja y se muestran como pequeños cuadrados con un signo más dentro de ellos. En este caso, no hay puntos alejados ni puntos muy alejados.

Tabla 3.31. Tabla de Frecuencias para Col_1

Clase	Límite Inferior	Límite Superior	Punto Medio	Frecuencia	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Frecuencia Rel. Acum.
	menor o igual	-999		0	0,0000	0	0,0000
1	-999	3444,44	1222,22	4	0,5714	4	0,5714
2	3444,44	7888,89	5666,67	1	0,1429	5	0,7143
3	7888,89	12333,3	10111,1	0	0,0000	5	0,7143
4	12333,3	16777,8	14555,6	0	0,0000	5	0,7143
5	16777,8	21222,2	19000,0	0	0,0000	5	0,7143
6	21222,2	25666,7	23444,4	1	0,1429	6	0,8571
7	25666,7	30111,1	27888,9	0	0,0000	6	0,8571
8	30111,1	34555,6	32333,3	1	0,1429	7	1,0000
9	34555,6	39000,0	36777,8	0	0,0000	7	1,0000
	mayor de	39000		0	0,0000	7	1,0000

Media = 9787,95 Desviación Estándar = 12623,9

En la **Tabla 3.31**, se observa la tabulación de frecuencias dividiendo el rango de Col_1 en intervalos del mismo ancho, y contando el número de datos en cada intervalo. Las frecuencias muestran el número de datos en cada intervalo, mientras que las frecuencias relativas muestran las proporciones en cada intervalo con cada una de los datos o variables elegidos, para cada uno de los datos cuya hipótesis delimitará la forma más exacta de cada una para el respectivo calculo y así poder definir si la hipótesis será aceptada o no del material. Puede cambiarse la definición de los intervalos pulsando el botón secundario del ratón y seleccionando Opciones de Ventana. Pueden verse gráficamente los resultados con las variables elegidas de la tabulación seleccionando Histograma de Frecuencias de la lista de Opciones Gráficas.

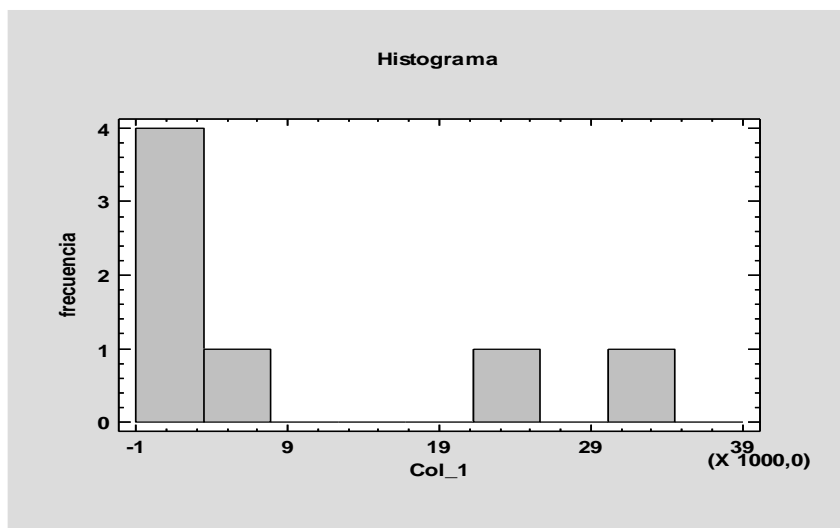


Figura 3.31. Gráfico de histograma.

En la **Figura 3.31**, se observa el histograma de frecuencias para Col_1. En esta gráfica, se han formado 9 intervalos cubriendo desde el límite inferior de -1000,0 hasta el límite superior de 39000,0. Se ha tabulado el número de datos que caen en cada intervalo. La gráfica despliega el número de datos en cada intervalo.

Tabla 3.32. Percentiles para Col_1

	Percentiles
1,0%	1209,59
5,0%	1209,59
10,0%	1209,59
25,0%	1684,64
50,0%	3231,88
75,0%	24517,4
90,0%	31469,5
95,0%	31469,5
99,0%	31469,5

En la **Tabla 3.32**, se observa los percentiles muestrales para Col_1. Los percentiles son valores debajo de los cuales se encuentra un porcentaje específico de los datos. Puede verse

gráficamente los percentiles seleccionado Gráfica de Cuantiles, de la lista de opciones Gráficas.

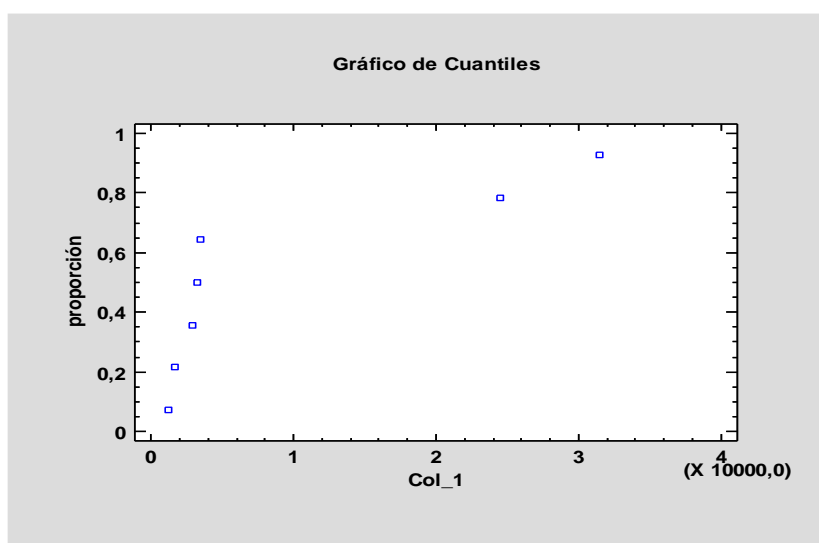


Figura 3.32. Gráfico de cuantiles.

En la **Figura 3.32**, se muestra los cuantiles de la muestra para Col_1. Los cuantiles tabulan la proporción de observaciones iguales o menores a un valor determinado. Para obtener los valores numéricos de los cuantiles, selecciones Percentiles, de la lista de Opciones Tabulares.

Tabla 3.33. Diagrama de Tallo y Hoja para Col_1: unidad = 0,1 1|2 representa 1,2

(5)	0 11233
2	0
2	1
2	1
2	2 4
1	2
1	3 1

En la **Tabla 3.33**, se muestra la tabulación de frecuencias para Col_1. El rango de los datos se ha dividido en 7 intervalos (llamados tallos), cada uno representado por un renglón en la tabla. Los tallos se etiquetan utilizando uno ó más dígitos indicadores para los valores que caen dentro de ese intervalo. En cada renglón, los valores individuales se representan por un dígito (llamado hoja) a la derecha de la línea vertical. Esto resulta

en un histograma para los datos del cual uno puede recuperar, al menos, dos dígitos significativos de cada valor. Si hay algunos puntos muy alejados del resto (llamados puntos lejanos), se colocan en tallos alto y bajo separados. En este caso, no hay puntos alejados. Los puntos alejados se muestran gráficamente en la gráfica de caja y bigote, a la cual puede accederse por vía de la lista de Opciones Gráficas. La columna de números de la extrema izquierda contiene los recuentos acumulados desde el inicio y desde el fondo de la tabla, deteniéndose en el renglón que contiene a la mediana.

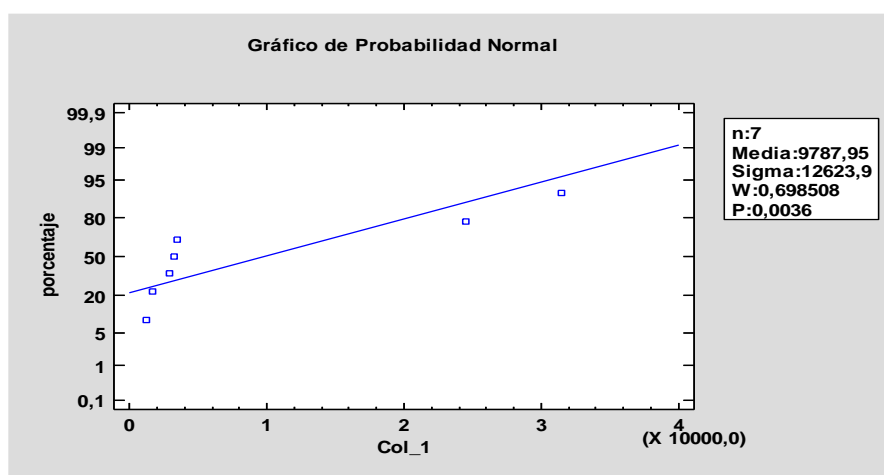


Figura 3.33. Gráfico de probabilidad normal.

En la **Figura 3.33.** se muestra la gráfica de probabilidad normal para Col_1. Para generar esta gráfica, los datos se ordenan de menor a mayor. Se han graficado versus los valores $(i - 0.375) / (n + 0.25)$, en donde n es el tamaño de la muestra. Si los datos provienen de una distribución normal, los puntos deberán quedar aproximadamente a lo largo de una línea recta. Para ayudarle a juzgar que tan cerca de una línea recta se encuentran, se ha sobrepuesto en la gráfica una línea de referencia. La línea de referencia se ha determinado a partir de la media y la desviación estándar de los residuos. Si los puntos muestran una curvatura significativa, bien puede ser una indicación de sesgo en los datos.

3.4.3.1 Intervalos de Confianza para Col_1

Intervalos de confianza del 95,0% para la media: 9787,95 +/- 11675,2[-1887,21; 21463,1]

Intervalos de confianza del 95,0% para la desviación estándar: [8134,73; 27798,6]

Este panel muestra los intervalos de confianza del 95,0% para la media y la desviación estándar de Col_1. La interpretación clásica de estos intervalos es que, en muestreos repetidos, estos intervalos contendrán la media verdadera o la desviación estándar verdadera de la población de la que fueron extraídas las muestras, el 95,0% de las veces. En términos prácticos, puede establecerse con 95,0% de confianza, que la media verdadera de Col_1 se encuentra en algún lugar entre -1887,21 y 21463,1, en tanto que la desviación estándar verdadera está en algún lugar entre 8134,73 y 27798,6.

Ambos intervalos asumen que la población de la cual proviene la muestra puede representarse por la distribución normal. Mientras que el intervalo de confianza para la media es bastante robusto y no muy sensible a violaciones de este supuesto, los intervalos de confianza para la desviación estándar son muy sensibles. Si los datos no provienen de una distribución normal, el intervalo para la desviación estándar puede ser incorrecto. Para verificar si los datos provienen de una distribución normal, seleccione Resumen Estadístico de la lista de Opciones Tabulares, o escoja Gráfica de Probabilidad Normal de la lista de Opciones Gráficas.

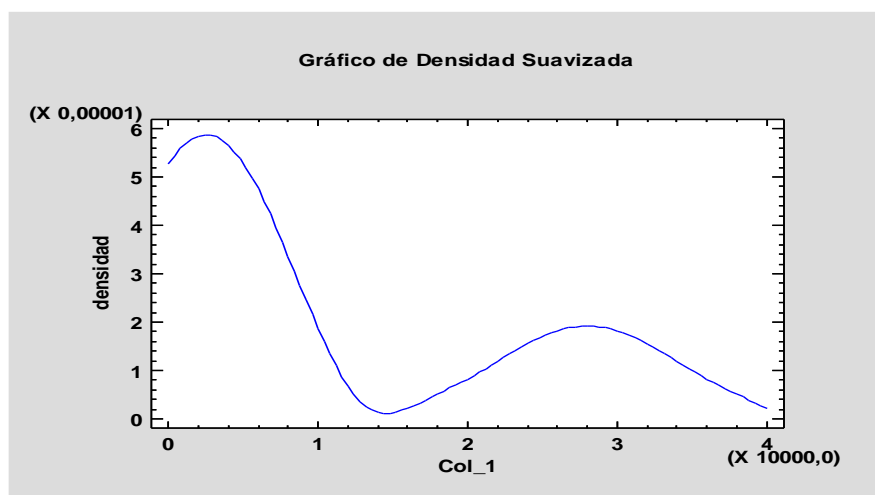


Figura 3.34. Gráfico de densidad suavizada.

En la **Figura 3.34**, se muestra la traza de densidad para Col_1. Esencialmente, una traza de densidad es un histograma suavizado, el cual despliega la distribución de la cual proviene la muestra. La traza se construye contando el número de observaciones dentro de un intervalo de ancho fijo conforme éste se mueve a lo largo del eje X, y ponderándolos de modo que den un estimado suavizado de la función de densidad subyacente. Se puede

controlar el ancho del intervalo y los factores de ponderación aplicados a los recuentos, pulsando el botón secundario del ratón y escogiendo Opciones de Ventana. La traza de densidad en la gráfica actual usa los recuentos ponderados (método del coseno) con un intervalo igual a 60% del ancho del eje horizontal.

3.4.3.2 Prueba de Hipótesis para Col_1

Media Muestral = 9787,95

Mediana Muestral = 3231,88

Desviación Estándar de la Muestra = 12623,9

Prueba t

Hipótesis Nula: media = 0

Alternativa: no igual

Estadístico t = 2,05139

Valor-P = 0,0860762

No se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de los signos

Hipótesis Nula: mediana = 0

Alternativa: no igual

Número de valores menores a la mediana hipotética: 0

Número de valores mayores a la mediana hipotética: 7

Estadístico para Grandes Muestras = 2,26779 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,0233421

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba de rangos con signo

Hipótesis Nula: mediana = 0

Alternativa: no igual

Rango medio de valores menores a la mediana hipotética: 0

Rango medio de valores mayores a la mediana hipotética: 4,0

Estadístico para Grandes Muestras = 2,28192 (aplicada la corrección por continuidad)

Valor-P = 0,0224941

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Prueba chi-cuadrada

Hipótesis Nula: $\sigma = 1,0$

Alternativa: no igual

Chi-cuadrado calculado = 9,56172E8

Valor-P = 0

Se rechaza la hipótesis nula para alfa = 0,05.

Se observa los resultados de las pruebas relativas a las variables o a la población de la cual procede la muestra de Col_1. La prueba-t evalúa la hipótesis de que la media de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la media de Col_1 es no igual a 0,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es mayor o igual a 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula, con un nivel de confianza del 95,0% de confianza.

La prueba de los signos evalúa la hipótesis de que la mediana de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana Col_1 es no igual a 0,0. Se basa en contar el número de valores arriba y abajo de la mediana hipotética. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

La prueba de rangos con signo evalúa y verifica la hipótesis nula de que la mediana de Col_1 es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la mediana Col_1 es no igual a 0,0. Se basa en comparar los rankeos promedio de cada uno de los valores planteados y tomados de las tablas de los valores desde la dirección de arriba y abajo de la mediana hipotética logrando obtener una hipótesis clara y certera para cada uno de los estudios realizadas. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

La prueba del signo y la del signo con rango son menos sensibles a la presencia de valores aberrantes, pero son un tanto menos potente que la prueba-t si todos los datos provienen de la misma distribución normal.

La prueba de chi-cuadrada evalúa la hipótesis nula de que la desviación estándar de Col_1 es igual a 1,0 versus la hipótesis alterna de que la desviación estándar de Col_1 es no igual a 1,0. Debido a que el valor-P para esta prueba es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula con un 95,0% de confianza.

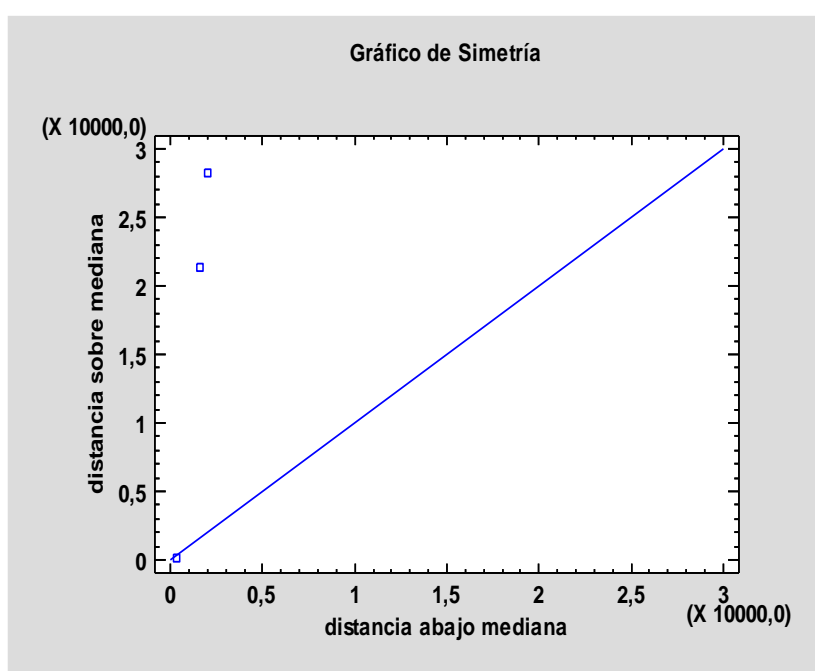


Figura 3.35. Gráfico de densidad simetría.

En la **Figura 3.35**, se observa la simetría para Col_1. La gráfica se construye primero ordenando los valores en los datos de menor a mayor. Después, se seleccionan el valor justo a la izquierda de la mediana y el valor justo a la derecha de la mediana, y se grafica un punto mostrando las distancias respectivas respecto a la mediana. El proceso se repite para el segundo par de puntos más cercano a la mediana, para los terceros más cercanos, y así sucesivamente. Si la distribución es simétrica, los puntos caerán en cerca de la línea diagonal de referencia. Si la distribución tiene un sesgo positivo, se verán puntos que se desvían por arriba de la línea. Si la distribución tiene un sesgo negativo, se verán puntos que se desvían por debajo de la línea. Se puede probar la significancia estadística de cualquier sesgo aparente seleccionando Estadísticas de Resumen, de la lista de Opciones Tabulares.

3.5 ANÁLISIS DEL PROTOTIPO

Se realizó la comparación del prototipo fabricado con fibra de bambú y resina epóxica con el guardabarros original de la camioneta Mazda BT-50. Se tomó en cuenta las características mecánicas del material original que viene a ser de polipropileno que es utilizado en los plásticos de los componentes automotrices comparado con las características mecánicas del material compuesto con dos porcentajes la primera a base del 25% de resina epóxica y 75% de fibra de bambú y la segunda a base de 40% de resina epóxica y 60% de fibra de bambú.

3.4.1 CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL ORIGINAL DEL GUARDABARROS DE LA CAMIONETA MAZDA BT-50

Se tomó los resultados del estudio realizado al material polipropileno sometido a las pruebas de tracción, flexión e impacto.

En la **Tabla 3.34**, se detalla los resultados del polipropileno que fue sometido a los ensayos ya mencionados.

Tabla 3.34. Propiedades mecánicas del polipropileno

PROPIEDADES DEL POLIPROPILENO	
Módulo de Elasticidad a tracción (MPa).	380.31
Módulo de Elasticidad a flexión (MPa).	2 559
Resistencia máxima al impacto (J)	3.9

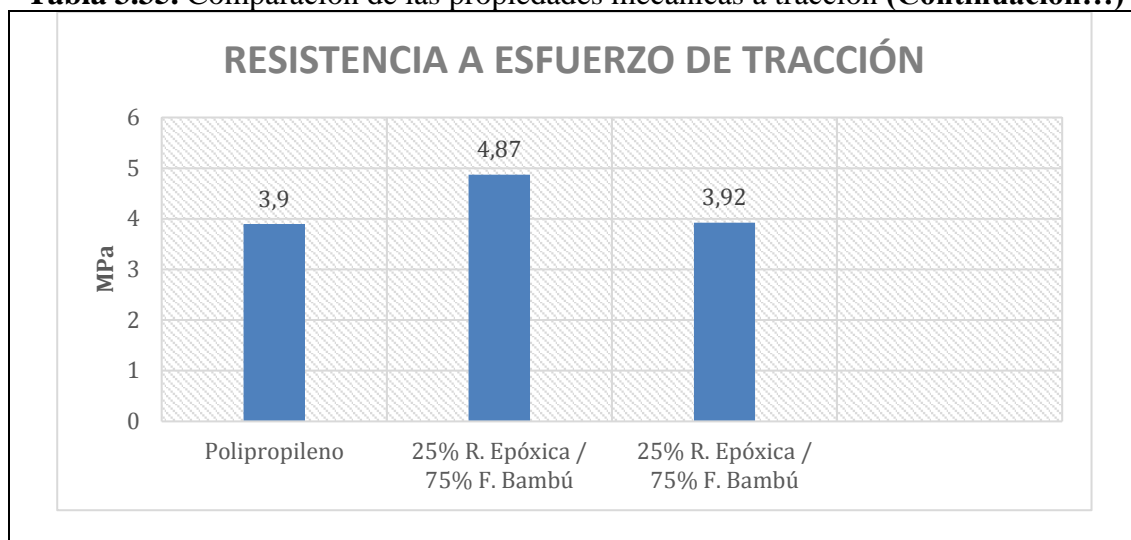
Fuente: (Carlos et al., 2016, p. 59)

3.4.2 ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL GUARDABARROS FABRICADO CON EL ORIGINAL

En la **Tabla 3.35**, se tiene la comparación de las características mecánicas del ensayo a tracción del material original y del compuesto con dos tipos de porcentajes.

Tabla 3.35. Comparación de las propiedades mecánicas a tracción

PROPIEDADES MECÁNICAS A TRACCIÓN		
Módulo de Elasticidad a tracción (MPa)		
Polipropileno	25% R. Epóxica / 75% F. Bambú	40% R. Epóxica / 60% F. Bambú
380.31 (MPa)	3231,87 (MPa)	3448,09 (MPa)

Tabla 3.35. Comparación de las propiedades mecánicas a tracción (**Continuación...**)

En la **Tabla 3.36**, se observa la comparación de las características mecánicas del ensayo a flexión del material original y del compuesto con dos tipos de porcentajes.

Tabla 3.36. Comparación de las propiedades mecánicas a flexión

PROPIEDADES MECÁNICAS A FLEXIÓN		
Módulo de Elasticidad a flexión (MPa)		
Polipropileno	25% R. Epóxica / 75% F. Bambú	40% R. Epóxica / 60% F. Bambú
2559 (MPa)	6409,58 (MPa)	8229 (MPa)

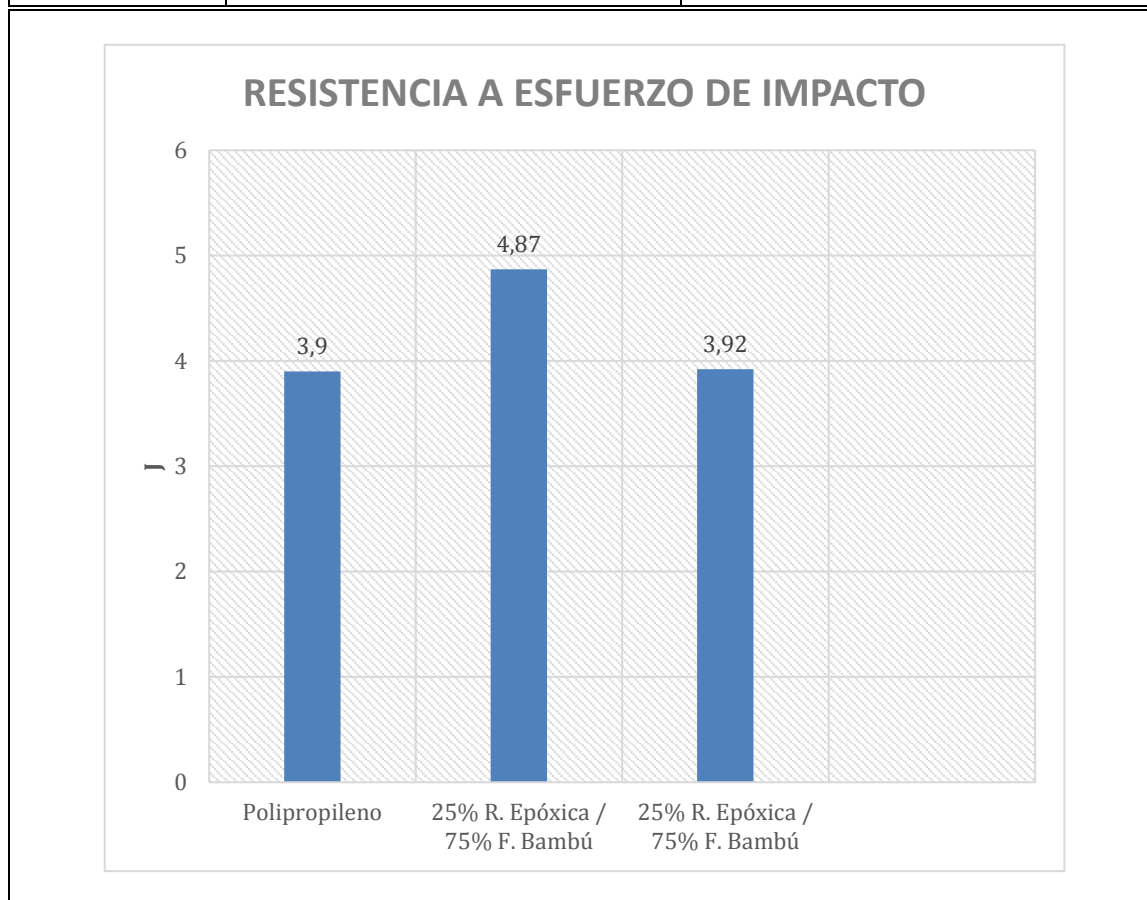
RESISTENCIA A ESFUERZO DE FLEXIÓN

Material	Resistencia a Esfuerzo de Flexión (MPa)
Polipropileno	3,9
25% R. Epóxica / 75% F. Bambú	4,87
25% R. Epóxica / 75% F. Bambú	3,92

En la **Tabla 3.37**, se tiene la comparación de los resultados del ensayo de impacto del material original y del compuesto con dos tipos de porcentajes.

Tabla 3.37. Comparación de las propiedades mecánicas a impacto

PROPIEDADES MECÁNICAS A IMPACTO		
Módulo de Elasticidad a impacto (MPa)		
Polipropileno	25% R. Epóxica / 75% F. Bambú	40% R. Epóxica / 60% F. Bambú
3.9 (J)	4,87 (J)	3,92 (J)



3.4.3 COMPARACIÓN DEL GUARDABARROS FABRICADO CON GUARDABARROS ORIGINAL EN EL MERCADO

Se comparó el guardabarros original del mercado que se compone a base del material polipropileno que resulta ser el plástico que es comúnmente utilizado en gran cantidad en la industria automotriz para la fabricación de autopartes con nuestro prototipo fabricado con el

material compuesto a base de resina epóxica y fibra de bambú, para esta comparación se tomó ciertos parámetros como: el precio, peso, resistencia al impacto y durabilidad. Los criterios mencionados anteriormente ayudaran a determinar si la pieza automotriz diseñada consigue ser una alternativa comercial en el mercado.

En la **Tabla 3.38**, se describe los criterios y parámetros que se debe tomar en cuenta de los dos guardabarros para poder realizar su respectiva evaluación, tomando en cuenta lo más relativo a la hora fabricar las autopartes.

Tabla 3.38. Parámetros del guardabarros original y el fabricado.

PARÁMETROS	GUARDABARROS ORIGINAL	GUARDABARROS FABRICADO
Precio	175,00 USD	183,00 USD
Peso	102 g	280g
Resistencia al impacto	3.9 J	4,87 J
Biodegradación	700 años	26 años

Fuente: (Valencia Cuaical & Pozo Martínez, 2020b, p. 128)

3.5 ANÁLISIS DE LOS COSTOS

Se verificará cada uno de los costos invertidos en cada uno de los materiales, ensayos y manos de obra realizados para la elaboración del prototipo de ahí se hará un análisis directo con el prototipo original.

3.5.1 COSTO DEL PROTOTIPO

Para conocer los costos de fabricación del prototipo se tomó en cuenta dos tipos de costos los directos y los indirectos en los cuales se detallará cada uno de los materiales y mano de obra para la realización del prototipo.

3.5.1.1 COSTOS DIRECTOS

Se detallan todos los materiales y la mano de obra utilizados para la elaboración del prototipo, con sus respectivos valores tanto unitarios como totales ya que varían en cantidad.

En la **Tabla 3.39**, se detalla los materiales con la mano de obra que se utilizaron para la fabricación de la pieza y del molde, están detallados de manera unitaria y de valor total ya que varía las cantidades utilizadas.

Tabla 3.39. Costos directos

CANTIDAD	MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	Resina epóxica	Galón	100,00 USD	146,00 USD
1	Reactivo	Kilogramo	46,00 USD	46,00 USD
1	Cera desmoldante	Kilogramo	15,00 USD	15,00 USD
5	Fibra de bambú	Libras	50,00 USD	200,00 USD
1	Fibra de vidrio	Kilogramo	7,00 USD	7,00 USD
10	Madera	Metro	2,70 USD	27,00 USD
6	Brochas		1,00 USD	6,00 USD
4	Lijas		0,60 USD	2,40 USD
4	Guantes		1,00 USD	4,00 USD
1	Disco de corte		2,00 USD	2,00 USD
Pintada del guardabarros	20,00 USD			
MANO DE OBRA				
DÍAS EMPLEADOS	VALOR POR DÍA	VALOR TOTAL		
4	10,00 USD	40,00 USD		
TOTAL	469,40 USD			

En la **Tabla 3.40**, se detalla los costos que tendría la pieza fabricada en el mercado a base del material compuesto que en este caso sería la resina epóxica reforzado con fibra de bambú.

Tabla 3.40. Costos de la fabricación del prototipo

CANTIDAD	MATERIALES	UNIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
2	Resina epóxica	Litros	36,50 USD	73,00 USD
1	Cera desmoldante	Kilogramo	15,00 USD	15,00 USD
1	Fibra de bambú	Libra	50,00 USD	50,00 USD
3	Brochas		1,00 USD	3,00 USD
2	Guantes		1,00 USD	2,00 USD
2	Mano de obra		10,00 USD	20,00 USD
Pintada del guardabarros				20,00 USD
TOTAL				183,00 USD

3.5.1.2 COSTOS INDIRECTOS

Son los costos externos que se tiene para poder realizar el prototipo del guardabarros como el valor investigativo, impresiones y transporte.

En la **Tabla 3.41**, se detalla todos los costos indirectos para poder realizar el prototipo del guardabarros.

Tabla 3.41. Costos indirectos

DENOMINACIÓN		VALOR
Valor investigativo	Ensayos	637,00 USD
Valor investigativo	Materiales para la elaboración de las probetas.	362,00 USD
	Transporte	130,00 USD
	Imprevistos	180,00 USD
	Impresiones	30,00 USD
	TOTAL	1339,00 USD

3.5.2 COSTOS DEL PROYECTO

En la **Tabla 3.42**, se muestra los detalles de los costos directos e indirectos que se tuvo en la fabricación del proyecto.

Tabla 3.42. Costos del proyecto

COSTO DEL PROYECTO	
Costos directos	469,40 USD
Costos indirectos	1339,00 USD
TOTAL	1808,40 USD

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se realizó probetas con el material compuesto reforzado en dos configuraciones: la primera configuración está constituida en dos capas de los cuales el 60% de fibra de bambú y el 40% de resina epóxica, la segunda configuración está constituida en dos capas de los cuales el 75% de fibra de bambú y el 25% de resina epóxica, la tercera configuración está constituida en tres capas de los cuales el 60% de fibra de bambú y 40% de resina epóxica y para la cuarta y última configuración tenemos que está constituida en tres capas con el 75% de fibra de bambú y el 25% de resina epóxica, seguido de esto se procedió a la respectiva curación por 15 días en sus respectivos moldes y finalmente se pasó a realizar el respectivo corte para cada una de las probetas según sus especificaciones en las normativa según la normativa ASTM D3039-00 tracción, normativa ASTM D7264-07 flexión y normativa ASTM D5628-10 impacto izod.
- Las probetas con dos capas de 75% fibra de bambú y 25% de resina epóxica presentaron un esfuerzo máximo de tracción promedio de 69,01 MPa, un esfuerzo máximo de flexión promedio de 122,99 MPa y una resistencia de impacto de 4,54 J. las probetas de tres capas de 75% fibra de bambú y 25% resina epóxica presentaron un esfuerzo máximo de tracción promedio de 68,72 MPa, un esfuerzo máximo de flexión promedio de 136,54 MPa y una resistencia de impacto de 5,59 J.
- Para la aplicación del material compuesto en el ámbito automotriz fue la elaboración de un prototipo del guardabarros posterior de la camioneta Mazda BT-50 del año 2012, el guardabarros original tiene un peso de 102g y un costo de 175,00 USD, este tiene un periodo de degradación de 700 años según las condiciones climáticas a las que se encuentren, mientras que con el material compuesto configurado en tres capas

con el 75% de fibra de bambú y el 25% de resina epóxica tiene un peso de 291 g y un costo aproximado de 183,00 USD con una degradación de 26 años, esto significa que el guardabarros fabricado por fibra de bambú y resina epóxica tiene mejores propiedades mecánicas y es amigable con el medio ambiente, por otra parte su costo de producción es mayor.

RECOMENDACIONES

- Trabajar en nuevas configuraciones del material compuesto por ejemplo 50% de fibra de bambú y 50% de resina epóxica y someterlas a ensayos de tracción, flexión, fatiga e impacto basados en la normativa ASTM para verificar los resultados de las propiedades mecánicas que se obtendrán para de esta manera poder poner a comparación con otros tipos de materiales compuestos.
- Se recomienda para la obtención de la fibra no hacerla de manera manual sino de distinta manera utilizando métodos químicos para un mejor aprovechamiento de la fibra, ya que al momento de unificar la fibra y la resina no se pueden compactar de manera uniforme, lo que genera burbujas de aire y consigo a una delaminación del material al momento en que se está curando el material compuesto por lo cual comenzara a descascararse hasta desprenderse completamente y consigo vendrá la ruptura de este.
- Analizar distintas piezas automotrices de menor tamaño como parantes o manijas de puertas donde se pueda adaptar el material compuesto de fibra de bambú y resina epóxica, esto para lograr características o criterios en comparación como el proceso de fabricación para la reducción de costos, calidad de la pieza y propiedades mecánicas como tracción, fatiga, flexión e impacto esto con el fin de conocer y aportar conocimiento a la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Álvarez, J. R., Javier, L., & Riaño, C. (s. f.). *ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DEL CURADO MEDIANTE RADIACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE RESINA DE POLIÉSTER INSATURADO FIBRA DE VIDRIO UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA ESCUELA DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA MEDELLÍN 2014.*
2. Amir, N., Abidin, K. A. Z., & Shiri, F. B. M. (2017). Effects of Fibre Configuration on Mechanical Properties of Banana Fibre/PP/MAPP Natural Fibre Reinforced Polymer Composite. *Procedia Engineering*, 184, 573-580. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2017.04.140>
3. Churruca, M. J. (2022). *Microfisuración en materiales compuestos.* <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/xmlui/handle/123456789/634>
4. *Ciencia e Ingenieria de Materiales Sexta Edicic3b3n PDF | PDF | Electroquímica | Estructura cristalina.* (s. f.). Recuperado 2 de mayo de 2022, a partir de <https://es.scribd.com/document/467093931/ciencia-e-ingenieria-de-materiales-sexta-edicic3b3n-pdf>
5. *COMPÓSITOS ESTRUTURAIIS - PDF Free Download.* (s. f.). Recuperado 14 de marzo de 2022, a partir de <https://docplayer.com.br/173495520-Compositos-estruturais.html>
6. Cousin, P., Hassan, M., Vijay, P. v., Robert, M., & Benmokrane, B. (2019). Chemical resistance of carbon, basalt, and glass fibers used in FRP reinforcing bars. *Journal of Composite Materials*, 53(26-27), 3651-3670. <https://doi.org/10.1177/0021998319844306>
7. Daniel, J., Taborda, T., Tecnológica, U., Pereira, D. E., de Ingeniería, F., & Pereira, M. (2014).
8. De, D., & de Posgrado, E. (s. f.). *CORPORACIÓN MEXICANA DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES.*
Díaz-Batista, D., Blancard-Valdés, W. saint, Bridi-Tellez, V., Mazorra-Mestre, M., Valin-
Rivera, J., Valenzuela-Díaz, F. R., & Wiebeck, H. (2018). Perfiles a partir de fibras de henequén con matriz de polietileno de alta densidad. *Undefined.*
9. Fabricación, L. A., & Fibra, D. E. (s. f.). *UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE "OBTENCIÓN DE BASE DE CELULOSA A PARTIR DEL BAMBÚ PARA UTILIZARLA COMO MATERIA PRIMA EN.*
10. González Polvorosa, N. (2019). *Estudio de la retención y la estabilidad de partículas de*

diamante en materiales compuestos con matrices metálicas base hierro para herramientas diamantada: desarrollo de nuevos recubrimientos multifuncionales.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=2674&info=resumen&idioma=SPA>

11. Hidrogo, E., Mendoza, L., & Director, A. (2021). *Mecanizado abrasivo de compuestos de matriz cerámica*. <http://addi.ehu.es/handle/10810/54136>
Ingeniería Civil Ensayo de Tracción estática. (s. f.).
12. José Luis Dávila Ing Nelly María Rosas Ing Salomé Galeas Ing Verónica Sotomayor Víctor
13. Hugo Guerrero, I., Carla Valdivieso Ing Patricia Pontón, I., Emilio Cedeño, I., Ricardo Álvarez, I., Orlando Cobos, I., Oscar Mejía, I., Fernando Montalvo, I., Sebastián Ponce, I., Jéssica Rivas, I., Rodríguez, P., Sofía Salazar, I., César Silva, I., Héctor Villacís, I., Cevallos, J., Delgado, F., Rodríguez, M., Tamayo, A., Tenesaca, G., Villavicencio, G., & Hugo Guerrero, V. (s. f.). *NUEVOS MATERIALES: APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES* © Todos los derechos reservados Autores: Quito-Ecuador.
14. *La guía definitiva para pruebas de tracción de materiales compuestos*. (s. f.). Recuperado 30 de agosto de 2022, a partir de <https://www.blog.metalinspec.com.mx/post/la-guia-definitiva-para-pruebas-de-traccion-de-materiales-compuestos>
15. Mejía, J. M., Mejía de Gutiérrez, R., & Puertas, F. (2013). Ceniza de cascarilla de arroz como fuente de sílice en sistemas cementicios de ceniza volante y escoria activados alcalinamente. *Materiales de Construcción*, 63(311), 361-375.
<https://doi.org/10.3989/MC.2013.04712>
16. *Mundo de los Materiales - Materials World Modules*. (s. f.). Recuperado 18 de abril de 2022, a partir de <https://www.yumpu.com/es/document/read/26324206/mundo-de-los-materiales-materials-world-modules>
17. *Normas ASTM para pruebas*. (s. f.). Recuperado 30 de agosto de 2022, a partir de <https://www.mts.com/la/applications/materials/test-standard/astm>
18. Ortega, Y. (s. f.). *Prueba de impacto: ensayo Charpy*.
19. «Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida» de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo. (s. f.). Recuperado 30 de agosto de 2022, a partir de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida-de-ecuador>
20. Samuel, A. :, & García, M. (s. f.). *UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL BAMBÚ COMO*

MATERIAL ESTRUCTURAL: GENERALIDADES, APLICACIONES Y MODELIZACIÓN DE UNA ESTRUCTURA TIPO. TRABAJO FIN DE GRADO Licencia Creative Commons.

21. Solís Nicolaas, E., Vega Baudrit, R., Rojas, E. R., Carlos, L., & Quesada, M. (2019). ESTUDIO DEL EFECTO DE LA ADICIÓN DE NANOCELULOSA OBTENIDA DEL DESECHO DEL RASTROJO DE PIÑA EN MEZCLAS PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. *Rev. Iberoam. Polímeros y Materiales*, 20(1), 21-43.
22. *Astm D 5628 – 96 (Reaprobado 2001) pdf descargar gratis - Todos los estándares civiles preciosos.* (s/f). Recuperado el 25 de octubre de 2022, a partir de <https://allcivilstandard.com/astm-d-5628-96-reapproved-2001-pdf-free-download/>
23. Bernabeu, C. B. (s/f). *ANÁLISIS DE DATOS CON STATGRAPHICS.*
24. Carlos, I., Santillán, J., Decano, M., de Mecánica, F., Víctor, I., & Bravo Morocho, D. (2016). "FABRICACIÓN DE UN RETROVISOR PARA EL VEHÍCULO SUZUKI FORSA CON MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA DE POLIÉSTER Y REFUERZO NATURAL DE CABUYA" *INGENIERO AUTOMOTRIZ* Nosotros coincidimos con esta recomendación.
25. International, A., & indexed by mero, files. (s/f). *Designation: D 3039/D 3039M-00 e1 Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials 1.*
26. (PDF) *Designación: D 7264/D 7264M -07 Método de prueba estándar para las propiedades de*
27. *flexión de materiales compuestos de matriz polimérica 1.* (s/f). Recuperado el 25 de octubre de 2022, a partir https://www.researchgate.net/publication/339947727_Designation_D_7264D_72607_Standard_Test_Method_for_Flexural_Properties_of_Polymer_Matrix_Composite
28. "Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 *Toda una Vida*" de Ecuador | *Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo.* (s/f). Recuperado el 30 de agosto de 2022, a partir de <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida-de-ecuador>
29. *Propiedades mecánicas de resinas compuestas modificadas o no con poliácidos.* (s/f). Recuperado el 18 de octubre de 2022, a partir de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0213-
30. *UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID CURSO DE FORMACION ESTADISTICA MANUAL DE STATGRAPHICS I. INTRODUCCIÓN Y MANEJO DE DATOS.* (s/f).

ANEXOS

ANEXO I

NORMA ASTM D3039 PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS



Designation: D 3039/D 3039M – 00^{ε1}

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 reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

^{ε1} 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 Materials⁴
- 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, $[\Theta]$ for thermodynamic temperature, and $[nd]$ for nondimensional quantities. Use of these symbols is restricted to analytical dimensions when used with square brackets, as the symbols may have other definitions when used without the brackets.

3.2.1 *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 long 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^u —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 \bar{x} —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


D 3039/D 3039M – 00¹

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_x) and width plane (B_y) of the coupon. The strain gage location should normally be located in the middle of the coupon gage section (if modulus determination is a concern), near a grip (if premature grip failures are a problem), or any combination of these areas.

7.2.5.2 When evaluating system alignment, it is advisable to perform the alignment check with the same coupon inserted in each of the four possible installation permutations (described relative to the initial position): initial (top-front facing observer), rotated back to front only (top back facing observer), rotated end for end only (bottom front facing observer), and rotated both front to back and end to end (bottom back facing observer). These four data sets provide an indication of whether the bending is due to the system itself or to tolerance in the alignment check coupon or gaging.

7.2.5.3 The zero strain point may be taken either before gripping or after gripping. The strain response of the alignment coupon is subsequently monitored during the gripping process, the tensile loading process, or both. Eq 1-3 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

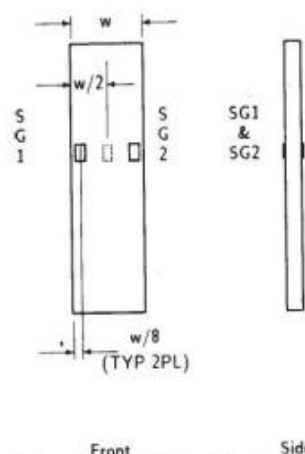



FIG. 1 Gage Locations for System Alignment Check Coupon


D 3039/D 3039M – 00^{e1}

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, %;

ϵ_1 , ϵ_2 , and ϵ_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.

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.

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.



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


D 3039/D 3039M – 00^{e1}
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 random-discontinuous	25 [1.0]	250 [10.0]	2.5 [0.100]	emery cloth	—	—
	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:

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

where:

- L_{\min} = minimum required bonded tab length, mm [in.];
 F^{ts} = 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 – 00^{e1}

DRAWING NOTES:

1. INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
2. ALL DIMENSIONS IN MILLIMETRES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:
NO DECIMAL: X XX
± 3: ± 1 ± 3
3. ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF ± .5°.
4. PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN ± .5°.
5. FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED 1.6√ (SYMBOLY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROMETRES.)
6. VALUES TO BE PROVIDED FOR THE FOLLOWING, SUBJECT TO ANY RANGES SHOWN ON THE FIELD OF DRAWING: MATERIAL, LAY-UP, PLY ORIENTATION REFERENCE RELATIVE TO [-A-], OVERALL LENGTH, GAGE LENGTH, COUPON THICKNESS, TAB MATERIAL, TAB THICKNESS, TAB LENGTH, TAB BEVEL ANGLE, TAB ADHESIVE.
7. NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

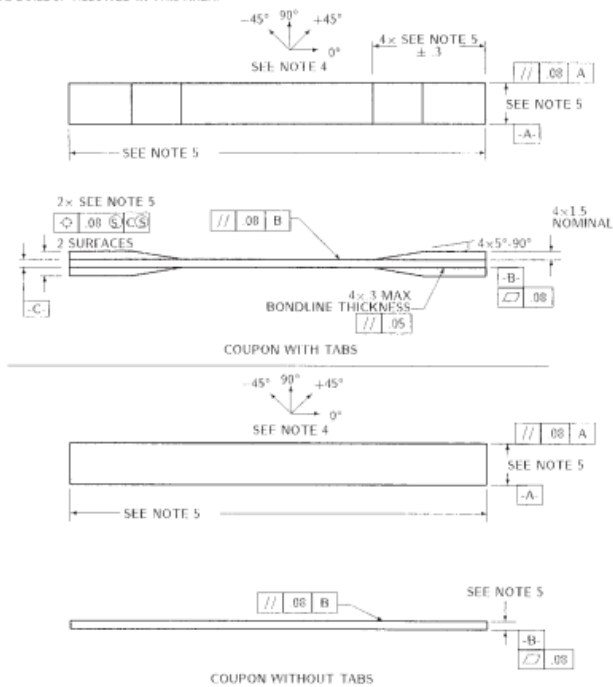


FIG. 2 Tension Test Specimen Drawing (SI)

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:

- INTERPRET DRAWING IN ACCORDANCE WITH ANSI Y14.5M-1982, SUBJECT TO THE FOLLOWING:
- ALL DIMENSIONS IN INCHES WITH DECIMAL TOLERANCES AS FOLLOWS:

.X	.XX	.XXX
±.1	±.03	±.01
- ALL ANGLES HAVE TOLERANCE OF $\pm 5^\circ$.
- PLY ORIENTATION DIRECTION TOLERANCE RELATIVE TO [-A-] WITHIN $\pm 5^\circ$.
- FINISH ON MACHINED EDGES NOT TO EXCEED $64\sqrt{\quad}$ (SYMBOLOLOGY IN ACCORDANCE WITH ASA B46.1, WITH ROUGHNESS HEIGHT IN MICROINCHES.)
- 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.
- NO ADHESIVE BUILDUP ALLOWED IN THIS AREA.

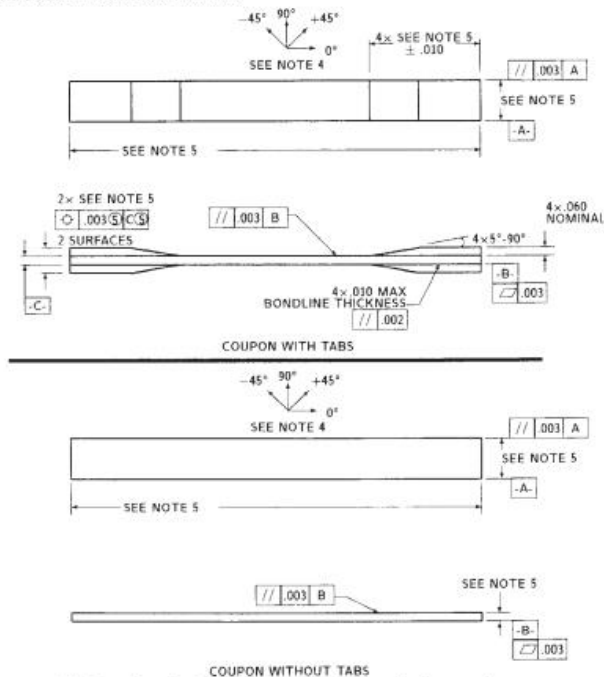


FIG. 3 Tension Test Specimen Drawing (Inch-pound)

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

Figura AI.8. Norma ASTM D3039
(International & indexed by mero, s/f)

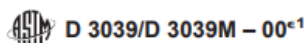


TABLE 3 Specimen Alignment and Chord Modulus Calculation Strain Ranges

Tensile Chord Modulus Calculation Longitudinal Strain Range		Longitudinal Strain Checkpoint for Bending
Start Point	End Point	$\mu\epsilon$
1000^A	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, mm^2 [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.

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

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 – 00^{e1}

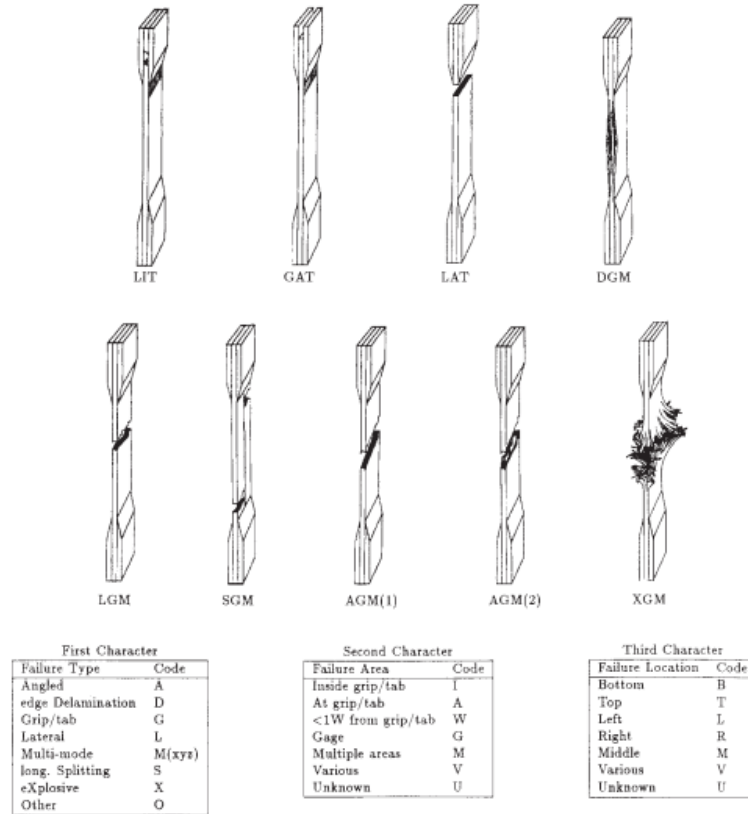


FIG. 4 Tensile Test Failure Codes/Typical Modes

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

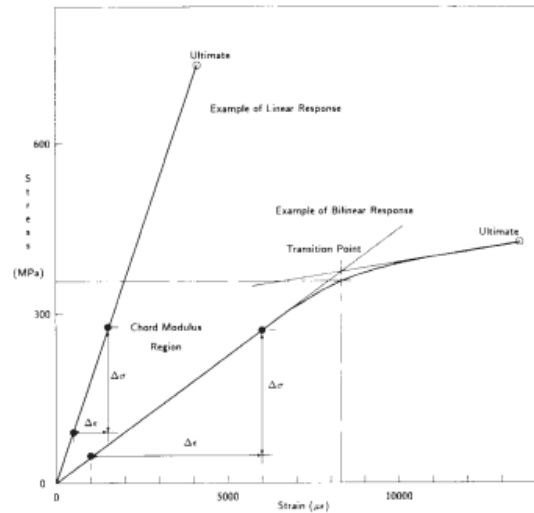
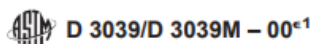


FIG. 5 Typical Tensile Stress-Strain Curves

Figura AI.10. Norma ASTM D3039 (International & indexed by mero, s/f)



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

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

where:

- ν = Poisson's ratio;
- $\Delta\epsilon_t$ = difference in lateral strain between the two longitudinal strain points of Table 3, $\mu\epsilon$; and
- $\Delta\epsilon_l$ = difference between the two longitudinal strain points of Table 3 (nominally either 0.001, 0.002, or 0.005).

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:

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

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

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

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.


D 3039/D 3039M – 00^{e1}

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	S_R	$S_r/\bar{x}, \%$	$S_R/\bar{x}, \%$
Strength, ksi						
A	342.69	8.49	10.68	12.78	3.12	3.73
B	8.52	0.52	0.85	0.92	9.94	10.84
C	156.37	3.84	10.85	10.85	6.94	6.94
F	66.18	3.20	1.52	3.48	2.30	5.26
G	121.52	1.59	3.92	3.92	3.23	3.23
Modulus, Msi						
A	23.57	0.65	0.63	0.86	2.69	3.66
B	1.30	0.05	0.04	0.06	3.12	4.57
C	12.38	0.29	0.37	0.44	2.98	3.54
F	3.95	0.08	0.04	0.09	1.01	2.28
G	9.47	0.16	0.12	0.20	1.29	2.06
Failure Strain, %						
A	1.36	0.06	0.07	0.08	4.95	6.15
B	0.66	0.04	0.08	0.09	12.47	13.02
C	1.22	0.03	0.06	0.06	5.25	5.27
F	2.04	0.15	0.07	0.16	3.19	8.03
G	1.27	0.03	0.05	0.05	3.83	4.13

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 I: 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_j/X , %	Average of S_{μ}/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).

Figura AI.13. Norma ASTM D3039
(International & indexed by mero, s/f)

ANEXO II

NORMA ASTM D7264 PARA ENSAYOS DE FLEXIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS



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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This test method determines the flexural stiffness and strength properties of polymer matrix composites.

1.1.1 *Procedure A*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Procedure B*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one-half of the support span.

NOTE 1—Unlike Test Method 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 Laminate 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.

Figura AII.1. Norma ASTM D7264
(PDF) Designación: D 7264/D 7264M -07)


D 7264/D 7264M - 07
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

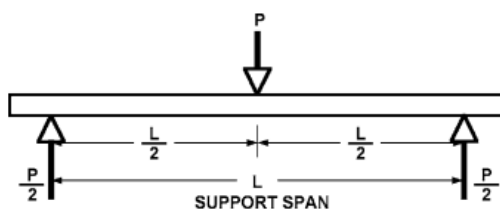


FIG. 1 Procedure A—Loading Diagram

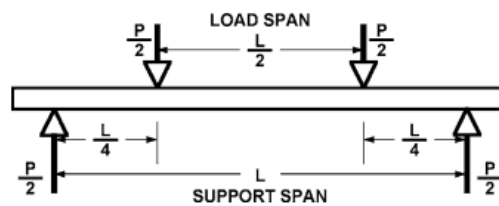


FIG. 2 Procedure B—Loading Diagram

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.


D 7264/D 7264M – 07

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.

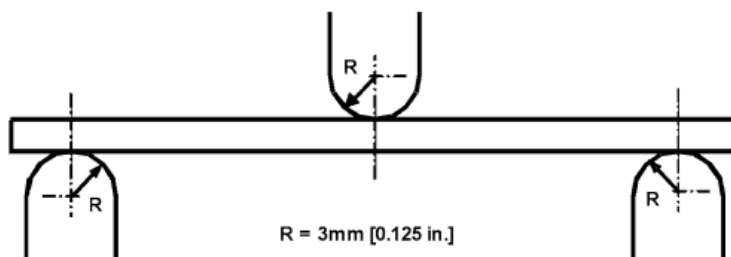
6.4 Loading noses may be fixed, rotatable or rolling. Typically, for testing composites, fixed or rotatable loading noses are used. The type of loading nose can affect results, since non-rolling paired supports on either the tension or compression side of the specimen introduce slight longitudinal forces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

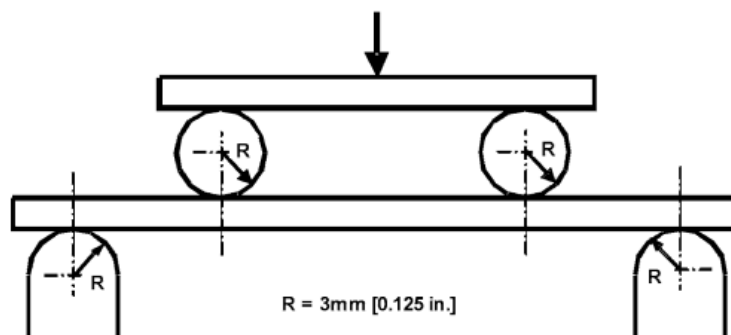
7. Apparatus

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)


D 7264/D 7264M – 07

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.


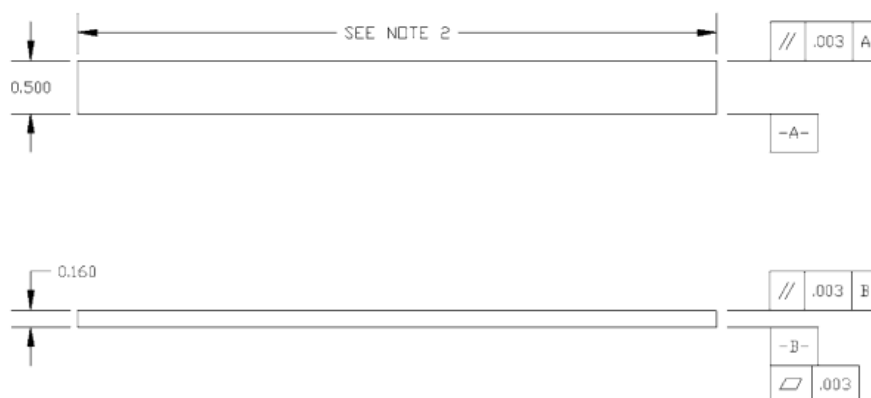
8.2.1 Shear deformations can significantly reduce the apparent modulus of highly orthotropic laminates when they are tested at low support span-to-thickness ratios. For this reason, a high support span-to-thickness ratio is recommended for flexural modulus determinations. In some cases, separate sets 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)


D 7264/D 7264M – 07


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

Figura AII.5. Norma ASTM D7264
(PDF) Designación: D 7264/D 7264M -07)


D 7264/D 7264M – 07

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 homogeneous, 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**):

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

where:

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

NOTE 6—Eq 1 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber 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**):

$$\sigma = \frac{3PL}{4bh^2} \quad (2)$$


where:

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

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


D 7264/D 7264M – 07

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*:

$$E_f^{secant} = \frac{L^2 m}{4bh^3} \quad (6)$$

where:

E_f^{secant} = flexural secant modulus of elasticity, MPa [psi],
 L = support span, mm [in.],
 b = width of beam, mm [in.],
 h = thickness of beam, mm [in.] and
 m = slope of the secant of the force-deflection curve.

13.7.2.2 *For Procedure B*:

$$E_f^{secant} = \frac{0.17L^2 m}{bh^3} \quad (7)$$

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:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \quad (8)$$


$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}{n-1}}$$

$$CV = 100 \cdot \frac{s_{n-1}}{\bar{x}}$$

where:

\bar{x} = average value or sample mean,
 x_i = value of single measured or derived property,
 n = number of specimens,
 s_{n-1} = estimated standard deviation,
 CV = coefficient of variation in percentage.

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.


D 7264/D 7264M – 07
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


D 7264/D 7264M – 07
ANNEXES**(Mandatory Information)****A1. MEASURING AND SETTING SPAN**

A1.1 For flexural fixtures that have adjustable spans, it is important that the span between the supports is maintained constant or the actual measured span is used in the calculation of flexural stress, flexural modulus and strain, and the loading noses are positioned and aligned properly with respect to the supports. Some simple steps as follows can improve the repeatability of results when using adjustable span fixtures.

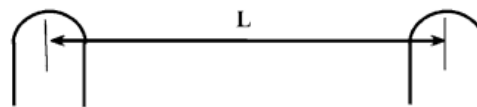
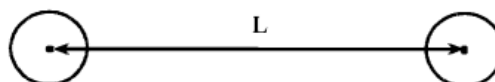
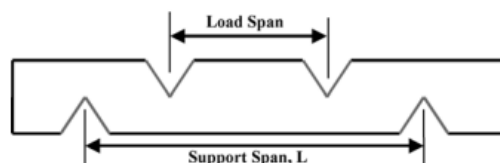
A1.2 Measurement of Span:

A1.2.1 This technique is needed to ensure that the correct span, not an estimated span, is used in calculation of results.

A1.2.2 Scribe a permanent line or mark at the exact center of the support where the specimen makes complete contact. The type of mark depends on whether the supports are fixed or rotatable (see Figs. A1.1 and A1.2).

A1.2.3 Using a vernier caliper with pointed tips that is readable to at least 0.1 mm [0.004 in.], measure the distance between the supports, and use this measurement of span in the calculations.

A1.3 *Setting the Span and Alignment of Loading Nose(s)*—To ensure a constant day-to-day setup of the span and ensure the alignment and proper positioning of the loading nose(s), simple jigs should be manufactured for each of the standard setups used. An example of a jig found to be useful is shown in Fig. A1.3.

**FIG. A1.1 Markings on Fixed Specimen Supports****FIG. A1.2 Markings on Rotatable Specimen Supports****FIG. A1.3 Fixture Used to Align Loading Noses and Supports**

A2. TOE COMPENSATION

A2.1 In a typical force-deflection curve (see Fig. A2.1) there is a toe region, AC, which does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a take-up of slack and alignment, or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as flexural modulus, and deflection at failure, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the deflection, or extension axis.

A2.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (see Fig. A2.1), a continuation of the linear (CD) region is constructed through the zero axis. This intersection (B) is the corrected zero deflection point from which all deflections must be measured. The slope can be determined by dividing the change in force between any two points along the line CD (or its extension) by the change in deflection at the same two points (measured from Point B, defined as zero-deflection).

A2.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (see Fig. A2.2), the same kind of toe correction of zero-deflection point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection Point H'. This is extended to intersect the deflection axis at Point B', the corrected zero-deflection point. Using Point B' as zero deflection, the force at any point (G') on the curve can be divided by the deflection at that point to obtain a flexural chord modulus (slope of Line B'G').

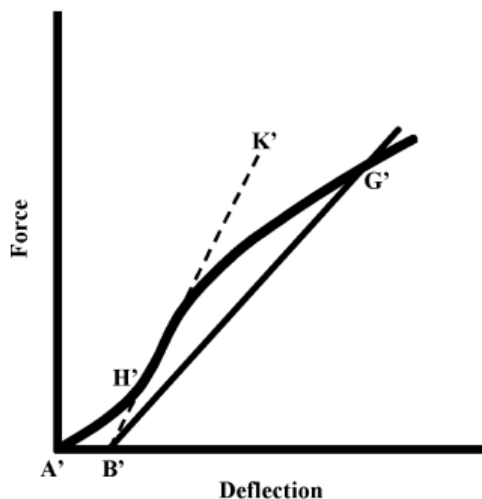


FIG. A2.2 Material without a Hookean Region

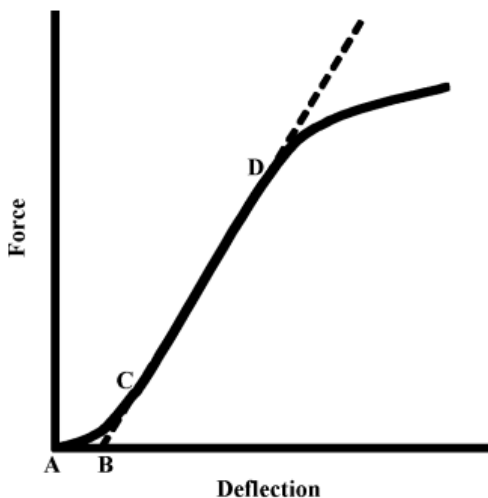


FIG. A2.1 Material with a Hookean Region

 **D 7264/D 7264M – 07**

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 III

NORMA ASTM D5628 PARA ENSAYOS DE IMPACTO DE MATERIALES COMPUESTOS

Designation: D 5628 – 96 (Reapproved 2001)^{e1}

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 D 5628; 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.

^{e1} Note—Editorial changes were made throughout in November 2001.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the relative ranking of materials according to the energy required to crack or break flat, rigid plastic specimens under various specified conditions of impact of a free-falling dart (tup).

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 6603-1:1985 are technically equivalent only when the test conditions and specimen geometry required for Geometry FE and the Bruceton Staircase method of calculation are used.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 374 Test Methods for Thickness of Solid Electrical Insulation²
- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing³
- D 883 Terminology Relating to Plastics²
- D 1600 Terminology for Abbreviated Terms Relating to Plastics²
- D 1709 Test Method for Impact Resistance of Plastic Film by the Free Falling Dart Method²
- D 1898 Practice for Sampling of Plastics⁴
- D 2444 Test Method for Determination of the Impact Resistance of Thermoplastic Pipe and Fittings by Means of a

Tup Falling Weight⁵

- D 3763 Test Method for High-Speed Puncture Properties of Plastics Using Load and Displacement Sensors⁶
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials PA⁶
- E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods⁷
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁷
- 2.2 ISO Standards:
 - ISO 291 Standard Atmospheres for Conditioning and Testing⁸
 - ISO 6603-1 Plastics-Determination of Multiaxial Impact Behavior of Rigid Plastics—Part 1: Falling Dart Method⁸

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 For definitions of plastic terms used in this test method, see Terminologies D 883 and D 1600.

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 the product of the constant mass and 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

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 March 10, 1996. Published July 1996. Originally published as D 5628 – 94. Last previous edition D 5628 – 95.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 10.01.

⁴ Discontinued; see 1998 Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.01.


⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.04.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 08.02.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

⁸ Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

Figura AIII.1. Norma ASTM D5628
(Astm D 5628 – 96 (Reaprobado 2001))


D 5628 – 96 (2001)^{e1}

example, may be difficult to differentiate from the reinforcing fibers. In such cases, a penetrating dye may be used to confirm the onset of crack formation.

3.2.4 *mean-failure mass (impact-failure mass)*—the mass of the dart (tip) that, when dropped on the test specimens from a standard height, will cause 50 % failures.

3.2.5 *tip*—a dart with a hemispherical nose. See 7.2 and Fig. 1.

4. Summary of Test Method

4.1 A free-falling dart (tip) is allowed to strike a supported specimen directly. Either a dart having a fixed mass may be dropped from various heights, or a dart having an adjustable mass may be 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).⁹ 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 tip 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 may 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 may produce a punch shear failure on thick sheet. If that type of failure is undesirable, Geometry FC may be used. Geometry FB is suitable for research and development because of the smaller test area required.

⁹ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

5.3.1 The conical configuration of the 12.7-mm diameter tip used in Geometry FB minimizes problems with tip 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 D 1709. 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 D 3763.

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 tip must be somewhat arbitrary. While any one of the tip geometries may be selected, knowledge of the final or intended end-use application should 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 somewhat greater impact resistance.

5.9 Before proceeding with this test method, reference should be made to the specification of the material being tested. 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 may be 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 may occur 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.

D 5628 – 96 (2001)^{e1}

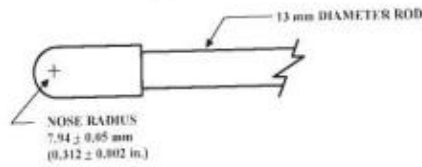


FIG. 1 (a)

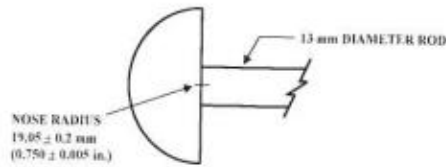
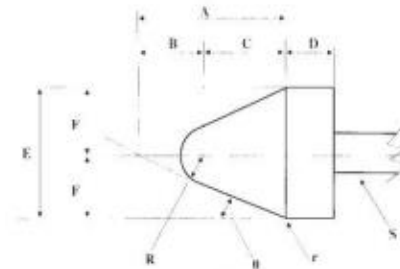


FIG. 1 (c)

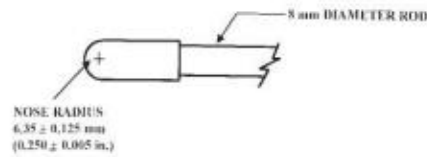


FIG. 1 (d)

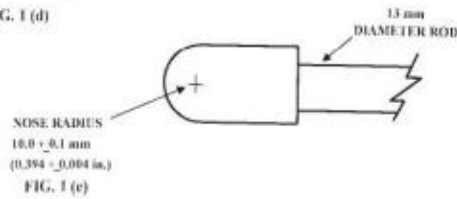


FIG. 1 (e)

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

NOTE 1—Unless specified, the tolerance on all dimensions shall be ±2 %.

Position	Dimension, mm	Dimension, in.
A	27.2	1.07
B	15	0.59
C	12.2	0.48
D	6.4	0.25
E	25.4	1
F	12.7	0.5
R	6.35 ± 0.05	0.250 ± 0.002
(nose radius)		
r (radius)	0.8	0.03
S (diameter) ^a	6.4	0.25
θ	25 ± 1°	25 ± 1°

^a Larger diameter shafts may be used.

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

Figura AIII.3. Norma ASTM D5628
(Astm D 5628 – 96 (Reaprobado 2001))

D 5628 - 96 (2001)^{e1}

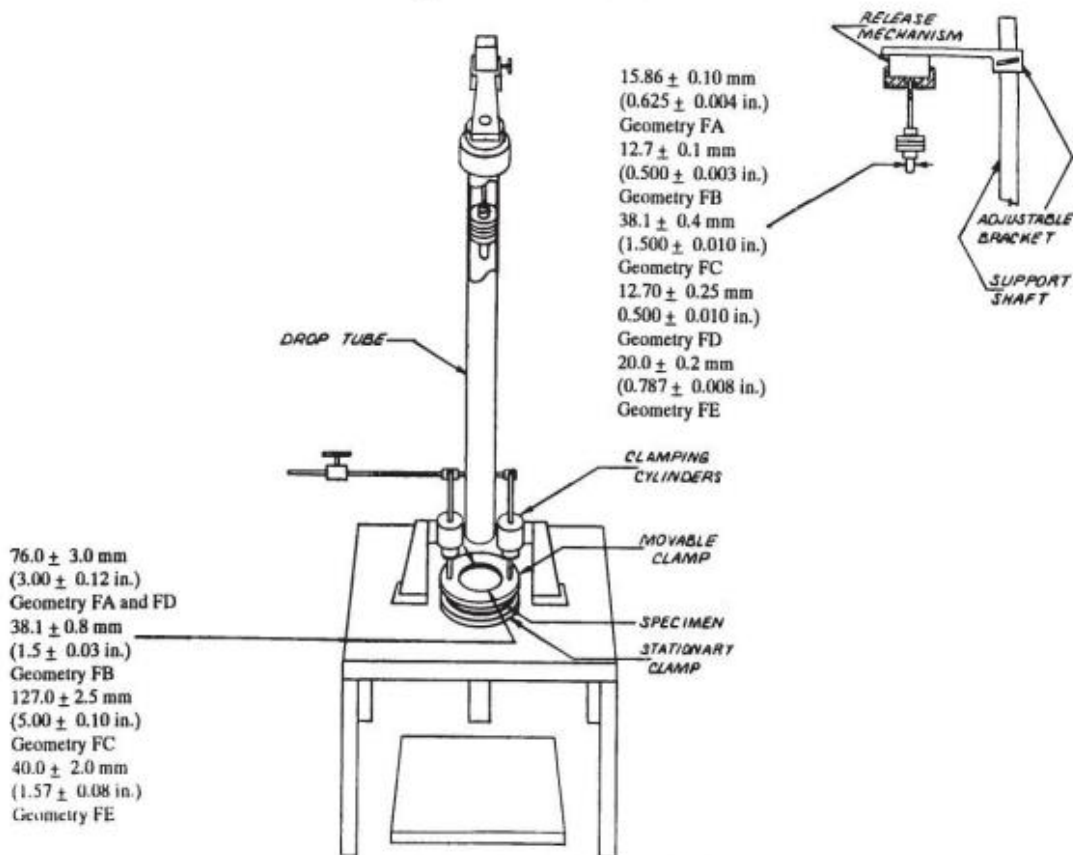


FIG. 2 One Type of Falling Mass Impact Tester

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 tip shall conform to the dimensions given in 7.1.1 and 7.2.

7.1.1 *Specimen Clamp*—For flat specimens, a two-piece annular specimen clamp 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 ± 0.80 mm (1.5 ± 0.03 in.).

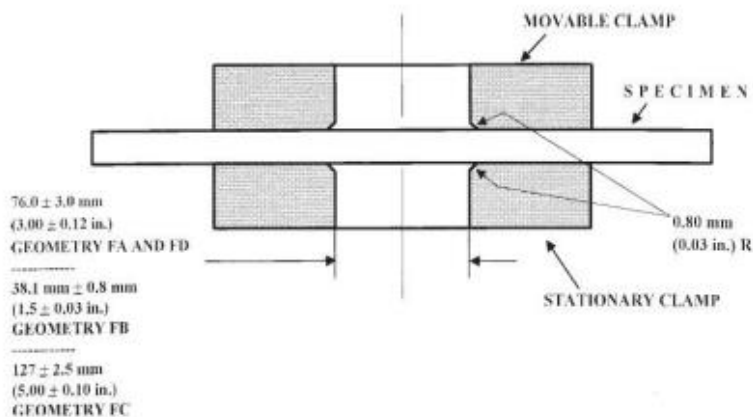



FIG. 3 Support Plate/Specimen/Clamp Configuration for Geometries FA, FB, FC, and FD

Figura AIII.4. Norma ASTM D5628
(Astm D 5628 - 96 (Reaprobado 2001))


D 5628 – 96 (2001)^{e1}

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 may be ensured through the use of a tube or cage within which the tup falls. In this event, care should be exercised so that any friction that develops will not reduce the velocity of the tup appreciably.

7.1.3 *Positioning Device*—Means shall be provided for positioning the tup so that the distance from the impinging surface of the tup head to the test specimen is as specified.

7.2 *Tup*:

7.2.1 The tup used in Geometry FA shall have a 15.86 ± 0.10 -mm (0.625 ± 0.004 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(a) and Table 1).

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

TABLE 1 Tup and Support Ring Dimensions

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

steel shaft about 13 mm (0.5 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to that surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass (see Fig. 1(c) and Table 1).

7.2.4 The tup used in Geometry FD shall have a 12.70 ± 0.25 -mm (0.500 ± 0.010 -in.) diameter hemispherical head of tool steel hardened to 54 HRC or harder. A steel shaft about 8 mm (0.31 in.) in diameter shall be attached to the center of the flat surface of the head with its longitudinal axis at 90° to the surface. The length of the shaft shall be great enough to accommodate the maximum mass required (see Fig. 1(d) and Table 1).

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

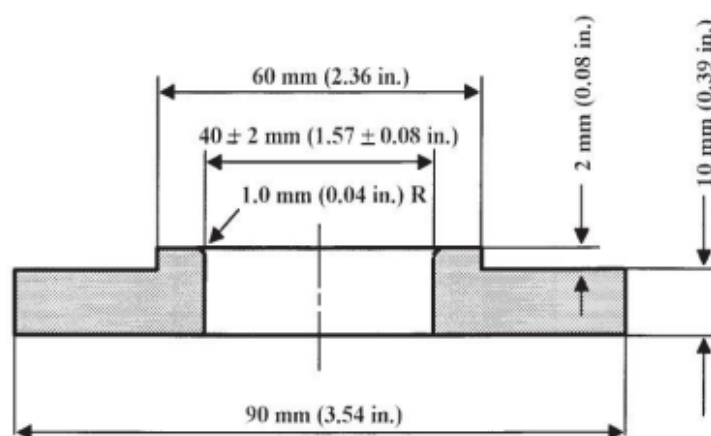



FIG. 4 Test-Specimen Support for Geometry FE


D 5628 – 96 (2001)^{e1}

tested. For a material of low impact resistance, the tup mass may need to be adjusted by increments of 10 g or less. Materials of high impact resistance may require increments of 1 kg or more.

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 D 374 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 ± 1 %.

8. Hazards

8.1 Safety Precautions:

8.1.1 Cushioning and shielding devices shall be provided to protect personnel and to avoid damage to the impinging surface of the tup. A tube or cage can contain the tup if it rebounds after striking a specimen.

8.1.2 When heavy weights are used, it is hazardous for an operator to attempt to catch a rebounding tup. Figure 2 of Test Method D 2444 shows an effective mechanical “rebound catcher” employed in conjunction with a drop tube.

9. Sampling

9.1 Unless otherwise agreed upon between the manufacturer and the producer, sample the material in accordance with Sections 9 through 14 of Practice D 1898.

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 sample may be tested, but the data shall not be used for referee purposes. For compliance with ISO 6603-1 the test specimen shall be 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) in diameter or 60 ± 2 mm (2.4 ± 0.08 in.) square with a thickness of 2 ± 0.1 mm (0.08 ± 0.004 in.). Machining specimens to reduce thickness variation is not permissible.

10.3 When the approximate mean failure mass for a given sample is known, 20 specimens will usually yield sufficiently precise results. If the approximate mean failure mass is unknown, six or more additional specimens 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 may have flat smooth surfaces on both sides, be textured on one side and smooth on the other side, or be textured on both surfaces. Both surfaces may have the same texture or two different levels and types of texture. When testing, special attention must be paid to how the specimen is positioned on the support.

NOTE 4—As few as ten specimens often yield sufficiently reliable estimates of the mean-failure mass. However, in such cases the estimated standard deviation will be relatively large (1).

11. Conditioning

11.1 Unless otherwise specified, condition the test specimens at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test, in accordance with Procedure A of Test Methods D 618, for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ ($\pm 1.8^\circ\text{F}$) and ± 2 % relative humidity. 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 nylons, the material specifications (for example, Specification D 4066) 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 in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and at 50 ± 5 % relative humidity, unless otherwise specified.

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 D 618.

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.

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)


D 5628 – 96 (2001)^{e1}

12.4 Measure and record the thickness of each specimen in the area of impact.

12.5 Choose a specimen at random from the sample. A random-numbers table may be used if desired.

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 D 618. 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 may be difficult to determine with the naked eye. Exposure of the stressed surface to a penetrating dye, such as gentian violet, may be used to determine the onset of cracking. As a result of the wide range of failure types that may be observed with different materials, the definition of failure defined in the material specification shall take precedence over the definition stated in 3.2.1. Other definitions of failure may be used if agreed upon by supplier and user.

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 may 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 may vary widely within a set of specimens. Data from specimens that show atypical behavior shall not be discarded simply on the basis of such behavior.

13. Calculation

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

$$w = w_o + d_w(A/N \pm 0.5) \quad (1)$$

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

$$h = h_o + d_h(A/N \pm 0.5) \quad (2)$$

where:

- w = mean-failure mass, kg,
- h = mean-failure height, mm,
- d_w = increment of tup weight, kg,
- d_h = increment of tup height, mm,
- N = total number of failures or non-failures, whichever is smaller. For ease of notation, call whichever are used events,
- w_o = smallest mass at which an event occurred, kg
- h_o = lowest height at which an event occurred, mm (or in.),
- $A = \sum_{i=0}^k i n_i$,
- $i = 0, 1, 2, \dots, k$ (counting index, starts at h_o or w_o),
- n_i = number of events that occurred at h_i or w_i ,
- $w_i = w_o + i d_w$, 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:

$$s_w = 1.62d_w[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_w \quad (3)$$

$$s_h = 1.62d_h[B/N - (A/N)^2] + 0.047d_h \quad (4)$$

where:


D 5628 – 96 (2001)^{e1}

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

$$B = \sum_{i=1}^k r_i^2 n_i \quad (5)$$

The above calculation is valid for $[B/N - (A/N)^2] > 0.3$. If the value is <0.3 , use Table I from Ref (3).

13.5 *Estimated Standard Deviation of the Sample Mean*—Calculate the estimated standard deviation of the sample mean-failure height or weight as follows:

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

or

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

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 may be found in Appendix XI.

NOTE 7—For values of G at other levels of s/d , see Fig. 22 in Ref (4).

13.6 *Estimated Standard Deviation of the Mean-Failure Energy*—Calculate the estimated standard deviation of the mean-failure energy as follows:

$$S_{MFE} = s_w^2 w f \quad (8)$$

or

$$S_{MFE} = S_w^2 h f, \text{ as applicable} \quad (9)$$

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.

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 (D 5628), 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 robin¹⁰ 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 E 691. 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.

NOTE 9—**Caution:** 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 may not be representative of other lots, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method should apply the principles outlined in Practice E 691 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

¹⁰ Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RRD 20-1030.


TABLE 3 Precision, Method FB

Material	Mean, J	Values Expressed as Percent of the Mean	
		V_r	r
Polymethyl Methacrylate (PMMA)	0.35	12.6	35.7
Styrene-Butadiene (SB) ^a	9.26	18.7	52.9
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS) ^a	11.8	14.9	42.2

^a Data generated in three laboratories.

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

r = 2.83 V_r .


D 5628 – 96 (2001)*¹
TABLE 4 Precision, Method FC

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

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

means from testing multiple individual specimens (Bruceon 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)

X1. SAMPLE CALCULATIONS

Total Dart Mass, kg	Outcome of Test (X = failure; O = non-failure)																				<i>n_x</i>	<i>n_o</i>	<i>i</i>	<i>n_i</i>	<i>in_i</i>	<i>pn_i</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20						
9.00						X															1	0	2	1	2	4
8.00					O		X		X				X		X						4	1	1	4	4	4
7.00		X		O				O		X		O		O		X		X		O	4	5	0	4	0	0
6.00	O		O								O							O		O	0	5				
Totals											9	11		9	6	8										
											(<i>N_x</i>)	(<i>N_o</i>)		(<i>N</i>)	(<i>A</i>)	(<i>B</i>)										

$$w_o = 7.00; N = N_o = 9; d = 1.00$$

$$w = w_o + d(A/N - 0.5)$$

$$= 7.00 + 1.00(6/9 - 0.5)$$

$$= 7.17 \text{ kg}$$

$$s = 1.620 d[\{(N/B - A^2)/9^2\} + 0.029]$$


$$= 1.620 \{1.00[\{(9.8 - 6^2)/9^2\} + 0.029]\}$$

$$0.77 \text{ kg}$$

$$s/d = 0.77/1.00 = 0.77; G = 1.035 \text{ (from Table X1.1)}$$

$$s_w = Gs/\sqrt{N} = 1.035(0.77)/\sqrt{9} = 0.27 \text{ kg}$$

Figura AIII.9. Norma ASTM D5628
 (Astm D 5628 – 96 (Reaprobado 2001))


D 5628 – 96 (2001)¹
TABLE X1.1 Values of G for Obtaining the Estimated Standard Deviation of the Mean

<i>s/d</i>	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.40						1.18	1.175	1.17	1.16	1.155
0.50	1.15	1.145	1.14	1.135	1.13	1.125	1.12	1.11	1.105	1.10
0.60	1.095	1.09	1.085	1.08	1.075	1.07	1.07	1.065	1.06	1.06
0.70	1.055	1.055	1.05	1.05	1.045	1.04	1.04	1.035	1.035	1.03
0.80	1.03	1.025	1.025	1.02	1.02	1.02	1.015	1.015	1.015	1.01
0.90	1.01	1.01	1.005	1.005	1.005	1.00	1.00	1.00	0.995	0.995
1.00	0.995	0.99	0.99	0.99	0.985	0.985	0.985	0.985	0.98	0.98
1.10	0.98	0.98	0.98	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.975	0.97
1.20	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.97	0.965	0.965	0.965	0.965
1.30	0.965	0.965	0.965	0.965	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
1.40	0.96	0.96	0.96	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955	0.955
1.50	0.955	0.955	0.955	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
1.60	0.95	0.95	0.95	0.95	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945
1.70	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.945	0.94	0.94	0.94	0.94
1.80	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.94	0.935
1.90	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935	0.935
2.00	0.935	0.935	0.935	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

REFERENCES

- (1) Brownlee, K. A., Hodgest, J. L., Jr., and Rosenblatt, Murray, "The Up-and-Down Method with Small Samples," *American Statistical Association Journal*, Vol 48, 1953, pp. 262-277.
- (2) Hagan, R. S., Schmitz, J. V., and Davis, D. A., "Impact Testing of High Impact Thermoplastic Sheet," *Technical Papers, 17th Annual Technical Conference of SPE, SPPPB*, Vol VIII, January 1961.
- (3) "Test Method A—Falling Dart Impact, Proposed Method of Test for Impact Resistance of Fabricated Plastics Parts," *Proposed Test Methods for Plastics Parts Used in Appliances*, the Society of the Plastics Industry, New York, NY, January 1965.
- (4) Weaver, O. R., "Using Attributes to Measure a Continuous Variable in Impact Testing Plastic Bottles," *Materials Research and Standards, MR & S*, Vol 6, No. 6, June 1966, pp. 285-291.
- (5) Natrella, M. G., *Experimental Statistics*, National Bureau of Standards Handbook 91, October 1966, pp. 10-22 and 10-23.

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 IV

RESULTADOS DEL ENSAYO A TRACCIÓN DEL MATERIAL COMPUESTO

Código: CF-AE-RM-RG-001 Fecha de Elaboración: 2016-07-06 Fecha de última aprobación: 2022-02-04 Revisión: 4	RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS	Página 1 de 2
--	--	---------------

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 100356443020220517-ETC.	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa/Cliente: Angélica Maribel Sanipatin Silva.	
Dirección: Calle Flores Vásquez y 16 de Julio, Atuntaqui.	
Núm. de cédula/RUC: 1003564430.	Teléfono: +593997071697.
E-mail: angie03_1994@hotmail.com.	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Material compuesto: Fibra de Bambú con Resina Epóxica dispuestas en 2 y 3 capas.
Método de ensayo: ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación de probetas	Fibra de Bambú	Resina Epóxica	Disposición de capas	Probetas a Ensayar
1	100356443020220517-ETC 01	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
2	100356443020220517-ETC 02	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
3	100356443020220517-ETC 03	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
4	100356443020220517-ETC 04	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3:45°	4
				Total	16

Nota: La fabricación de las probetas en tipo, cantidad y configuración es declarada por el cliente.

Ministerio de Producción,
Comercio Exterior,
Inversiones y Pesca



Gobierno
Juntos lo logramos

CONSORCIO DE CAMARAS Y
ASOCIACIONES DE LA PRODUCCION
DE TUNGURAHUA



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero
Provincia de Tungurahua

Figura AIV.1. Resultados del ensayo a tracción

Código: CF-AE-RM-RG-001
 Fecha de Elaboración: 2016-07-06
 Fecha de última aprobación: 2022-02-04
 Revisión: 4

RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE
 MUESTRAS

Página 2 de 2

ENSAYO SOLICITADO			
No.	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	100356443020220517-ETC 01-1	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
2	100356443020220517-ETC 01-2	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
3	100356443020220517-ETC 01-3	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
4	100356443020220517-ETC 01-4	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
5	100356443020220517-ETC 02-1	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
6	100356443020220517-ETC 02-2	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
7	100356443020220517-ETC 02-3	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
8	100356443020220517-ETC 02-4	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
9	100356443020220517-ETC 03-1	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
10	100356443020220517-ETC 03-2	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
11	100356443020220517-ETC 03-3	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
12	100356443020220517-ETC 03-4	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
13	100356443020220517-ETC 04-1	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
14	100356443020220517-ETC 04-2	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
15	100356443020220517-ETC 04-3	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17
16	100356443020220517-ETC 04-4	Cumple criterios dimensionales	2022/05/17

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.





	
Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	Aprobado por: Ing. Luis Mayorga G. MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMCPT
 Cliente	

Figura AIV.2. Resultados del ensayo a tracción

Código: CF-AE-RM-RG-004 Fecha de Elaboración: 2016-05-11 Fecha de última aprobación: 2022-02-04 Revisión: 8	ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS	Página 1 de 3			
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS INFORME DE RESULTADOS N°: 100356443020220517-ETC.					
DATOS GENERALES					
<p>N° de proforma: RM_2022_009. Empresa/Cliente: Angélica Maribel Sanipatín Silva. RUC/C.I.: 1003564430. Teléfono: +593997071697. Dirección: Calle Flores Vásquez y 16 de Julio, Atuntaqui. Correo: angie03_1994@hotmail.com.</p> <p>DATOS DEL ENSAYO: Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales. Dirección: Ambato/Catiglata. Santo Domingo y Río de Janeiro. Método de ensayo: ASTM D3039/D3039M-17. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica. Tipo de ensayo: Cuantitativo. Tipo de probeta: Plana. Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Metrotec 1500 KN. Modelo: STH-1500/CS Serie: 8802M001. Velocidad de ensayo: 5 mm/min. Precarga: 1000 N. Fecha de Inicio de Ensayo: 2022/05/19. Fecha de Finalización de Ensayo: 2022/05/19.</p> <p>Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en <i>probetas de material compuesto de Fibra de Bambú con Resina Epóxica dispuestas en 2 y 3 capas</i>. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero de la provincia de Tungurahua.</p>					
OBJETOS DE ENSAYO					
Número de Probetas cuantificadas:					
N°	Identificación de probetas	Fibra de Bambú	Resina Epóxica	Disposición de capas	Probetas a Ensayar
1	100356443020220517-ETC 01	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
2	100356443020220517-ETC 02	75%	25%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3: 45°	4
3	100356443020220517-ETC 03	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal	4
4	100356443020220517-ETC 04	60%	40%	C1: Longitudinal C2: Transversal C3:45°	4
Total					16
Observación: La fabricación de las probetas para la ejecución del ensayo es responsabilidad del cliente.					
Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser reproducido total ni parcialmente.					

		
Elaborado por: Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	Revisado por: Ing. David Romero C. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMCPT.	Aprobado por: Ing. Luis Mayorga MEng. Gestor Integral de Operaciones CFPMCPT.

Lugar y fecha de emisión de informe: Ambato, 27 de mayo de 2022.
N° de factura:001-001-000000022.

Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca

CONSORCIO DE CAMARAS Y ASOCIACIONES DE LA PRODUCCION DE TUNGURAHUA

Gobierno
Juntos lo logramos

Ministerio Gobierno
Provincia de Tungurahua

Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero
Provincia de Tungurahua

Figura AIV.3. Resultados del ensayo a tracción.

ANEXO V

ARTICULO CIENTÍFICO DE LAS FIBRAS DE BAMBÚ CON RESINA EPÓXICA

Estudio de las características mecánicas en términos de flexión, tracción e impacto Izod de fibras de bambú con resina epóxica para la fabricación de piezas mecánicas.

Study of the mechanical characteristics in terms of bending, traction and Izod impact of bamboo fibers with epoxy resin for the manufacture of mechanical parts.

Angélica M. Sanipatín¹, Diego L. Túqueréz¹

¹ Universidad Técnica del Norte Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, 100105, Imbabura, Ecuador; amsanipatins@utn.edu.ec

¹ Universidad Técnica del Norte Av. 17 de Julio 5-21, Ibarra, 100105, Imbabura, Ecuador; dluquerezv@utn.edu.ec

Resumen. El presente proyecto tiene como finalidad realizar un estudio en el que abarca materiales compuestos planteando una alternativa para la fabricación de un guardabarros automotriz a base de un refuerzo como las fibras de bambú con una matriz de resina epóxica, y consigo obtener una pieza automotriz amigable con el medio ambiente. Como primer paso se realizó un estudio donde se determinará la disposición y la cantidad de la fibra de bambú y resina epóxica en este caso se designó dos tipos de configuraciones esto con el fin de verificar sus propiedades mecánicas: la primera configuración 25% resina epóxica y 75% refuerzo de fibra de bambú de dos y tres capas y 40% resina epóxica y 60% refuerzo de fibra de bambú de dos y tres capas. Como Segundo paso se procedió con la fabricación de las probetas mediante el proceso de estratificación por compresión bajo las normativas ASTM para los respectivos ensayos de flexión, tracción e impacto izod. Como tercer paso se comparó los resultados obtenidos para proceder a elegir cuál de las configuraciones es la mas viable para la fabricación del guardabarros automotriz. La configuración 25% resina epóxica y 75% refuerzo de fibra de bambú en tres capas fue favorable para la realización del guardabarros automotriz ya que sus propiedades mecánicas resultaron sumamente altas, una vez verificadas las propiedades mecánicas se procedió a realizar el prototipo de guardabarros automotriz de la camioneta Mazda BT-50 en el programa Solidworks, por último se logró comprobar que el prototipo realizado a base de fibra de bambú y resina epoxica es amigable con el ambiente.

Palabras Clave: Resina epóxica, fibra de bambú, Ensayo de flexión, Ensayo de Tracción, Ensayo de impacto izod, materiales compuestos, Estratificación por compresión, Guardabarros automotriz.

Abstract. The purpose of this project is to carry out a study that includes composite materials, plating an alternative for the manufacture of an automotive fender based on a reinforcement such as bamboo fibers with an epoxy resin matrix, and I manage to obtain a friendly automotive part with environment. As a first step, a study was carried out where the arrangement and quantity of bamboo fiber and epoxy resin will be determined. In this case, two types of configurations were designated in order to verify their mechanical properties: the

Figura AV.1. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

first configuration 25% epoxy resin and 75% two and three-layer bamboo fiber reinforcement and 40% epoxy resin and 60% two and three layer bamboo fiber reinforcement. As a second step, we proceeded with the manufacture of the specimens through the compression stratification process under the ASTM regulations for the respective bending, traction and izod impact tests. As a third step, the results obtained were compared to proceed to choose which of the configurations is the most viable for the manufacture of the automotive fender. The 25% epoxy resin and 75% bamboo fiber reinforcement configuration in three layers was favorable for the realization of the automotive fender since its mechanical properties were extremely high, once the mechanical properties were verified, the automotive fender prototype of the Mazda BT-50 truck in the Solidworks program, finally it was possible to verify that the prototype made of bamboo fiber and epoxy resin is friendly to the environment.

Keywords: Epoxy resin, bamboo fiber, Flexural test, Tensile test, izod impact test, composite materials, Compression lamination, Automotive fenders.

Introducción

Hoy en día las investigaciones sobre materiales compuestos han sido uno de los temas más relevantes en lo que se refiere a las industrias modernas. Ya que una de las características que presentan estas composiciones es que son altamente adecuados para el sector automotriz, esto se debe a que contienen propiedades mecánicas altas, por ejemplo, resistencia, dureza, entre otras que resisten a cualquier adversidad en el medio ambiente (Jácome León, 2015).

En estos últimos tiempos se han realizado estudios de fibras naturales con el fin de analizar su estructura y composición ya que han presentado una mejoría en propiedades con respecto a las fibras sintéticas, de igual manera se puede deducir que las fibras naturales presentan una reducción de contaminación ambiental ya que su principal objetivo es el reciclaje (Jácome León, 2015).

Es por eso por lo que se tomó en cuenta la fibra de bambú, ya que además de ser una fibra natural y amigable con el ambiente, presenta propiedades mecánicas sumamente altas y más aún si esta se mezcla y se compacta con resina epoxica, ya que se obtendrá un material rígido y resistente (Estrada, 2010).

La industria automotriz se ha enfocado en realizar investigaciones y desarrollos con materiales compuestos ya sea con distintas fibras naturales como por ejemplo fibras de piña, coco, cabuya, entre otras ya que este tipo de fibras presentan buenas propiedades mecánicas para su respectivo uso, esto quiere decir que estas fibras son renovables (Por & Ecuador, n.d.).

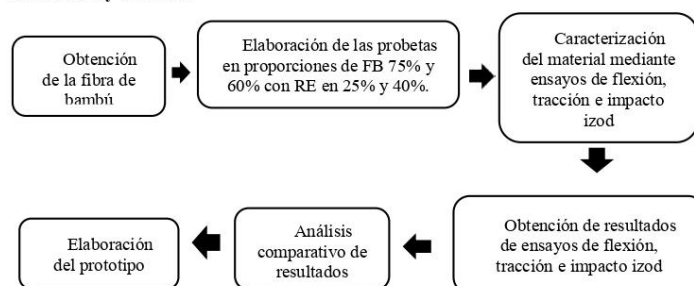
Figura AV.2. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

Es así como en estudios referentes a la extracción de las fibras de bambú señala que al compactar estas fibras con resinas se obtendrán compuestos de alto rendimiento como valores de rigidez altos en comparación de otro tipo de fibras naturales (Carlos & Estrada, n.d.).

(Fabricación & Fibra, p. 234, 2017) en su documento "Obtención de base de celulosa a partir del bambú para utilizarla como materia prima": señala que el bambú ha sido una las plantas con mayores prestaciones para la fabricación de piezas automotrices por su alto índice de resistencia y alto módulo de elasticidad, esto con el fin de obtener uno de los mejores materiales amigables y que contengas menores índices de Contaminación.

Además (Félix et al., p. 57, 2010); asegura que ya existe algunas autopartes fabricadas de materiales compuestos y puestos a un prueba piloto para analizar una comparación en base a su resistencia y propiedades mecánicas en condiciones normales, esto con el fin de verificar su biodegradación y duración en el medio ambiente para que consigo lograr obtener datos exactos de la biodegradación del material en sí, de este modo se puede decir que la fibra de bambú y la resina epoxica tendrán altas prestaciones al momento de remplazarlas por fibras sintéticas lo cual habrá una disminución de contaminación notoria en el medio ambiente.

Materiales y métodos



En la ciudad de Pachinche en el canto Portoviejo de la provincia de Manabí se encuentran personas dedicadas a este tipo de trabajo que es la extracción de fibras naturales en este caso será de cabuya y las fibras que se están estudiando en este caso las fibras de bambú, la extracción se realiza de forma manual con elementos cortopunzantes en este caso cuchillos los cuales realizan un corte uniforme y delgado para su correcto uso. Estos cuerpos fibrosos contienen propiedades altamente resistentes es por eso por lo que es una gran alternativa para realizar un refuerzo con resina epoxica.

Figura AV.3. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

Dichas fibras serán utilizadas de tres formas por su resistencia la primera capa será puesta en disposición longitudinal, después se utilizará una segunda capa que en este caso será en disposición transversal y por último se utilizará una tercera capa que en este caso tendrá una disposición a un ángulo de 45°.

Para la elaboración de las probetas se utilizó dos configuraciones o proporciones que en este caso será 25% resina epoxica con 75% fibra de bambú y 40% de resina epoxica con 60% de fibra de bambú, realizando los cálculos respectivos para la cantidad correcta de fibra y resina que estarán en los moldes, los moldes estarán fabricados en 4 tableros de triplex los mismos que tendrán dimensiones de 200 mm de largo por 115 mm de ancho y un espesor de 3,5 a 4,5mm respectivamente.

Las probetas se elaborarán bajo la normativa ASTM, la normativa ASTM D3039-00 para el ensayo de tracción, normativa ASTM D7264-07 para el ensayo de flexión y normativa ASTM D5628-10 para el ensayo de impacto.

Seguido del respectivo curado de los tableros con la resina epóxica aproximadamente será 72 horas a temperatura ambiente esto para obtener un mejor secado o curado del material, para luego proceder a cortar con sus respectivas dimensiones mediante laser, con el fin de cauterizar el material y evitar imperfecciones en los laterales de la probeta. Finalmente se obtuvieron 48 probetas de las cuales 16 probetas estarán dispuestas para realizar el respectivo análisis y ensayo de tracción, flexión e impacto izod y dos probetas para realizar la respectiva calibración de las maquinas que realizarán el ensayo.

Finalmente se obtendrán los resultados para los cuales se realizará un análisis comparativo con distintos materiales y así obtener resultados viables para la realización del prototipo de guardabarros posterior de la camioneta Mazda BT50.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Ensayos de flexión del material compuesto de fibra de bambú (75% y 60%) y resina epóxica (25% y 40%) de dos y tres capas

En la tabla 1 y figura 1 se observa los resultados obtenidos después de ser sometidas las probetas a los ensayos de flexión, con la configuración de dos y tres capas de fibra de bambú (75% y 60%) y resina epóxica (25% y 40%), como también varios resultados de diferentes materiales compuestos obtenidos por (cita). Se observa que el esfuerzo máximo es de 129,8 correspondiente a la primera configuración, como también el módulo de elasticidad de 6409,585 MPa.

Figura AV.4. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

Ensayo a Flexión	Espesor promedio probetas (mm)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
Fibra Bambú (75%) – Resina Epóxica (25%)	4,24	3,29	129,8	6409,585
Fibra Bambú (60%) – Resina Epóxica (40%)	4,47	9,6	97,9	8229
Fibra de Cabuya (40%) – Resina Poliéster (60%)	3,15	3,006	116,400	3266,554
Fibra de Coco (40%) – Resina Epóxica (60%)	3,34	3,84	104,35	20934,65
Fibra de Coco (30%) – Resina Epóxica (70%)	3,62	4,57	108,84	16565,5
Fibra larga cabuya 40% - fibra de vidrio	3,00	7,5	59,3	2777,89
Fibra larga cabuya 30% - fibra de vidrio	3,01	16	120,52	1799

Tabla 1. Esfuerzos a flexión de diferentes materiales compuestos

Figura AV.5. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

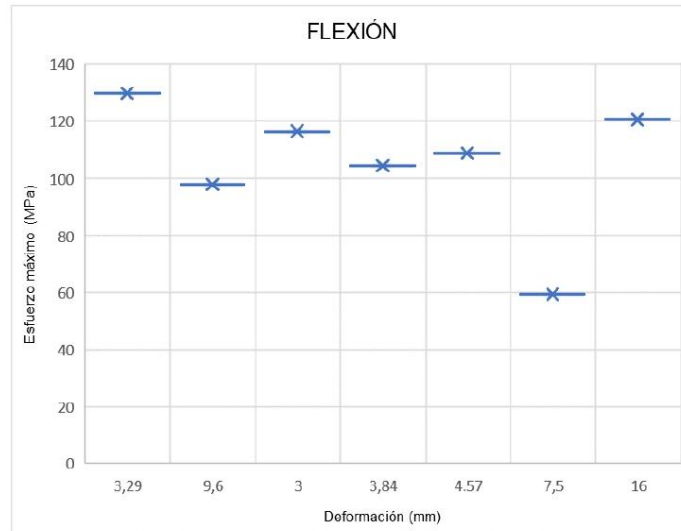


Figura 1. Esfuerzo máximo a flexión vs deformación de distintos materiales compuestos

Como se observa, la configuración de fibra bambú (75%) y resina epóxica (25%)

En la tabla2 y figura 2 se observa los resultados obtenidos después de ser sometidas las probetas a los ensayos de tracción, con la configuración de dos y tres capas de fibra de bambú (75% y 60%) y resina epóxica (25% y 40%), comparando nuevamente los resultados de ensayos de diferentes materiales compuestos, consiguiendo que el mayor valor del esfuerzo máximo y el módulo de elasticidad se tiene en la configuración dos de 3 capas con fibra de bambú (75%) y resina epóxica (25%).

Ensayo – Tracción	Espesor promedio probetas (mm)	Elongación (%)	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo elasticidad (MPa)
Fibra bambú (60%) – Resina epóxica (40%)	4,645	2,0195	70,405	3448,0955

Figura AV.6. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

Fibra bambú (75%) – Resina epóxica (25%)	5,19875	2,186	68,8695	3231,8755
Fibra de Cabuya (40%) – Resina Poliéster (60%)	3,17	2, 879	113,954	1209,59
Fibra de Coco (40%) – Resina Epóxica (60%)	3,27	5,64	102,45	2954,49
Fibra de Coco (30%) – Resina Epóxica (70%)	3,51	5,33	107,21	31469,54
Fibra larga cabuya 40% - fibra de vidrio	3,09	6,47	63,93	24517,39
Fibra larga cabuya 30% - fibra de vidrio	3,05	6,85	123,35	1684,64

Tabla 2. Esfuerzos a tracción de diferentes materiales compuestos

Figura AV.7. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

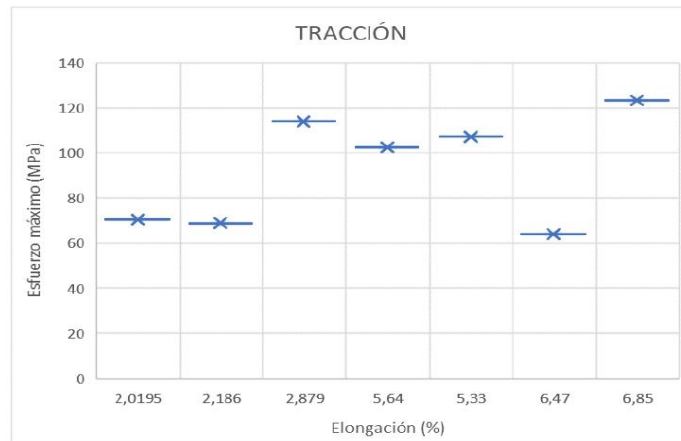


Figura 2. Esfuerzo máximo a tracción vs elongación de distintos materiales compuestos

En la tabla 3 y figura 3 se observa los resultados obtenidos después de ser sometidas las probetas a los ensayos de tracción, con la configuración de dos y tres capas de fibra de bambú (75% y 60%) y resina epóxica (25% y 40%), y de igual forma su comparación con distintos materiales compuestos siendo la configuración uno con mejores resultados con una energía de fallo de 5,8815 J a una altura media de 825 mm.

Ensayo a Impacto	Espesor promedio probetas (mm)	Energía media de fallo (J)	Altura media fallo (mm)
Fibra bambú (60%) – Resina epóxica (40%)	4,56	3,92	550
Fibra bambú (75%) – Resina epóxica (25%)	4,88	4,87	550

Figura AV.8. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

Fibra de Cabuya (40%) – Resina Poliéster (60%)	3,2	4,03	700
Fibra de Coco (40%) – Resina Epóxica (60%)	3,56	1,11	500
Fibra de Coco (30%) – Resina Epóxica (70%)	3,88	1,47	660
Fibra larga cabuya 40% - fibra de vidrio	2,87	1,54	550
Fibra larga cabuya 30% - fibra de vidrio	3,15	2,38	850

Tabla 3. Ensayos de impacto de distintos materiales compuestos

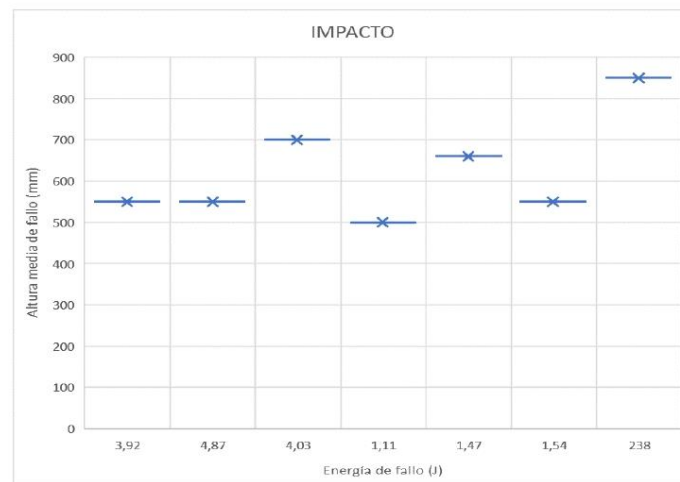


Figura 3. Altura media de fallo vs resistencia máxima al impacto de distintos materiales compuestos

Figura AV.9. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

De este modo se observa que en las dos configuraciones del material compuesto de fibra de bambú (75% y 60%) y resina epóxica (25% y 40%), se obtiene resultados relevantes de esfuerzo máximo, módulo de elasticidad y energía media de fallo, en comparación con los otros materiales compuestos siendo así una alternativa potencial para su uso en la fabricación de piezas automotrices.

Valoración de las probetas del ensayo a tracción

En la figura 4 se aprecia los resultados después de realizar los ensayos a tracción de las probetas de la primera configuración a dos capas de fibra de bambú (75%) y resina epóxica (25%), lo cual se pudo evidenciar que en la probeta número uno presenta fallos laterales dentro de la parte inferior, la probeta número dos el fallo se encuentra en la zona calibrada en la parte superior y tanto la probeta número tres y cuatro los fallos se presentan dentro del agarre en la parte superior.

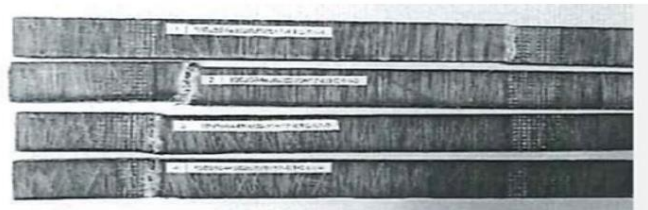


Figura 4. Probetas ensayo de tracción

En la figura 5 se aprecia los resultados después de realizar los ensayos a tracción de las probetas de la primera configuración a tres capas de fibra de bambú (75%) y resina epóxica (25%), en donde se observa que la probeta número cinco presenta fallos laterales en la zona calibrada, la probeta número seis presenta fallos angulares en la zona calibrada, la probeta número siete su fallo se presenta dentro del agarre en la parte inferior y la probeta número ocho su falla se encuentra en la zona calibrada en la parte superior.

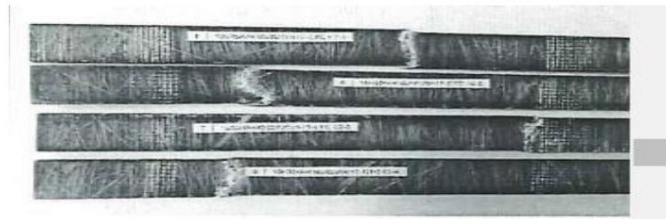


Figura 5. Probetas ensayo de tracción

Figura AV.10. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

CONCLUSIONES.

Se elaboro las probetas con las configuraciones de (75% y 60%) fibra de bambú y (25% y 40%) resina epóxica, de acuerdo con las normas ASTM las cuales la normativa ASTM D3039-00 para ensayo a tracción, normativa ASTM D7264-07 para el ensayo de flexión y normativa ASTM D5628-10 para el ensayo de impacto izod. Presentando alta resistencia a la tracción flexión y al impacto, en comparación a diversas composiciones de fibras biodegradables.

Se obtuvo mejores resultados en términos de tracción y flexión en las probetas las probetas de tres capas de 75% fibra de bambú y 25% resina epóxica presentaron un esfuerzo máximo de tracción promedio de 68,72 MPa, un esfuerzo máximo de flexión promedio de 136,54 MPa. Y un mejor resultado en términos de impacto en las probetas de tres capas de 60% fibra de bambú y 40% resina epóxica presentando una absorción de energía hasta el punto de ruptura de 3.92 J.

Para la fabricación del material compuesto en el ámbito automotriz se realizó un guardabarros posterior de la camioneta Mazda BT-50, comparado con el guardabarros original el prototipo fabricado a base de fibra de bambú y resina epóxica obtuvo mejores características mecánicas y un producto amigable con el ambiente, no obstante, en términos de precio y peso el guardabarros original es más bajo.

REFERENCIAS

1. *AEC - Normas ASTM*. (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2022, a partir de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/normas-astm>
2. Balam-Cocom, R. J., Duarte-Aranda, S. & Canché-Escamilla, G. (2006). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRAS DE LA «PIÑA» DE HENEQUÉN Y POLIPROPILENO* *OBTENTION AND CHARACTERIZATION OF COMPOSITES OF HENEQUEN «PINEAPPLE» FIBERS AND POLYPROPYLENE*. 5(1), 39-44.
3. Blanco-Sánchez, E., Madera-Mujica, A., Pérez-Castillo, M., Fajardo-Seminario, J., Carrasquero-Rodríguez, E., López-López, L., Cruz-Riaño, L., Blanco-Sánchez, E., Madera-Mujica, A., Pérez-Castillo, M., Fajardo-Seminario, J., Carrasquero-Rodríguez, E., López-López, L. & Cruz-Riaño, L. (2022). Influencia del contenido de fibra y del recocido sobre las propiedades térmicas de un material biocompuesto reforzado con fibras de bambú. *Revista UIS Ingenierías*, 21(2), 39-52. <https://doi.org/10.18273/REVUIN.V21N2-2022004>

Figura AV.11. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

4. Carlos, J. & Moscoso, P. (2007). *ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL ESCUELA DE INGENIERÍA OBTENCIÓN DE COMPUESTOS DE POLIPROPILENO REFORZADO CON FIBRAS DE ABACÁ MEDIANTE MOLDEO POR COMPRESIÓN PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO.*
5. *Estructura física y química de las fibras naturales 1.1 Estructura física.* (s. f.).
6. *Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio.* (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2022, a partir de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532017000300035
7. Fibra, U. (s. f.). *CAPITULO III LAS FIBRAS TEXTILES 3.1 LA FIBRAS TEXTILES 3.1.1 DEFINICIÓN.*
8. *Geometría, estructura y nudo en la constitución de superficies de entramados espaciales con fibras de bambú - Archivo Digital UPM.* (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2022, a partir de <https://oa.upm.es/65306/>
9. Gonzalez, M. G. & Tam, C. P. T. (2014). Efecto del contenido de humedad en la resistencia a tensión paralela a la fibra del bambú *Guadua Angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica*, 19(3), 245-250. <https://doi.org/10.22517/23447214.9117>
10. *Materiales compuestos - Derek. Hull - Google Libros.* (s. f.). Recuperado 22 de noviembre de 2022, a partir de https://books.google.es/books?hl=es&lr=lang_es&id=cxo3EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=materiales+compuestos+con+fibra&ots=Bdny_95KTh&sig=UfPAsFakJH-rJ0Z0A8EWq4wYxDs#v=onepage&q=materiales%20compuestos%20con%20fibra&f=false
11. Murali Mohan Rao, K., Mohana Rao, K. & Ratna Prasad, A. v. (2010). Fabrication and testing of natural fibre composites: Vakka, sisal, bamboo and banana. *Materials and Design*, 31(1), 508-513. <https://doi.org/10.1016/J.MATDES.2009.06.023>
12. Producto, I. de D. de, Medellín, M. de & Gómez P., J. S. (2009). *Diseño de un material compuesto con fibra natural para sustituir la utilización de la fibra de vidrio.* <http://repository.eafit.edu.co/handle/10784/297>

Figura AV.12. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.

13. Rajak, D. K., Pagar, D. D., Menezes, P. L. & Linul, E. (2019). Fiber-reinforced polymer composites: Manufacturing, properties, and applications. *Polymers*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/POLYM11101667>
14. Taborda-Ríos, J. A., Cañas-Mendoza, L. A., Trisancho-Reyes, J. L., Taborda-Ríos, J. A., Cañas-Mendoza, L. A. & Trisancho-Reyes, J. L. (2017). Estudio comparativo de las propiedades mecánicas de la resina poliéster reforzada con fibra de bambú, como material sustituto de la fibra de vidrio. *DYNA*, 84(202), 35-41. <https://doi.org/10.15446/DYNA.V84N202.57334>
15. Velásquez Restrepo, S. M., Pelaéz Arroyave, G. J. & Giraldo Vásquez, D. H. (2016). Uso de fibras vegetales en materiales compuestos de matriz polimérica : una revisión con miras a su aplicación en el diseño de nuevos productos. *Informador Técnico*, 80(1), 77. <https://doi.org/10.23850/22565035.324>

Figura AV.13. Artículo científico fibras de bambú y resina epoxica.